

INOVASI TEKNOLOGI LAHAN RAWA

Mendukung Kedaulatan Pangan

INOVASI TEKNOLOGI LAHAN RAWA

Mendukung Kedaulatan Pangan

Tim Penyunting:

Prof. Dr. Ir. Masganti, MS.
Ir. R. Smith Simatupang, MP.
Dr. Ir. Muhammad Alwi, MS.
Dr. Eni Maftu'ah, SP., MP.

Prof. Dr. Ir. Muhammad Noor, MS.
Dr. Ir. Mukhlis, MS.
Ir. Hendri Sosiawan, CESA.
Dr. Maulia Aries Susanti, SP., M.Sc.



RAJAWALI PERS
Divisi Buku Perguruan Tinggi
PT RajaGrafindo Persada
D E P O K

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KDT)

Masganti, dkk.

Inovasi Teknologi Lahan Rawa: Mendukung Kedaulatan Pangan/Masganti, dkk.

—Ed. 1.—Cet. 1.—Depok: Rajawali Pers, 2018.

x, 554 hlm., 23 cm

Bibliografi: ada di setiap bab

ISBN 978-602-425-657-9

1. Lahan pertanian rawa.

I. Masganti.

631.4

Hak cipta 2018, pada penulis

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun,
termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit

2018.2102 RAJ

Masganti, dkk.

INOVASI TEKNOLOGI LAHAN RAWA: MENDUKUNG KEDAULATAN PANGAN

Cetakan ke-1, November 2018

Hak penerbitan pada PT RajaGrafindo Persada, Depok

Desain cover oleh octiviena@gmail.com

Dicetak di Rajawali Printing

PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Anggota IKAPI

Kantor Pusat:

Jl. Raya Leuwinanggung No. 112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Kota Depok 16956

Tel/Fax : (021) 84311162 – (021) 84311163

E-mail : rajapers@rajagrafindo.co.id [Http://www.rajagrafindo.co.id](http://www.rajagrafindo.co.id)

Perwakilan:

Jakarta-16956 Jl. Raya Leuwinanggung No. 112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Depok, Telp. (021) 84311162.
Bandung-40243, Jl. H. Kurdi Timur No. 8 Komplek Kurdi, Telp. 022-5206202. **Yogyakarta**-Perum. Pondok Soragan Indah Blok A1, Jl. Soragan, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Telp. 0274-625093. **Surabaya**-60118, Jl. Rungkut Harapan Blok A No. 09, Telp. 031-8700819. **Palembang**-30137, Jl. Macan Kumbang III No. 10/4459 RT 78 Kel. Demang Lebar Daun, Telp. 0711-445062.
Pekanbaru-28294, Perum De' Diandra Land Blok C 1 No. 1, Jl. Kartama Marpoyan Damai, Telp. 0761-65807. **Medan**-20144, Jl. Eka Rasmi Gg. Eka Rossa No. 3A Blok A Komplek Johor Residence Kec. Medan Johor, Telp. 061-7871546. **Makassar**-90221, Jl. Sultan Alauddin Komp. Bumi Permata Hijau Bumi 14 Blok A14 No. 3, Telp. 0411-861618. **Banjarmasin**-70114, Jl. Bali No. 31 Rt 05, Telp. 0511-3352060. **Bali**, Jl. Imam Bonjol Gg 100/V No. 2, Denpasar Telp. (0361) 8607995. **Bandar Lampung**-35115, Jl. P. Kemerdekaan No. 94 LK I RT 005 Kel. Tanjung Raya Kec. Tanjung Karang Timur, Hp. 082181950029.

PRAKATA

Pemerintah sejak lama mengembangkan daerah rawa dalam upaya meningkatkan produksi pangan, khususnya beras. Dalam sejarah ekstensifikasi pertanian di Indonesia, lahan rawa tercatat mulai dibuka dan dikembangkan sejak tahun 1920an sebagai areal usaha tani padi, jagung, sayuran, dan buah-buahan dan beberapa tanaman tahunan seperti karet, kakao, jeruk dan lainnya. Secara besar-besaran pemerintah membuka daerah rawa melalui Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut (P4S) antara tahun 1979-1984 dengan rencana pembukaan 5,25 juta hektar di bawah Departemen Pekerjaan Umum (PU), tetapi terealisasi hanya 17%. Kemudian pembukaan 1 juta hektar melalui Proyek Pembukaan Lahan Gambut (PLG) Sejuta Hektar di Kalimantan Tengah, dari rencana menempatkan 316.000 KK terealisasi hanya 15.600 KK. Sejak diperkenalkannya gerakan intensifikasi melalui Program Bimas, Inmas, Insus sejak tahun 1969 yang kemudian masif di Jawa dan beberapa daerah lainnya di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua, tetapi lahan rawa seolah-olah tidak tersentuh karena hampir 90% masih menerapkan tanam sekali setahun (IP 100) dengan cara-cara bertani yang masih tradisional. Mengingat tidak semua proyek pembukaan atau pengembangan daerah rawa berhasil dengan baik, juga program intensifikasi yang masih setengah hati, maka menarik untuk mempelajari dan mendalami tentang pertanian secara menyeluruh di lahan rawa ini, terutama terkait dengan inovasi teknologi untuk mendukung pengembangan pertanian.

Buku *Inovasi Teknologi Lahan Rawa: Mendukung Kedaulatan Pangan* mengemukakan tentang berbagai teknologi pengelolaan lahan dan budidaya pertanian di lahan rawa, termasuk aspek sosial ekonomi dan kelembagaannya yang disusun dalam 5 Bab Utama. Bab 1 sebagai pendahuluan mengemukakan sekilas tentang kebutuhan dan peran inovasi teknologi pertanian di lahan rawa masa depan. Bab 2 mengemukakan tentang inovasi teknologi di lahan rawa pasang surut meliputi pengendalian keracunan Al dan Fe, perbaikan budidaya padi, penggunaan rhizobium untuk tanaman kedelai, perbaikan pola tanam padi, perbaikan budidaya kedelai, produksi benih sumber padi, peningkatan efisiensi dan efektivitas pemupukan padi, penekanan susut hasil pada panen sulfat masam dan pascapanen, dan penggunaan alsintan. Bab 3 mengemukakan tentang inovasi teknologi di lahan gambut meliputi pengaruh ameliorasi terhadap lahan gambut terdegradasi, peningkatan produksi tanaman hortikultura, kearifan lokal dalam pengelolaan lahan gambut untuk pertanian, pemulihan lahan gambut terdegradasi melalui pengelolaan air dengan sekat kanal, dan remediasi lahan gambut terdegradasi untuk kelapa sawit. Bab 4 mengemukakan tentang inovasi teknologi lainnya meliputi pembuatan pupuk organik dari tanaman rawa, pertanian ramah lingkungan di lahan rawa terdegradasi, teknologi pupuk hayati dan budidaya kacang hijau. Bab 5 sebagai penutup mengemukakan sekilas tentang implementasi teknologi dan prospek pengembangan lahan rawa untuk pertanian ke depan secara komprehensif.

Dengan tersusunnya buku ini, kami penyunting menghaturkan terima kasih kepada para penulis yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk mengisi buku yang ada di tangan Anda ini. Kami menyadari bahwa apa yang kami sajikan atau himpun dalam buku ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, tegur sapa berupa kritik dan saran untuk penyempurnaan isi buku ini sangat diharapkan dan disambut dengan senang hati sehingga pada edisi revisi nantinya dapat lebih sempurna. Namun demikian, kami berharap semoga buku ini dapat memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan pengalaman dan berguna dalam memajukan pengembangan lahan rawa ke depan.

Banjarbaru, 30 Agustus 2018
Tim Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. Inovasi Teknologi Lahan Rawa: Kebutuhan dan Peran Masa Depan (R. Smith Simatupang dan Muhammad Noor)	1
BAB 2 INOVASI TEKNOLOGI LAHAN RAWA PASANG SURUT SULFAT MASAM	11
2. Keracunan Al dan Fe Pada Tanaman Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Sulfat Masam dan Upaya Penanggulangannya (Muhammad Alwi dan Ana Hairani)	13
3. Ameliorasi Tanah Sulfat Masam Untuk Budidaya Padi (Arifin Fahmi dan Izhar Khairullah)	36
4. Pemanfaatan <i>Rhizobium</i> Untuk Tanaman Kedelai di Lahan Pasang Surut (Yuli Lestari dan Wahida Annisa)	60
5. Efektivitas Pola Tanam Untuk Meningkatkan Produksi Padi Di Lahan Rawa Pasang Surut (Izhar Khairullah dan Arifin Fahmi)	84
6. Inovasi Teknologi Budidaya Kedelai di Lahan Rawa Pasang Surut (R. Smith Simatupang, Nurita, dan Koesrini)	112

7. Produksi Benih Sumber Padi di Lahan Rawa Pasang Surut (Koesrini, Muhammad Saleh dan Artanur Rifqi Hidayat)	140
8. Hama dan Penyakit Utama Tanaman Jagung dan Pengendaliannya di Lahan Rawa Pasang Surut (Syaiful Asikin dan Maulia Aries Susanti)	167
9. Teknologi Peningkatan Efisiensi dan Efektifitas Pemupukan Tanaman Padi di Lahan Rawa (Wahida Annisa dan Hendri Sosiawan)	194
10. Peningkatan Produksi Melalui Penekanan Susut Panendan Pascapanen di Lahan Rawa Pasang Surut (Anjar Suprpto, Sulha Pangaribuan, dan Sudirman Umar)	213
11. Dukungan Alsintan Lahan Rawa Pasang Surut untuk Peningkatan Produksi Pangan (Sudirman Umar, Harsono, dan Maria T. Budiastuti)	255
BAB 3 INOVASI TEKNOLOGI LAHAN GAMBUT	293
12. Ameliorasi Lahan Gambut Terdegradasi Untuk Pertanian Berkelanjutan (Eni Maftu'ah dan Maulia Aries Susanti)	295
13. Teknologi Peningkatan Produksi Tanaman Hortikultura di Lahan Gambut (Masganti dan Khairil Anwar)	323
14. Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Lahan Gambut Untuk Pertanian (Muhammad Alwi dan Yanti Rina)	347
15. Pemulihan Lahan Gambut Terdegredasi Melalui Pengelolaan Air Sekat Kanal (Ani Susilawati dan Eni Maftu'ah)	368
16. Remediasi Lahan Gambut Terdegradasi Untuk Meningkatkan Produktivitas Kelapa Sawit (Masganti dan Ani Susilawati)	391

BAB 4 INOVASI TEKNOLOGI MASALAH KHUSUS	411
17. Pengembangan Infrastruktur dan Bangunan Air di Lahan Rawa Mendukung Peningkatan Produksi Tanaman Pangan (Muhammad Noor dan Hendri Sosiawan)	413
18. Tumbuhan Rawa Sumber Pupuk Organik (Nurita dan R. Smith Simatupang)	429
19. Pertanian Ramah Lingkungan di Lahan Rawa Terdegradasi (E.S. Harsanti, A. Wiharjaka dan A.N Ardiwinata)	460
20. Teknologi Pupuk Hayati untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan dan Tanaman di Lahan Rawa (Mukhlis dan Yuli Lestari)	483
21. Budidaya Kacang Hijau di Lahan Rawa (Muhammad Saleh dan Helda Orbani Rosa)	506
BAB 5 PENUTUP	523
22. Pintu Menuju Lumbung Pangan Dunia 2045 (Masganti dan Muhammad Alwi)	525
INDEKS	533
BIODATA PENULIS	555

PENDAHULUAN

1

INOVASI TEKNOLOGI LAHAN RAWA: KEBUTUHAN DAN PERAN MASA DEPAN

R. Smith Simatupang dan Muhammad Noor

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jalan Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712
Email: rsmith_simatupang@yahoo.co.id

Inovasi (*innovation*) berasal dari kata *innovare* dari bahasa Latin atau *innovate* dari bahasa Inggris artinya membuat perubahan atau memperkenalkan sesuatu yang baru. Tambahan kata teknologi atau inovasi teknologi dapat diartikan sebagai memperkenalkan suatu teknologi yang baru, cara-cara baru, atau cara-cara yang lebih baik dan bermanfaat. Inovasi tidak diartikan sebagai penemuan baru (*discovery*) atau *invensi*. Walaupun mempunyai perbedaan arti, tetapi kadang-kadang disamaartikan. *Discovery* adalah sesuatu yang sebelumnya sudah ada, tetapi baru diketahui atau ditemukan kembali oleh manusia, sedangkan *invensi* adalah penemuan yang benar-benar baru sebagai hasil kegiatan manusia.

Inovasi dan/atau *invensi* tentu sangat erat berhubungan dengan penelitian. Dalam menghadapi tantangan pembangunan pertanian ke depan yang semakin majemuk dan rumit, maka kebutuhan akan inovasi teknologi menjadi penting dan mutlak. Kebutuhan inovasi teknologi semakin kuat seiring dengan kondisi perkembangan masyarakat dengan serangkaian masalah yang dihadapi seperti masalah pertumbuhan populasi yang semakin meningkat yang diiringi dengan meningkatnya kebutuhan pangan, lahan dan air. Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk ke 4 terbesar di dunia dengan populasi lebih seperempat miliar (265 juta jiwa) dan laju pertumbuhan 3 juta per tahun membutuhkan pangan yang besar. Berdasarkan tingkat konsumsi 139,15 kg beras/jiwa/tahun, maka dibutuhkan sebanyak 36 juta ton beras sehingga diperlukan tambahan sekitar 7 ton beras untuk memenuhi kebutuhan nasional (Ditjenta 2011; Nursyamsi *et al.* 2014).

Dengan meningkatnya kebutuhan pangan (termasuk energi), maka dipastikan kebutuhan akan lahan dan air ikut meningkat. Bertumpu pada sumber daya lahan dan air yang ada sekarang untuk memenuhi kebutuhan pertambahan penduduk di atas sudah semakin tidak memadai. Pulau Jawa dan Bali yang menjadi tumpuan pemasok pangan dan hasil pertanian lainnya ke depan sudah mengalami terdesak dengan berbagai masalah problem kependuduk dan pengembangan wilayah. Oleh karena itu, pengembangan sumber daya lahan dan air yang tersedia di pulau-pulau Kalimantan, Sumatera dan Papua yang mempunyai agroekosistem rawa sangat luas dan potensial menjadi penting dan strategis. Kedudukan agroekosistem atau sumber daya lahan rawa yang masuk dalam kategori lahan sub-optimal (LSO) semakin penting dalam pencapaian swasembada pangan dan ekspor dalam mendukung upaya menjadikan Indonesia sebagai lumbung pangan dunia pada tahun 2045 (Kementan 2016).

Pemanfaatan dan pengembangan sumber daya lahan rawa baik rawa pasang surut, rawa lebak maupun rawa gambut untuk tujuan pembangunan pertanian tidak serta merta dapat dilakukan dengan mudah sebagaimana membalikkan tangan, akan tetapi mulai dari pembukaan lahan, pengelolaan lahan dan teknik budidaya tanaman pertanian (pangan) dihadapkan pada banyak masalah dan kendala yang menjadi faktor pembatas produksi tanaman pangan. Secara garis besar, ada dua masalah utama yang sangat penting untuk menjadi perhatian oleh semua pihak dalam pengembangan lahan rawa pasang surut. Kedua masalah utama tersebut adalah (1) biofisik lahan dan lingkungan dan (2) sosial ekonomi (Norginayuwati dan Rina, 2003; Nursyamsi *et al.* 2014^a; Nursyamsi *et al.* 2014^b). Meskipun lahan rawa sudah dikembangkan sejak ratusan bahkan ribuan tahun lalu oleh masyarakat lokal setempat seperti suku Banjar, Melayu dan Bugis, tetapi seiring dengan berbagai perubahan dan tuntutan peningkatan produksi maka diperlukan berbagai teknologi yang dikembangkan. Pengelolaan lahan rawa untuk pertanian sampai saat ini sebagian besar masih dilakukan secara tradisional, didasari pengetahuan lokal (*indigeneus knowledge*) dan teknologi sederhana berupa kearifan lokal (*local wisdom*) sehingga produktivitasnya rendah. Peran penelitian dan pengembangan untuk peningkatan dan optimalisasi lahan rawa sebagai sumber pertumbuhan produksi menjadi mutlak. Peningkatan produktivitas lahan rawa dapat dilakukan dengan cara menerapkan teknologi inovatif yang akan dijabarkan pada buku *Inovasi Teknologi Lahan Rawa* ini.

Buku *Inovasi Teknologi Lahan Rawa* ini akan mengemukakan masalah biofisik lahan yang perlu dipecahkan adalah masalah yang terkait dengan sifat fisik dan kimia tanah serta masalah biologi tanah. Sifat fisik dan kimia tanah pada umumnya belum memberikan dukungan yang optimal bagi usaha-usaha pertanian (tanaman pangan) sehingga produktivitasnya masih rendah. Ditemukannya lapisan pirit/sulfida (FeS_2) di dalam tanah menjadi sumber timbulnya keracunan besi pada tanaman padi, kemasaman tanah tinggi ($\text{pH tanah} < 4,0$), kahat unsur hara makro sehingga kesuburan tanah dan produktivitas alami tanahnya sangat rendah. Kondisi lahan yang demikian, menyebabkan pengelolaan lahan rawa pasang surut ini memerlukan input (masukan) yang banyak seperti bahan amelioran untuk ameliorasi tanah dan pupuk (organik dan anorganik) untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman. Sistem pengelolaan air yang ada di kawasan lahan rawa pasang surut pada umumnya masih dilakukan dalam skala makro, sehingga fungsinya pada sistem usahatani belum optimal. Pada skala usahatani, diperlukan sistem pengelolaan air dalam skala mikro untuk meningkatkan produktivitas lahan. Kemasaman tanah yang sangat tinggi ($\text{pH tanah} < 4,0$) dan adanya bahaya keracunan besi pada tanaman padi karena teroksidasinya pirit menjadi permasalahan yang cukup spesifik pada lahan sulfat masam dan menyebabkan rendahnya hasil padi. Melalui teknologi pengelolaan lahan dan air yang tepat serta pemberian bahan amelioran, lahan yang tadinya sangat masam berubah menjadi lahan yang lebih produktif.

Masalah biologi yang menjadi salah satu faktor pembatas pada proses produksi, adalah terdapatnya organisme pengganggu tanaman yang menjadi saingan tanaman budidaya. Salah satu di antaranya adalah tumbuhan pengganggu (gulma) dan hama-penyakit tanaman. Gulma adalah tumbuhan yang tidak dikehendaki dan tumbuh diantara tanaman pokok sehingga menjadi saingan utama bagi semua tanaman budidaya terutama terhadap keperluan unsur-unsur hara. Akibat terjadinya persaingan antara tanaman budidaya dengan gulma menyebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan unsur-unsur hara, menurunnya produktivitas dan hasil tanaman, pemupukan menjadi tidak efisien serta menambah biaya produksi. Hama dan penyakit tanaman utama yang acapkali menyerang antara lain tikus, wereng dan penggerek batang.

Masalah sosial ekonomi menjadi masalah krusial, di antaranya sulit dan terbatasnya tenaga kerja dan lemahnya kepemilikan modal petani. Terbatasnya

modal menyebabkan petani kurang mampu menggarap lahan yang lebih luas. Selain itu, kelembagaan (ekonomi) desa umumnya fungsi dan peranannya masih belum efektif dan belum optimal, sarana dan prasarana (infrastruktur) sebagian masih belum berfungsi secara optimal. Kondisi ini, menyebabkan banyak lahan yang mengalami bera dan ditinggalkan petani, bahkan akan menjadi lahan terlantar dan menjadi hutan kembali karena terjadinya proses suksesi secara alami (Noorinayuwati dan Rina 2003). Masalah sosial lainnya adalah sulitnya penerimaan masyarakat terhadap suatu teknologi disebabkan kebiasaan dalam menerapkan suatu teknologi dan lemahnya permodalan petani. Untuk mempercepat proses adopsi teknologi baru diperlukan perangkat sosial berupa kebijakan (*political will*) dari Pemerintah dalam rangka memfasilitasi dan mempermudah penerapan teknologi tersebut.

Lahan rawa pasang surut merupakan lumbung pangan yang prospektif di masa datang. Kalimat “ ***Lumbung Pangan Masa Depan***”, menjadi slogan pada Pekan Pertanian Lahan Rawa Nasional Pertama yang dilaksanakan di Banjarbaru pada tahun 2011. Dikatakan sebagai lumbung pangan masa datang adalah disebabkan karena potensi lahan yang dimiliki lahan rawa sangat luas dan prospek pengembangannya sangat mungkin dilakukan untuk pembangunan pertanian. Dikatakan prospektif, adalah dikarenakan lahan rawa memiliki kelebihan dibanding dengan lahan irigasi dan lahan tadah hujan, terutama ketersediaan airnya. Intensifikasi masih mungkin dilakukan di lahan rawa dengan cara meningkatkan IP 100 menjadi IP 200 dan pada lokasi tertentu IP 300 dimungkinkan diterapkan (Alihamsyah *et al.* 2003). Selain itu, inovasi teknologi untuk pengembangan lahan rawa menjadi lahan pertanian produktif sudah tersedia yang merupakan kumpulan hasil penelitian yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Sementara ini, sumbangan produksi padi dari lahan rawa terhadap produksi pangan nasional masih rendah, dengan asumsi bahwa luas yang ditanami 1,05 juta ha, IP 100 dan produktivitas 4-5 t GKG/ha, maka produksi yang disumbangkan berkisar 4-5 juta t GKG/tahun (Subagio *et al.* 2015). Meskipun demikian, sumbangan produksi padi ini masih dapat ditingkatkan dengan menerapkan inovasi teknologi yang berhasil guna, tepat guna, efektif dan efisien dan dilakukan secara holistik. Hasil analisis potensi lahan yang telah dibuka dan direklamasi pada sepuluh provinsi yang luasnya sekitar satu juta hektar, apabila dilakukan optimalisasi

pengelolaan sumberdaya lahannya secara terpadu dengan menerapkan inovasi teknologi budidaya secara tepat dan benar dan secara holistik, maka melalui pengembangan lahan rawa (rawa pasang surut dan rawa lebak) akan diperoleh tambahan produksi sebesar 8,55 juta ton GKG/tahun (Balitbangtan, 2011). Selain tanaman padi, jenis tanaman pangan lainnya seperti jagung, kedelai dan tanaman palawija serta tanaman hortikultura serta tanaman perkebunan juga dapat dibudidayakan di lahan rawa.

Teratasinya semua faktor pembatas produksi tanaman budidaya sebagaimana yang sudah dijelaskan di atas, maka lahan rawa akan menjadi lahan yang produktif, lahan yang memberi harapan pada masa datang, dan dapat memberikan dukungan yang *signifikan* terhadap upaya peningkatan produktivitas dan produksi pangan nasional, yang pada akhirnya cita-cita bahwa Indonesia sebagai lumbung pangan dunia tahun 2045 dapat terwujud. Meningkatnya produksi pangan nasional secara berkelanjutan, maka tercipta ketahanan dan kemandirian pangan nasional, sehingga stabilitas nasional akan lebih kondusif dan terjamin, kerawanan dan kekurangan pangan dapat diatasi sehingga impor beras dapat dihentikan atau setidaknya dapat dikurangi bahkan berpeluang bagi Indonesia untuk ekspor. Dengan tingkat produksi padi yang tinggi, maka pendapatan dan kesejahteraan petani juga meningkat.

Optimalisasi pemanfaatan lahan rawa sebagaimana yang dibahas di atas, tentunya memerlukan dukungan teknologi yang inovatif dan juga aplikatif dalam arti mudah penerapannya dan secara sosial budaya dapat diterima oleh masyarakat dan secara ekonomi layak dan menguntungkan bagi petani. Selain itu, teknologi yang akan dikembangkan tersebut harus ramah lingkungan sehingga dapat berkelanjutan. Untuk itu, diperlukan kebijakan yang dapat mendorong dan membangun sikap serta perilaku petani dalam mengotimalkan pemanfaatan lahan-lahan sub optimal (lahan rawa). Kebijakan pertanian, adalah serangkaian tindakan yang telah, sedang dan akan dilaksanakan oleh pemerintah untuk mencapai tujuan di bidang pertanian, antara lain: memajukan sektor pertanian, mengusahakan agar pertanian menjadi lebih produktif, produksi dan efisiensi produksi meningkat sehingga tingkat kehidupan dan kesejahteraan petani meningkat (Suswono 2014). Permasalahan implementasi dari serangkaian teknologi yang dikemukakan dalam buku ini, menjadi catatan penting. Dalam berbagai diskusi sering dikemukakan bahwa adopsi teknologi yang diintroduksi kepada petani masih tergolong rendah.

Buku *Inovasi Teknologi Lahan Rawa* ini merupakan rangkuman hasil-hasil penelitian dan pengalaman para peneliti dalam pengembangan lahan rawa untuk mendukung pembangunan pertanian di lahan rawa. Buku ini menginformasikan berbagai aspek, antara lain aspek pengelolaan lahan dan air, aspek budidaya dan pengelolaan tanaman serta pemupukan dan aspek lainnya.

Daftar Pustaka

- Balitbangtan. 2011. State of The Art & Grand Design Pengembangan Lahan Rawa. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. 44 Hlm.
- Ditjentan, 2011. Produksi padi untuk memenuhi pengadaan gabah/beras tahun 2011. Bahan pada Workshop Perberasan Nasional Dalam Menghadapi Perubahan Iklim. Disampaikan pada Workshop P2BN tanggal 12 Januari 2011 di Jakarta. Direktur Jenderal Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian. 25 Hlm.
- Kementan, 2017. Sukses Swasembada: Indonesia Menjadi Lumbung Pangan Dunia 2045. IAARD Press. Jakarta. 272 Hlm.
- Noorginayuwati dan Y. Rina. 2003. Aspek sosial ekonomi petani di lahan sulfat masam. *Dalam Ar-Riza et al., (Eds.)*. Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian Dan Pengkajian Teknologi Pertanian Di Lahan Pasang Surut. Kuala Kapuas. Puslitbang Sosial Ekonomi Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Hlm.120-136.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftuah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorginayuwati, dan Y. Rina. 2014^a. Buku Pedoman Pengelolaan Lahan Sulfat Masam untuk Pertanian Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 58 Hlm.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftuah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorginayuwati, dan A. Fahmi. 2014^b. Buku Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 68 Hlm.
- Subagio, H, M. Noor, Wahida A Y., dan Izhar Khairullah. 2016. Perspektif Pertanian Lahan Rawa: Mendukung Kedaulatan Pangan. AARD Press. Jakarta/Bogor. 108 Hlm.

Suswono, 2014. Kebijakan pembangunan pertanian untuk mewujudkan kedaulatan pangan dan energi dalam menyongong era Asia. *Dalam* Hadiwiyono., Adi Ratriyanto., Mujiyo., J. Sutrisno., Suwarto., dan D. Praseptianga (Eds.). Prosiding Semnas Pembangunan Pertanian Terpadu Berkelanjutan untuk Mewujudkan Kedaulatan Pangan dan Energi dalam Menyongong Era Asia. Fak. Pertanian Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Hlm.1-21.

**INOVASI TEKNOLOGI
LAHAN RAWA
PASANG SURUT
SULFAT MASAM**

2

KERACUNAN AL DAN FE PADA TANAMAN PADI DI LAHAN RAWA PASANG SURUT SULFAT MASAM DAN UPAYA PENANGGULANGANNYA

Muhammad Alwi dan Anna Hairani

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet Loktabat Utara, Banjarbaru Utara,
Banjarbaru 70712, Tlp.085287386319, E-mail: alwi_62@yahoo.co.id

Ringkasan

Lahan rawa pasang surut sulfat masam merupakan salah satu lahan yang dapat dijadikan sebagai areal pengembangan pertanian. Hal ini disebabkan lahan ini tersedia cukup luas di Indonesia, namun pemanfaatannya masih belum dilakukan secara maksimal. Salah satu penyebab rendahnya hasil padi di lahan ini adalah karena tingkat kesuburan tanahnya rendah akibat adanya senyawa pirit yang jika teroksidasi atau tereduksi akan menghasilkan senyawa yang bersifat meracun sehingga menghambat pertumbuhan tanaman padi. Proses oksidasi pirit terjadi dalam beberapa tahapan dan hasil akhirnya adalah ferri hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), asam sulfat (H_2SO_4) dan juga ion H^+ yang menyebabkan pH tanah menjadi sangat rendah (<4). Pada kondisi reduktif, pirit dapat mengakibatkan tingginya kelarutan zat-zat beracun seperti, Fe^{2+} , H_2S , CO_2 dan asam-asam organik. Oleh karena itu, dalam mengelola lahan rawa pasang surut perlu diperhatikan kondisi pirit supaya tidak teroksidasi atau tereduksi lebih lama. Keracunan aluminium (Al) dan besi (Fe) merupakan kendala utama dalam produksi padi di daerah tropik dan subtropik. Diperkirakan sekitar 4 juta ha lahan sawah di dunia dipengaruhi oleh keracunan Al dan Fe yang dapat menurunkan hasil padi hingga 30-60%, bahkan dapat mengakibatkan kegagalan panen. Keracunan Al dan Fe pada tanaman padi dipengaruhi oleh lingkungan tumbuh tanaman padi seperti tingginya kadar Fe, defisiensi atau ketidakseimbangan hara, pH rendah, drainase buruk (selalu tergenang) atau berlebih dan kepekaan varietas padi dan varietas padi yang ditanam. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan yang paling potensial keracunan Al dan Fe dari segi kondisi

psikokimianya adalah lahan rawa pasang surut sulfat masam. Keracunan Al dan Fe mempengaruhi beberapa karakter agronomi dan fisiologi tanaman yang berakibat pada terganggunya pertumbuhan dan menurunkan produksi padi. Keracunan Al dapat menyebabkan perkembangan akar terhambat. Sedangkan kelebihan serapan Fe menyebabkan terganggunya serapan hara, menurunnya kadar gula larut dan klorofil, dan proses fotosintesis tanaman. Upaya penanggulangan keracunan Al dan Fe pada tanaman padi di lahan rawa pasang surut adalah melakukan tindakan kombinasi antara perbaikan lingkungan tumbuh dan penanaman varietas padi yang toleran. Perbaikan lingkungan tumbuh dilakukan melalui perbaikan pengelolaan air, pemberian bahan amelioran berupa: kapur, pupuk kandang, dan kompos sisa tanaman, dan pemberian pupuk sesuai kebutuhan tanaman. Sedangkan perbaikan varietas dilakukan dengan memilih varietas padi yang toleran terhadap kelarutan Al dan Fe.

Pendahuluan

Luas lahan rawa pasang surut di Indonesia sekitar 20,12 juta ha, terdiri dari 2,07 juta ha lahan potensial, 4,23 juta ha lahan sulfat masam, 10,89 juta ha lahan gambut dan 0,44 juta ha lahan salin (Nugroho dan Suriadikarta 2010). Luas lahan rawa pasang surut yang berpotensi untuk dijadikan lahan pertanian sekitar 8,54 juta ha, yang sudah direklamasi sekitar 2,83 juta ha dan yang belum direklamasi sekitar 5,70 juta ha. Potensi lahan rawa pasang surut yang dapat dijadikan sawah sekitar 2.979.850 ha, kemudian Ritung (2011) menyatakan bahwa luas lahan rawa pasang surut yang sudah dijadikan lahan sawah hingga tahun 2011 baru sekitar 407.594 ha. Berdasarkan data tersebut peluang untuk melaksanakan ekstensifikasi pertanian khususnya untuk tanaman padi ke lahan rawa pasang surut masih terbuka luas.

Kondisi alami tanah sulfat masam dalam keadaan tergenang, karena drainase yang buruk sehingga bahan sulfidik berada dalam kondisi reduktif. Pada kondisi ini, permasalahan yang muncul jika ingin dijadikan lahan sawah adalah sistem drainase yang buruk. Pada kondisi reduktif, Fe^{3+} dapat tereduksi menjadi Fe^{2+} dan sulfat (SO_4^{2-}) tereduksi menjadi hidrogen sulfida (H_2S), jika kelarutannya tinggi dapat menjadi racun bagi tanaman (Reddy dan Delaune 2008). Reklamasi tanah sulfat masam yang kurang hati-hati dapat menyebabkan terjadinya drainase berlebih, selanjutnya dapat mengubah bahan sulfidik yang semula reduktif menjadi oksidatif.

Enio *et al* (2011) menyatakan bahwa jika pirit yang terdapat pada bahan sulfidik teroksidasi, maka dihasilkan sejumlah ion H^+ yang menyebabkan tanah sulfat masam menjadi sangat masam. Kemasaman tanah yang tinggi dapat menyebabkan kelarutan besi (Fe), aluminium (Al), dan mangan (Mn) meningkat sampai pada tingkat meracuni tanaman, defisiensi fosfor (P) karena terikat kuat oleh Fe dan Al, dan rendahnya kation-kation basa tanah karena terlindi.

Keracunan Al dan Fe pada tanaman padi disebabkan oleh tingginya kelarutan kedua unsur tersebut dalam tanah. Sebagian besar kasus keracunan Al dan Fe terjadi pada tanah-tanah yang berdrainase buruk (kondisi reduktif). Becker dan Ash (2005); Audebert (2006); Creeper *et al.* (2012) menyatakan bahwa keracunan Al dan Fe disebabkan oleh tingginya serapan Al dan Fe pada tanaman. Mekanisme keracunan Fe dimulai dari meningkatnya permeabilitas sel-sel akar terhadap ion Fe^{2+} seiring dengan meningkatnya perubahan Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} , akibatnya influks Fe^{2+} tidak terkendali masuk ke dalam perakaran tanaman padi. Pada genotipe tanaman padi yang toleran, konsentrasi Fe lebih tinggi pada batang dibandingkan dengan daun, sedang pada genotipe yang sangat peka, kandungan Fe tinggi pada semua bagian tanaman.

Tanaman padi memiliki tingkat toleransi terhadap kelarutan Al atau Fe yang tinggi. Keracunan Al dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi misalnya perkembangan akar terhambat. Hasil penelitian di kultur hara menunjukkan dengan konsentrasi 120 ppm Al dapat menyebabkan terjadinya keracunan pada tanaman padi, hal ini ditunjukkan dengan semakin tertekannya pertumbuhan akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al dalam larutan. Gejala klorosis pada daun mulai terlihat pada konsentrasi 240 ppm Al di dalam larutan hara (Cho *et al.* 2002). Toleransi tanaman padi terhadap kelarutan Fe tinggi berbeda pada setiap genotipe. Menurut Marschner (1995) dan Horst *et al.* (2009) tanaman memiliki dua tipe mekanisme toleransi terhadap keracunan Fe^{2+} yaitu: 1) Tipe ekskluder yaitu tanaman mengakumulasi ion Fe^{2+} yang berlebihan di akar, ion Fe^{2+} yang berlebihan di dalam tanah dihambat masuk ke dalam zona perakaran. 2) Tipe inkluder yaitu akar tanaman menyerap unsur Fe^{2+} dan menahannya di daun.

Upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki bahan sulfidik tanah yang telah teroksidasi adalah melalui penggenangan kembali dan pelindian.

Rachim *et al.* (2000) mengemukakan bahwa penggenangan kembali merupakan upaya untuk menghentikan proses oksidasi bahan sulfidik. Sedangkan pelindian merupakan upaya untuk membuang asam yang berasal dari ion-ion seperti Fe-bebas, SO_4^{2-} , Al^{3+} , dan Mn^{2+} yang berada pada tingkat meracun bagi tanaman (Alwi 2011). Upaya lain dapat juga dilakukan seperti pengelolaan air, pemberian bahan amelioran, dan penanaman varietas padi toleran terhadap kelarutan Al dan Fe (Shamshuddin *et al.* 2010; Shamshuddin dan Anda 2012; Dang *et al.* 2015).

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang pengelolaan lahan rawa pasang surut sulfat masam sebagai lahan sawah, terutama lahan sawah yang mengalami keracunan Al dan Fe. Melalui pengelolaan lahan yang baik diharapkan lahan rawa pasang surut sulfat masam yang dipandang sebagai lahan marginal dapat diubah menjadi lahan sawah produktif yang dapat memberikan keuntungan dan meningkatkan kesejahteraan petani.

Tanah Sulfat Masam

Pengertian Tanah Sulfat Masam

Widjaja-Adhi *et al.* (1992) menyatakan bahwa salah satu lahan rawa pasang surut yang berpotensi untuk dijadikan sebagai areal penanaman padi adalah lahan rawa pasang surut sulfat masam. Tanah sulfat masam adalah tanah yang mempunyai lapisan pirit yang belum teroksidasi (lapisan sulfidik) dan yang sudah teroksidasi (horizon sulfurik) yang terdapat pada kedalaman 0-50 cm dan mengandung pirit $>2\%$ dan semua horizon sulfurik walaupun lapisan sulfidik tanah >50 cm (Suhartini dan Makarim 2009).

Berdasarkan identifikasi tanah sulfat masam terbagi atas dua macam (Soil Survey Staff 2010) yaitu (1) sulfat masam potensial, dimana pirit masih berupa bahan sulfidik dalam status reduksi pada kedalaman 0-50 cm dan $\text{pH} > 4.0$, termasuk dalam klasifikasi tanah Entisol dan (2) Sulfat masam aktual, dimana memiliki horizon sulfurik atau pirit yang telah teroksidasi pada kedalaman 0-50 cm dan $\text{pH} < 3.5$, termasuk dalam klasifikasi tanah Inceptisol.

Lahan rawa pasang surut memiliki sifat yang spesifik yaitu dipengaruhi air pasang baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pertanian lahan rawa pasang surut adalah sistem pertanian yang sistem pengairannya memanfaatkan luapan air sungai akibat pasang surutnya air

laut (Aidara *et al.* 2014). Lahan rawa pasang surut dikelompokkan ke dalam empat tipologi (Widjaja-Adhi 1986), yaitu: 1) lahan potensial, 2) lahan salin, 3) lahan sulfat masam dan 4) lahan gambut. Lahan sulfat asam, adalah lahan yang terletak di wilayah lahan rawa pasang surut yang tanahnya mempunyai lapisan sulfidik yang berkadar lebih dari 2%, lapisan tersebut berada pada kedalaman <50 cm dari permukaan tanah dan berdasarkan tingkat oksidasinya lahan sulfat masam ini dibagi lagi menjadi: 1) lahan sulfat masam potensial, yaitu lahan sulfat masam yang belum mengalami oksidasi dan 2) lahan sulfat masam aktual yaitu lahan sulfat masam yang telah mengalami oksidasi. Untuk budidaya padi, tipologi lahan sulfat masam mempunyai kendala yang lebih besar terutama kemasaman tanah dan kadar Al serta Fe yang tinggi sehingga dapat meracuni tanaman, disamping tingkat kesuburannya rendah.

Kondisi Oksidasi dan Reduksi Tanah Sulfat Masam

Proses oksidasi pirit (FeS_2) dapat terjadi secara alami yakni akibat perbedaan yang besar antara pasang surutnya air laut dan musim kemarau panjang (Suhartini dan Makarim 2009) atau akibat aktivitas manusia. Oksidasi pirit mengakibatkan perubahan kandungan ion-ion di dalam larutan tanah dan kompleks jerapan. Selama proses oksidasi, SO_4^{2-} di dalam larutan tanah meningkat cepat dan sebaliknya Fe^{2+} menurun (Enio *et al.* 2011). Penurunan kandungan besi tersebut karena terjadinya presipitasi besi dalam bentuk besi ferri yang sukar larut dan sebagian lagi terpresipitasi dalam bentuk jarosit. Terbentuknya jarosit akibat teroksidasinya pirit dapat menurunkan kemasaman tanah. Menurut van Breemen (1993) kecepatan penurunan pH akibat oksidasi pirit ditentukan oleh jumlah pirit, kecepatan oksidasi, kecepatan perubahan hasil oksidasi dan kapasitas netralisasi.

Tanah sulfat masam yang digenangi (anaerob) dapat menyebabkan berkurangnya kemasaman tanah yang timbul akibat proses oksidasi, tetapi bila kondisi reduksi ini terjadi secara berlebihan akan muncul permasalahan baru, yaitu terbentuknya besi ferro (Fe^{2+}), asam belerang (H_2S), karbon dioksida (CO_2) dan asam-asam organik (Vadari *et al.* 1992; Sudhalakshmi *et al.* 2007). Proses reduksi yang terjadi pada tanah sulfat masam juga dapat meningkatkan pH di larutan tanah dan mengurangi kelarutan Al^{3+} dalam larutan tanah.

Reaksi oksidasi-reduksi pirit merupakan penyebab utama munculnya permasalahan di tanah sulfat masam. Menurut Dent (1986) proses reduksi pada tanah sulfat masam akan menghasilkan $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ dan $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq,g})}$. Reduksi besi (Fe III menjadi Fe II) terjadi pada pH 7 dan Eh -180 mv, dan reduksi sulfat $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ menjadi $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq,g})}$ terjadi pada pH 7 dan Eh -220 mv. Pirit adalah bentuk umum dan sangat stabil merupakan produk akhir dari reduksi sulfat. Sedangkan oksidasi pirit akan menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_3_{(\text{s})}$, $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$, dan $\text{H}^+_{(\text{aq})}$. Van Mensvoort dan Dent (1998) mengemukakan bahwa oksidasi pirit secara kimia akan berlangsung lambat, tetapi reaksi yang dimediasi oleh bakteri pengoksidasi besi, khususnya *Thiobacillus ferrooxidans* menjadikan kondisi optimum untuk oksidasi sulfida dengan konsentrasi oksigen > 0,01 fraksi mol (1 %), temperatur 5-55 °C (optimal 30 °C), dan pH 1,5-5 (optimal 3,2).

Dampak Oksidasi dan Reduksi Terhadap Kelarutan Al dan Fe

Oksidasi terhadap bahan sulfidik dapat menyebabkan tanah menjadi sangat masam, sehingga mineral kaolinit dan beidelit dapat larut dan menyumbang Al^{3+} ke dalam larutan tanah akibatnya kadar Al-dd meningkat. Sudarmo (2004) menyatakan kemasaman akibat oksidasi tanah sulfat masam menyebabkan mineral alumino-silikat menjadi larut, dicirikan dengan konsentrasi Si-Al dalam suspensi larutan tanah meningkat. Aktivitas ion Al^{3+} yang larut tergantung langsung dari nilai pH tanah (Tinh 1999; Fageria *et al.* 2008). Cho *et al.* (2002) menyatakan bahwa pada tanah sulfat masam yang berasal dari Thailand, konsentrasi Al dalam larutan tanah meningkat dari 0,4 ppm pada pH 5,5 menjadi 54 ppm pada pH 2,8. Lebih lanjut Anwar (2006) menyampaikan bahwa penurunan pH tanah 1 unit dapat meningkatkan aktivitas ion Al^{3+} 10 kali.

Kemasaman yang tinggi akibat oksidasi pirit menyebabkan kisi-kisi mineral liat pecah atau terbongkar dan kemudian melepaskan ion Al^{3+} ke dalam larutan tanah. Proses oksidasi dapat terjadi karena tanah retak akibat kekeringan, bekas perakaran tanaman atau drainase yang berlebihan sehingga oksigen dapat masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah yang terbuka. Oksigen dan ion Fe^{3+} dalam tanah dapat berperan sebagai oksidator bagi pirit yang menyebabkan tanah menjadi sangat masam (Priatmadi dan Haris 2009) dan nilai pH tanah menjadi sangat rendah mencapai 2-3. Ion H^+ , Fe^{2+} dan SO_4^{2-} yang dihasilkan akibat nilai pH yang rendah juga dapat meningkatkan Fe-bebas (Dent 1986).

Menurut Sudarmo (2004), penurunan pH disamping meningkatkan kadar Fe-bebas juga meningkatkan kadar Mn-bebas, Al-dd dan Mg-dd serta cenderung meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Pada tahap lanjut peningkatan Fe-bebas, Al-dd, Mn-bebas dapat menurunkan P-tersedia. Konsentrasi ion H^+ yang tinggi di dalam larutan tanah dapat memicu kemasaman tanah, hal ini menggambarkan bahwa proses oksidasi yang terjadi pada tanah tersebut sangat kuat (Sumner dan Noble 2003).

Dampak Oksidasi dan Reduksi Terhadap Tanaman Padi

Lahan rawa pasang surut sulfat masam dengan pH tanah rendah dapat menyebabkan kelarutan Al, Fe, Mn tinggi dan terjadinya kahat hara. Kondisi ini dapat menyebabkan proses metabolisme tanaman menjadi terganggu. Aluminium yang terdapat di dalam larutan tanah dapat ditemui dalam bentuk yang berbeda-beda tergantung pada nilai pH tanah. Nilai pH 4,0 dalam bentuk $Al(H_2O)_6^{3+}$, pH 4,5-5,0 dalam bentuk $Al(OH)^{2+}$, pH 5,5-6,0 dalam bentuk $Al(OH)^{2+}$ dan pH >6,0 dalam bentuk $Al(OH)^{4-}$ (Samac dan Tesfaye 2003). Bentuk Al yang diserap oleh akar tanaman dan yang dapat meracuni berbeda pada setiap jenis tanaman maupun pada bagian tanaman. Bagian tanaman yang pertama kali berinteraksi dengan tanah adalah akar dan bagian ini merupakan yang sensitif terhadap keracunan Al (Shamshuddin *et al.* 2013).

Tingginya konsentrasi Al dalam larutan tanah dapat menimbulkan efek yang merugikan bagi pertumbuhan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Keracunan Al dapat menurunkan dan merusak sistem perakaran sehingga menyebabkan tanaman rentan terhadap cekaman kekeringan dan mengalami defisiensi hara (Kochian *et al.* 2004). Gejala awal yang terlihat pada tanaman adalah sistem perakaran tidak berkembang akibatnya pemanjangan sel akar menjadi terganggu (Roslim 2011). Tanaman yang mengalami cekaman Al, kerusakan terjadi pada akar seperti menebal, menggulung dan pendek. Jika tanaman mengalami cekaman Al lebih lama dapat menghambat pembelahan sel (Matsumoto 2000). Menurut Trikoesoemaningtyas (2002) kerusakan akar berkorelasi dengan akumulasi Al di ujung akar terutama pada daerah 0-5mm dari ujung akar. Miftahudin *et al.* (2007) menyatakan bahwa daerah kerusakan pada akar tanaman yang ditimbulkan oleh Al berada sekitar 1 mm dari ujung akar. Lebih lanjut Ryan dan Delhaize (2010), menyatakan bahwa Al

dapat merusak akar pada saat masih berada pada dinding sel tanpa harus masuk ke dalam sel.

Tanaman yang sensitif terhadap cekaman Al (padi varietas IR64) akan memperlihatkan gejala sekunder yaitu akan terlihat kerusakan pada daun yang dimulai dengan berwarna kuning pada ujung daun, kemudian berubah merah atau coklat pada seluruh helaian daun hingga daun layu dan mati. Gejala keracunan Al pada padi dapat terlihat seperti pada keracunan Fe, tetapi gejala akibat keracunan Al merupakan gejala sekunder, karena kerusakan pada daun timbul karena rusaknya sistem perakaran dan oleh karena itu akan terjadi penghambatan penyerapan air dan nutrisi dari dalam tanah, sedang yang terjadi akibat cekaman Fe pada tanaman padi merupakan gejala primer daun akan mengalami *bronzing* kemudian layu dan mati akibat tingginya ion Fe^{2+} dalam jaringan daun (paragraph ini apakah ada referensinya?).

Pada kondisi reduksi, pH tanah sulfat masam meningkatkan dan mengurangi kelarutan Al, namun kondisi ini dapat meningkatkan kelarutan Fe^{2+} , H_2S , CO_2 dan asam organik yang bersifat racun bagi tanaman (Vadari *et al.* 1992; Ryan dan Delhaize 2010). Salah satu permasalahan yang muncul dari kondisi ini adalah tingginya konsentrasi ion Fe^{2+} di dalam larutan tanah. Konsentrasi ion Fe^{2+} di dalam tanah yang menyebabkan keracunan bagi tanaman khususnya tanaman padi bervariasi dari 100 ppm dengan pH 3,7 hingga 300 ppm pada pH 5,0 (Sahrawat 2004). Sedangkan konsentrasi Fe^{2+} yang terdapat di dalam jaringan tanaman yang dapat meracuni tanaman antara 300-500 ppm (Sahrawat 2004) 500-2000 ppm (Nozoe *et al.* 2008).

Keracunan Fe menyebabkan terjadinya perubahan fisiologis pada tanaman padi. Hasil penelitian di lahan pasang surut sulfat masam di KP. Belandean menunjukkan genotipe padi mempunyai respon yang berbeda terhadap keracunan Fe yang ditunjukkan oleh hasil yang berbeda pula, yaitu berkisar antara 2,24-5,09 t/ha dan skoring keracunan besi berkisar antara 1,3-6,3. Nilai skoring Fe menunjukkan seberapa berat tanaman padi mengalami keracunan, semakin tinggi nilai skoring semakin berat tanaman keracunan Fe dan semakin rendah nilai skoring semakin ringan keracunan. Pada nilai sekoring 5 menunjukkan tanaman peka terhadap keracunan besi, sedangkan pada nilai 3 menunjukkan tanaman toleran terhadap keracunan besi. Padi yang toleran terhadap keracunan menunjukkan hasil gabah yang lebih tinggi dibandingkan padi yang kurang toleran atau tidak toleran (Noor dan Khairuddin 2013).

Hasil gabah kering dari varietas padi yang diuji di lahan rawa pasang surut sulfat masam di Puntik Dalam menunjukkan varietas Indragiri memberikan hasil tertinggi (4,56 t/ha), kemudian diikuti oleh varietas Tenggulang (4,11 t/ha), Ciherang (3,75 t/ha), Lambur (3,65 t/ha), Banyu Asin (3,61 t/ha), Margasari (3,34 t/ha) dan terendah Bondoyudo 3,23 t/ha. Gejala keracunan besi yang diamati pada saat akhir vegetatif menunjukkan varietas Margasari, Indragiri, Tenggulang, Lambur dan Banyu Asin tergolong toleran dengan skoring berkisar antara 1-3, sedangkan Ciherang, Bondoyudo, dan IR-64 tergolong agak toleran dengan skoring berkisar antara 3-5 (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil gabah kering giling beberapa varietas padi yang diuji di lahan rawa pasang surut sulfat masam, Desa Puntik Dalam, Kalimantan Selatan pada MK 2006

Varietas	Hasil Gabah t/ha GKG	Skoring Fe
Indragiri	4,56	2,0
Tenggulang	4,11	2,3
Ciherang	3,75	4,0
Lambur	3,65	2,3
Bondoyudo	3,23	4,0
IR-64	3,34	1,3
Margasari	3,24	5,0

Sumber: Noor *et al.* (2007)

Tanggap Tanaman Terhadap Keracunan Al dan Fe

Menghadapi cekaman kelarutan Al yang tinggi di dalam larutan tanah, tanaman mempunyai strategi untuk dapat bertahan hidup. Strategi tersebut antara lain: (1) Akar tidak menyerap Al sehingga Al tidak terakumulasi di tajuk (*avoidance*). Mekanisme ini terjadi bila tanaman mengeksudasi senyawa asam organik dari akar. Senyawa asam organik yang dieksudasi dapat meningkatkan pH rhizosfer sehingga Al berada dalam bentuk tidak larut dan tidak toksik bagi tanaman. Selain itu asam organik tersebut dapat mengkelat Al sehingga Al tidak diserap tanaman. (2) Akar tanaman menahan dan mengakumulasi Al di akar, terutama di jaringan epidermis akar. (3) Tanaman mengakumulasi Al di dalam tajuk (Ryan dan Delhaize 2010).

Mekanisme internal detoksifikasi Al di dalam sitoplasma lebih kepada pembentukan asam organik dan pembentukan kompleks Al, sehingga Al tidak bersifat racun di dalam sel tanaman. Pengaktifan enzim tertentu juga dapat menghasilkan asam organik yang dapat mengkelat Al supaya tidak toksik bagi tanaman, misalnya pembentukan ikatan kompleks Al-COOH (Carboxylate-Al) sehingga Al menjadi tidak meracuni tanaman (Dang *et al.* 2015). Aluminium yang berada di dalam tonoplas akan didetoksifikasi oleh asam organik dan membentuk senyawa kompleks Al disebut dengan internal detoksifikasi. Detoksifikasi Al internal melalui pembentukan senyawa kompleks Al dengan asam organik merupakan cara tanaman mentolerir Al yang masuk ke jaringan tanaman (Ryan dan Delhaize 2010).

Pengaruh konsentrasi Al dalam larutan hara terhadap panjang akar relatif (RRE) dapat dilakukan untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap Al (Roslim *et al.* 2008). Pada penelitian ini yang dilakukan adalah hanya melihat persentase akar yang tertekan akibat adanya cekaman Al dengan menghitung selisih perbedaan akar tanpa cekaman Al dan yang diberi cekaman Al.

Tabel 2. Pengaruh perbedaan konsentrasi Al terhadap rata-rata panjang akar dan rata-rata persentase penurunan akar

Konsentrasi Al (ppm)	Rata-rata Panjang Akar (cm)	Rata-rata Persentase Penurunan Akar (%)
0	26,28	0
120	17,31	65,21
240	17,04	65,22
360	17,35	66,56

Sumber: Harahap (2014)

Tanaman padi memiliki suatu kecenderungan dalam menyerap besi lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lain. Besi diserap akar tanaman dalam bentuk Fe^{2+} dan masuk ke dalam jaringan akar kemudian ditransportasikan ke dalam jaringan tanaman. Transport Fe^{2+} di dalam akar tanaman padi bisa melalui jalur apoplas maupun simplas menuju epidermis, korteks, endodermis dan setelah melewati pita kaspary besi ditransportasikan ke pembuluh *xylem*. Oleh *xylem* besi ditransportasikan ke tajuk mengikuti aliran transpirasi menuju ruang-ruang antar sel. Besi dalam bentuk Fe^{3+} dapat juga diserap oleh akar tanaman dengan bantuan pengkelat. Pada saat tanaman mengalami defisiensi Fe, akar tanaman padi akan melepaskan asam muginik, yaitu molekul kimia dari kelompok

fitosiderofor dan mengkelat Fe^{3+} yang ada di rhizosfer untuk diserap ke dalam akar. Mekanisme pengkelatan Fe ini lebih efisien dari mekanisme reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} oleh bakteri pereduksi (Majerus *et al.* 2007)

Peningkatan konsentrasi Fe dalam larutan hara dapat menyebabkan penurunan biomassa tanaman. Semakin tinggi konsentrasi Fe di dalam larutan hara menyebabkan pertumbuhan tanaman padi menjadi semakin tertekan. Seperti yang disampaikan oleh Fageria *et al.* (2008), tanaman padi yang mengalami keracunan besi akan menyebabkan pertumbuhan tinggi tanaman menjadi terhambat. Pengaruh peningkatan konsentrasi Fe pada larutan hara terhadap panjang tajuk, panjang akar, bobot kering tajuk, bobot kering akar dan volume akar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi Fe dalam larutan hara terhadap panjang tajuk, panjang akar, bobot kering tajuk, bobot kering akar dan volume akar

Konsentrasi Fe (ppm)	Panjang Tajuk (cm)	Panjang Akar (cm)	Bobot Kering Tajuk (g)	Bobot Kering Akar (g)	Volume Akar (ml)
0	38 a	18 a	0,15 a	0,05 a	0,42 a
500	34 ab	8 c	0,09 b	0,03 c	0,21 bc
1000	34 ab	11 b	0,11 b	0,04 b	0,25 b
1500	32 b	9 bc	0,10 b	0,03 c	0,15 c

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=0.05$
 Sumber: Harahap (2014)

Tanaman padi mampu mengembangkan mekanisme penghindaran dan toleransi baik secara morfologis maupun fisiologis untuk bertahan hidup pada kondisi tanah dengan kelarutan besi yang tinggi. Hal ini umum dilakukan oleh varietas padi yang toleran terhadap cekaman besi (Gunawardena *et al.* 1982). Tiap varietas tanaman mempunyai perbedaan terhadap distribusi Fe pada tiap bagian tanaman (akar, batang dan daun). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan mekanisme yang lebih spesifik pada masing-masing varietas secara fisiologi. Pada varietas padi yang toleran terhadap besi lebih banyak menimbun Fe di batang dan lebih sedikit di daun dibandingkan dengan varietas yang peka. Varietas yang peka tidak mempunyai mekanisme penghambat (*barrier*) terhadap ion Fe^{2+} diantara bagian tanaman yang berbeda dan kandungan Fe tinggi dalam semua bagian tanaman, karena varietas yang sensitif tidak mempunyai selektivitas pada bagian tanamannya (Audebert 2006). Besi ferro (Fe^{2+}) bersifat immobil dalam tanaman, yaitu hara yang keberadaannya tidak bisa dipindahkan

dengan cara dirombak kembali dari satu jaringan ke jaringan lain khususnya dari jaringan tua ke jaringan muda. Hal ini yang menyebabkan gejala defisiensi Fe^{2+} terlihat pada daun muda (Aung 2006).

Upaya Penanggulangan Keracunan Al dan Fe

Strategi pengendalian keracunan Al dan Fe dan peningkatan produktivitas padi pada lingkungan yang bermasalah dengan keracunan Al dan Fe tergantung penyebab utama terjadinya keracunan pada tanaman. Menurut Ismunadji *et al* (1989) untuk mengatasi keracunan Al dan Fe dan meningkatkan produksi padi pada lahan keracunan Al dan Fe, dapat dilakukan dengan teknologi tata air seperti perbaikan drainase, pemupukan berimbang, penambahan bahan organik dan pengapuran.

Pengelolaan air pada lahan rawa pasang surut sulfat masam diutamakan untuk mencuci atau membuang zat-zat beracun yang larut. Drainase diartikan sebagai upaya mengeluarkan air dari profil tanah (Shamshuddin *et al.* 2013). Proses drainase di tanah sulfat masam dapat menyebabkan tanah menjadi miskin hara, karena basa-basa ikut tercuci, seperti Ca, Mg, K dan lain (Subagyo *et al.* 1983). Drainase yang dilakukan pada tanah sulfat masam selama delapan minggu dengan kedalaman air bawah tanah sedalam 20 cm dari permukaan lapisan pirit dapat mengakibatkan pH tanah naik menjadi 4,3, meningkatkan Al-dd dari 7,61 menjadi 18,21 me/100 g tanah, menurunkan besi ferro dari 49,74 menjadi 26,06 ppm dan meningkatkan besi ferri 420,77 menjadi 444,05 ppm. Drainase hingga kedalaman air bawah tanah 40 cm dari permukaan pirit menurunkan pH menjadi 4,26, meningkatkan Al-dd dari 7,61 menjadi 20,42 me/100 g tanah, menurunkan besi ferro dari 49,34 menjadi 21,59 ppm, serta meningkatkan besi ferri dari 420,77 menjadi 448,52 ppm (Yuliana 1998). Menurut Subiksa *et al* (1991) pencucian yang dilakukan terhadap lahan sawah sulfat masam dapat meningkatkan pH sebesar 0.55 pada musim tanam tahun pertama dan 0.99 pada musim tanam tahun ke dua. Jika dilakukan dengan intensitas pencucian 1, 5, 10 dan 15 hari sekali menyebabkan pH tanah semakin meningkat dan Al-dd serta Fe bebas semakin menurun (Murti Laksono *et al.* 2001). Menurut Alwi (2011) tanah sulfat masam yang dilindi menggunakan air payau dapat menyebabkan konsentrasi Fe^{2+} dan Fe-total bahan sulfidik tanah (1.010 ppm Fe^{2+} dan 2.440 ppm Fe-total) lebih kecil dibandingkan dengan air hujan (1.110 ppm Fe^{2+} dan 2.390 ppm Fe-total) dan air gambut (1.190 ppm Fe^{2+} dan 2.480 ppm Fe-total).

Bahan amelioran adalah bahan yang mampu memperbaiki atau membenahi kondisi fisik dan kesuburan tanah. Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik, kimia dan biologi. Amelioran tersebut dapat berupa kapur dolomit maupun bahan organik (Shazana *et al.* 2013). Secara umum pemberian kapur antara 0,5 ton sampai dengan 3,0 ton perhektar sudah cukup memadai (Alihamsyah 2002). Sedangkan beberapa peneliti seperti Noor *et al* (2012), menyatakan bahwa pemberian bahan amelioran seperti pupuk organik, tanah mineral, zeolit, dolomit, fosfat alam, pupuk kandang, kapur pertanian, abu sekam, purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dapat meningkatkan pH tanah dan basa-basa dalam tanah. Penambahan bahan-bahan amelioran yang banyak mengandung kation polivalen juga dapat mengurangi pengaruh buruk asam-asam organik beracun.

Bahan amelioran yang sering digunakan dalam budidaya padi adalah dolomit. Dolomit selain mengandung unsur Ca (32.0%) juga mengandung Mg (4.03 %). Pemberian kapur di lahan rawa pasang surut dapat memperbaiki (1) sifat fisik tanah, yaitu memperbaiki granulasi tanah, sehingga aerasi lebih baik, (2) sifat kimia tanah, yaitu menurunkan kepekatan ion H^+ , menurunkan kelarutan Fe, Al dan Mn, meningkatkan ketersediaan Ca, Mg, P dan Mo serta meningkatkan kejenuhan basa, (3) sifat biologi tanah, yaitu meningkatkan kegiatan jasad renik tanah (Shazana *et al.* 2013). Selain kapur, bahan organik juga berpengaruh cukup baik untuk meningkatkan kesuburan lahan sulfat masam. Sumber bahan organik yang sering digunakan adalah kotoran ayam. Kotoran ayam digunakan, karena kandungan unsur N dan Ca-nya tergolong tinggi dibandingkan kotoran sapi, kuda dan kambing. Pemberian bahan organik pada tanah-tanah masam dapat memperbaiki: (1) sifat fisik tanah, tanah menjadi gembur dan aerasi tanah lebih baik, (2) sifat kimia tanah, yaitu meningkatnya kapasitas tukar kation (KTK) dan meningkatnya ketersediaan hara, (3) sifat biologi tanah, yaitu meningkatnya populasi mikroorganisme tanah yang berperan penting terhadap pertumbuhan tanaman (Li *et al.* 2001; Ai *et al.* 2015).

Kriteria amelioran yang baik bagi lahan rawa pasang surut adalah memiliki kejenuhan basa (KB) yang tinggi, mampu meningkatkan nilai pH secara nyata, mampu memperbaiki struktur tanah, memiliki kandungan unsur hara yang lengkap, dan mampu mencuci senyawa beracun terutama asam-asam organik. Amelioran dapat berupa bahan organik maupun

anorganik. Beberapa bahan amelioran yang sering digunakan adalah kapur, tanah mineral, pupuk kandang, kompos dan abu (Vieira *et al.* 2008).

Selain teknologi budidaya dan pengelolaan tanah dan air, penggunaan varietas yang toleran atau cukup toleran lebih efisien dalam mengendalikan keracunan besi. Penggunaan varietas padi hendaknya disesuaikan dengan kemampuan padi untuk beradaptasi pada lingkungan yang spesifik. Penggunaan varietas toleran merupakan cara yang paling murah dan mudah diaplikasikan oleh petani, hanya saja untuk mendapatkan varietas yang toleran dengan hasil tinggi sangat sulit dan memerlukan waktu yang lama. Perbaikan lingkungan tumbuh agar tanaman dapat tumbuh optimal dan memberikan hasil tinggi apabila menggunakan varietas yang tidak toleran memerlukan input yang tinggi sehingga biaya produksi juga menjadi tinggi.

Pengendalian keracunan besi dan peningkatan produktivitas padi dapat dilakukan dengan mengkombinasikan antara varietas toleran/agak toleran dengan perbaikan lingkungan tumbuh. Pada lingkungan dengan cekaman Fe yang ringan dapat menggunakan varietas dengan potensi hasil tinggi yang agak toleran terhadap keracunan Fe. Pada lingkungan dengan cekaman Fe sedang dapat menggunakan varietas toleran atau agak toleran yang mempunyai potensi hasil tinggi dengan mengkombinasikan perbaikan lingkungan tumbuh dengan input rendah. Pada lingkungan dengan cekaman Fe berat sebaiknya menggunakan varietas toleran Fe yang dikombinasikan dengan perbaikan lingkungan tumbuh (Elec *et al.* 2013).

Padi varietas unggul memiliki sifat-sifat antarlain berdaya hasil tinggi, tahan hama penyakit tanaman utama, dan umur genjah, sehingga sesuai dikembangkan dalam pola tanam dua kali setahun. Penggunaan varietas unggul menghasilkan pertumbuhan seragam, rendemen dan mutu gabah lebih tinggi, lebih tahan hama penyakit tanaman, adaptif terhadap cekaman lingkungan dan rasa nasi sesuai selera konsumen. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah melepas 25 varietas padi rawa. Sistem pemberian nama padi sampai dengan tahun 2008 menggunakan nama sungai. Beberapa varietas padi rawa yang dilepas sampai tahun 2007 (Tabel 4) dan yang dilepas setelah tahun 2008 (Tabel 5). Pada umumnya varietas padi rawa pasang surut berumur antara 117-145 hari, hasil 3,0-6,5 t/ha dan beradaptasi baik pada lahan dengan tingkat kemasaman dan keracunan besi tidak terlalu tinggi. Pada kondisi lahan dengan tingkat kemasaman tinggi, hanya padi lokal yang dapat beradaptasi baik. Hasil uji adaptasi di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan dan Tengah menunjukkan bahwa keragaan hasil varietas padi rawa pasang surut

sangat bervariasi tergantung tipologi lahan. Varietas Kapuas yang diuji di lahan rawa pasang surut sulfat masam menghasilkan gabah antara 2,48-4,90 t/ha, di lahan bergambut 3,10 t/ha. Varietas Margasari relatif lebih stabil, yaitu di lahan sulfat masam hasilnya 3,31-3,50 t/ha dan di lahan bergambut 3,3 t/ha (Koesrini *et al.* 2014).

Tabel 4. Varietas padi rawa yang dilepas sampai tahun 2007

Varietas	Potensi Hasil (t/ha)	Umur (Hari)	Ketahanan Hama	Ketahanan Penyakit	Toleransi Lingkungan	Tekstur Rasa Nasi	Tahun Dilepas
Barito	5,0	145	T Wck-1	CT BHD	-	Enak	1981
Mahakam	4,0	140	P Wck 2,3	CT BHD	Fe, genangan	Sedang	1983
Kapuas	3,0	127	T Wck-1	CT BHD	Fe	Enak	1984
Musi	4,5	140	T Wck-2	T BHD	Salinitas	Kurang	1988
Sei Lilin	6,0	125	AT Wck-2	CT Blas	-	Pera	1991
Lematang	6,0	130	T Wck-1	CT Blas	Fe	Pera	1991
Lalan	6,0	130	T Wck-1	CT Blas	Salinitas	Pera	1997
Banyuasin	6,0	122	AT Wck-3	T Blas, AT BHD	AT Fe, Al	Pulen	1997
Batanghari	6,5	128	AT Wck 1,2	T Blas, AT BHD	T Fe	Pera	1999
Dendang	5,0	127	AT Wck-1	AT Blas, R BHD	CT Fe, Al, salinitas	Pulen	1999
Indragiri	6,0	119	T Wck-2	T Blas, T BHD	CT Fe, Al	Sedang	2000
Punggur	5,5	119	T Wck-2,3	T Blas	T Fe, Al	Sedang	2000
Margasari	4,5	125	AR Wck-2	T Blas, AR HPD	T Fe	Pera	2000
Martapura	5,0	125	AR Wck-2	T-AR Blas, AR HPD	T Fe	Pera	2000
Air Tenggulang	6,0	127	T Wck-2,3	T Blas, T BHD	-	Pera	2001
Siak Raya	6,0	124	AT Wck-2,3	T Blas, AT BHD	T Fe, Al	Pera	2001
Lambur	5,0	117	R Wck 2,3	T Blas	T Fe, AT Al, AT salinitas	Pulen	2001
Mendawak	5,0	117	R Wck 2,3	AT Blas	T Fe, AT Al, AR salinitas	Pulen	2001

Sumber: Koesrini *et al.* (2014)

Keterangan: AR=agak rentan, R=rentan, AT=agak tahan, CT=cukup tahan, T=tahan, Wck=wereng coklat, BHD=Bakteri hawar daun, HPD=Hawar pelepah daun

Tabel 5. Varietas padi rawa yang dilepas setelah tahun 2008

Karakteristik	INPARA 1	INPARA 2	INPARA 3	INPARA 4	INPARA 5	INPARA 6	INPARA 7
Asal seleksi	Batang Ombilin/IR9884-54-3	Pucuk/Cisang-garung/Sita	IR69256/IR43524-55-1-3-2	Introduksi dari IRRI	Introduksi dari IRRI	IR64/IRBB21/IR51672	Bio 12/Beras
Umur tanaman (hari)	131	128	127	135	115	117	114
Bentuk tanaman	Tegak	Tegak	Tegak	Tegak	Tegak	Tegak	Tegak
Tinggi tanaman (cm)	111	103	108	94	92	99	88
Anakan produktif	18	16	17	18	18	13	12
Kerebahan	Sedang	Sedang	Sedang	Tahan	Sedang	Tahan	Sedang-tahan
Kerontokan	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Bentuk gabah	Sedang	Sedang	Ramping	Sedang	Ramping	Sedang	Ramping-panjang
Tekstur nasi	Pera	Pulen	Pera	Pera	Sedang	Sedang	Pulen
Kadar amilosa (%)	27,9	22,1	28,6	29	25,0	24,0	20
Indeks glikemik	-	-	59,2	50,9	59	-	-
Berat 1000 butir (g)	23,3	25,6	25,7	19,5	25	26	24
Rata-rata hasil (t/ha)	5,0	5,1	4,6	4,7	4,5	4,7	4,5
Potensi hasil (t/ha)	6,47	6,08	5,6	7,6	7,2	6,0	5,1
Ketahanan terhadap cekaman abiotik	Toeran. Fe dan Al	Toeran. Fe dan Al	Toleran Fe dan Al, rendaman*	Toleran Fe, rendaman**	Toleran rendaman**	Toleran Fe	Agak Toleran Fe dan Al
Anjuran tanam	PS dan Lebak	PS dan Lebak	PS, Lebak, sawah irigasi	PS, Lebak, sawah rawan banjir	Lebak dangkal, sawah rawan banjir	PS Potensial, Lebak	PS, Lebak
Pemulia	Bambang Kustianto dkk	Bambang Kustianto dkk	Hamdan Pane dkk	D.J. Mackill dkk	D.J. Mackill dkk	Aris Hairmansis dkk	Suwarno, dkk
Dilepas tahun	2008	2008	2008	2010	2010	2010	2012

Sumber: Koesrini *et al* (2014)

Keterangan: * rendaman 6 hari fase vegetatif, ** rendaman 14 hari fase vegetatif. Keterangan: PS=pasang surut

Penutup

Lahan-lahan yang paling potensial keracunan besi dari segi kondisi psiko-kimianya adalah lahan rawa pasang surut sulfat masam, tanah liat masam dan sawah bukaan baru. Keracunan aluminium dan besi pada tanaman padi terjadi karena kelebihan serapan Al dan Fe yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti rendahnya pH tanah, tingginya kelarutan Al dan Fe, defisiensi atau ketidakseimbangan hara, drainase buruk atau berlebih dan kepekaan varietas padi terhadap cekaman Al dan Fe.

Strategi tanaman dalam mengatasi kelarutan Al tinggi antara lain: (1) akar tidak menyerap Al sehingga Al tidak terakumulasi di tajuk (*avoidance*). Mekanisme ini terjadi bila tanaman mengeksudasi senyawa asam organik dari akar. Senyawa asam organik yang dieksudasi dapat meningkatkan pH rhizosfer sehingga Al berada dalam bentuk tidak larut dan tidak toksik bagi tanaman. Selain itu asam organik tersebut dapat mengkelat Al sehingga Al tidak diserap tanaman. (2) akar tanaman menahan dan mengakumulasi Al di akar, terutama di jaringan epidermis akar, dan (3) tanaman mengakumulasi Al di dalam tajuk. Sedangkan pada kondisi kelarutan Fe tinggi, akar tanaman padi akan melepaskan asam muginik, yaitu molekul kimia dari kelompok fitosiderofor dan mengkelat Fe^{3+} yang ada di rhizosfer untuk diserap ke dalam akar. Mekanisme pengkelatan Fe ini lebih efisien dari mekanisme reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} oleh bakteri pereduksi.

Keracunan Al dan Fe mempengaruhi beberapa karakter agronomi dan fisiologi tanaman padi yang berakibat pada terganggunya pertumbuhan dan menurunkan hasil. Kelebihan serapan Al dan Fe menyebabkan terganggunya serapan hara, menurunnya kadar gula larut dan klorofil, dan proses fotosintesis tanaman.

Pengendalian keracunan Al dan Fe dapat dilakukan melalui pendekatan perbaikan lingkungan tumbuh tanaman dan perbaikan genotif tanaman. Perbaikan lingkungan tumbuh meliputi perbaikan saluran irigasi dan drainase sehingga aliran air pasang dan surut berjalan lancar. Jika aliran air baik, maka terjadi pencucian unsur-unsur Al dan Fe tanah. Hal ini dapat menyebabkan kelarutan Al dan Fe tanah berkurang. Selain itu dapat juga dilakukan penambahan bahan amelioran seperti kapur dan bahan organik yang dapat mengkelat Al dan Fe sehingga kelarutannya dalam tanah menurun. Pendekatan melalui perbaikan genotif tanaman dapat dilakukan

melalui penggunaan varietas toleran atau agak toleran yang mempunyai potensi hasil tinggi.

Daftar Pustaka

- Ai, C., G. Liang, J. Sun, P. He, S. Tang, S. Yang, W. Zhou, dan X. Wang. 2015. The alleviation of acid soil stress in rice by inorganic or organic ameliorants is associated with changes in soil enzyme activity and microbial community composition. *Biology and Fertility of Soils* 51: 465-477.
- Aïdara, C. A., Montoroi, J. P. dan Stahr, K. 2014. Coastal acid sulfate soils in the Saloum River basin, Senegal. *Soil Research* 52: 671-684.
- Alihamsyah, T. 2002. Optimalisasi Pendayagunaan Lahan Rawa Pasang Surut. Hlm. 51-72. *Dalam*. Prosiding Seminar Nasional: Optimalisasi Pendayagunaan Sumberdaya Lahan. tanggal 6-7 Agustus 2002 di Cisarua. Puslitbang Tanah dan Agroklimat.
- Anwar, K. 2006. Peningkatan kualitas tanah sawah dan air buangan di saluran drainase pada tanah sulfat masam. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. 186 halaman.
- Alwi, M. 2011. Inaktivasi Pirit dan Jarosit Terlapuk Melalui Pelindian dan Penggunaan Biofilter di Tanah Sulfat Masam. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. 170 halaman.
- Audebert, A. 2006. Iron partitioning as a mechanism for iron toxicity tolerance in lowland rice. p. 136-158. *In*. Audebert, A., L.T. Narteh, D. Millar and B. Beks IEds.). Iron Toxicity in Rice-Based System in West Africa. Africa Rice Center (WARDA).
- Aung, T. 2006. Physiological Mechanisms of Iron Toxicity Tolerance in Lowland Rice. *Thesis*. Faculty of Agriculture Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. 126 p.
- Becker, M. and F. Asch. 2005. Iron toxicity in rice-condition and management concept. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 168 (4) : 558-573.
- Cho, K. M., Ranamukhaarachchi, and M. A. Zoebisch. 2002. Cropping System on Acid Sulphate Soil in the Central Plains of Thailand: Constraints and Remedies. *In*: Acid Sulphate Soil Management in Tropical Environment. 17th WCSS. Thailand. August 2002. Paper No 812:1-10.
- Creeper, N. L., P. Shand, R. W. Fitzpatrick, and J. Hutson. 2012. Behaviour of iron, aluminium and other selected metals following the rewetting of Inland Acid Sulfate Soils containing sulfuric material. *In*. Österholm,

- P., Yli-Halla, M. and Edén, P. (eds.), 7th International Acid Sulfate Soils Conference in Vassa, Finland 2012: Towards Harmony between Land Use and the Environment. *Geological Survey of Finland, Guide* 56: 26-28.
- Dang, T., L. M. Mosley, R. Fitzpatrick, and P. Marschner. 2015. Organic Materials Differ in Ability to Remove Protons, Iron and Aluminium from Acid Sulfate Soil Drainage Water. *Water, Air and Soil Pollution*, p. 357.
- Dent, D. 1986. Acid Sulphate Soils: A baseline for research development. International Land Reclamation Institutes Publ. 39. Wageningen. The Netherlands.
- Elec, V., A. G. C. Sajise, C. A. Quimio, G. B. Gregorio, R. Mendoza, R. K. Singh, and S. E. J. Beebout. 2013. Maintaining elevated Fe^{2+} concentration in solution culture for the development of a rapid and repeatable screening technique for iron toxicity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil*, 372: 253-264.
- Enio, M. S. K., J. Shamshuddin, C. I. Fauziah, and M. H. A. Husni. 2011. Pyritization of the coastal sediments in the Kelantan Plains in the Malay Peninsula during the Holocene. *Amer J Agric Bio Sci.* 6(3): 393-402.
- Fageria, N. K., A. B. Santos, M. P. Barbosa Filho and C. M. Guimaraes. 2008. Iron Toxicity in Lowland Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 1676–1697.
- Gunawardena, I., S. Virmani, and F. J. Sumo. 1982. Breeding rice for tolerance to iron toxicity. *oryza* 19: 5-12.
- Harahap, S. M. 2014. Mekanisme adaptasi dan penekanan akumulasi Fe dan Al untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan pasang surut. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. 93 halaman.
- Horst, W. J., A. F. Rangel, D. Eticha, M. Ischitani, and I. M. Rao. (2009) Aluminum toxicity and resistance in *Phaseolus vulgaris* L. – Physiology drives molecular biology. p. 53-54. In: Liao, H., Xian, X., and Kochian, L. (eds) Proc. 7 th Int. Symp. on PlantSoil at Low pH. South China University of Technology Press.
- Ismunadji, M., W. S. Ardjasaand dan H. R. Von Uexkull. 1989. increasing productivity of lowland rice grown on iron toxic soil. Paper presented at International Symposium on Rice production on Acid Soils of tropics, june 26-30, 1989. Kandy, Sri Lanka.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A. and Pineros, M. A. 2004. How do plants tolerate acid soil: Mechanism of aluminium tolerance and phosphorous efficiency. *Annu Rev. Plant Physiol.* 55:459-493.
- Koesrini, E. William dan I. Khairullah. 2014. Varietas padi adaptif lahan rawa pasang surut. Hlm. 97-119. *Dalam*. Nursyamsi *et al.* (Eds.).

Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan.

- Li, H., X. Yang and A. Luo. 2001. Ameliorating effect of potassium on iron toxicity in hybrid rice. *J. Plant Nutr.*, 24 (12): 1849-1860.
- Majerus, V., P. Bertin dan S. Lutts. 2007. Effects of iron toxicity on osmotic potential, osmolytes and polyamines concentrations in the African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). *Plant Science*. 173: 96-105
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press. Harcourt Brace dan Company. Publishers. London. San Diego. New York. Boston. Sydney. Tokyo. Toronto. p. 564.
- Matsumoto, H. 2000. Cell biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plants. *Int Rev Cytol* 200:1-46.
- Miftahudin. Nurlaela dan Juliarni. 2007. Uptake and distribution of aluminum in root apices of two rice varieties under aluminum stress. *Hayati J. Biosci* 14(3):110-114.
- Multilaksono, K., Sudarmo, A. Sutandi, G. Djajakirana, dan U. Sudadi. 2001. Model sistem drainase dalam hubungannya dengan oksidasi pirit serta pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah dan kualitas air pada tanah sulfat masam. Laporan Hasil Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi T. A. 1998-2001. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 157 halaman.
- Noor, A., D. Wirnas, K. Anwar, I. Lubis, M. A. Chozin, dan M. Ghulamahdi. 2012. Pengaruh Konsentrasi Besi dalam Larutan Hara terhadap Gejala Keracunan Besi dan Pertumbuhan Tanaman Padi. *J. Agronomi Indonesia*. 15 (2): 91-98.
- Noor, A., D. I. Saderi, dan Khairuddin. 2007. Keragaan beberapa varietas unggul padi di lahan rawa pasang surut sulfat masam. Hlm 67-84. *Dalam*. Saberani, M. *et al* (Eds.) Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa: Revitalisasi Kawasan PLG dan Lahan Rawa Lainnya untuk Membangun Lumbung Pangan Nasional, Kuala Kapuas, 3-4 Agustus 2007. Badan Litbang Pertanian-Pemerintah Kabupaten Kapuas Kalimantan Tengah.
- Noor, A. dan Khairuddin. 2013. Keracunan besi pada padi: aspek ekologi dan fisiologi-agronomi. Hlm. 305-318. *Dalam*. Yasin, M. *et al* (Eds.) Prossiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan.
- Nugroho, K. dan D. A. Suriadikarta. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan lahan rawa. Hlm. 71-87. *Dalam*. Sumarno dan Nata Suharta (Eds.)

- Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Priatmadi, B. J. dan A. Haris. 2009. Reaksi Pemasaman Senyawa Pirit pada Tanah Rawa Pasang Surut. *Jurnal Tanah Tropika*. 14:19-24.
- Nozoe, T., Y. Fukuta, R. Agbisiti, R. Rodriguez, and S. Yanagihara. 2008. Characteristics of iron tolerance rice lines developed at IRRI under field condition. *JARQ*. 42: 187-192.
- Reddy, K. R. dan R. D. Delaune. 2008. The Biogeochemistry of Wetlands: Science and applications. CRC Press. New York, USA. 779 p.
- Ritung, S. 2011. Karakteristik dan sebaran lahan sawah di Indonesia. Hlm. 83-98. *Dalam*. Adhi, W. *et al* (Eds.) Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan lahan Terdegradasi. Balai Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Rachim, A. K., Multilaksono, A. Sastiono dan Sudradjad. 2000. Peningkatan produktivitas tanah sulfat masam untuk budidaya tanaman palawija melalui pencucian dan penggunaan amelioran. Laporan Hasil Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi T. A. 1997-2000. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 232 halaman.
- Ryan, P. R. and E. Delhaize. 2010. The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. *Functional Plant Biology*, 37:275–284.
- Roslim, D. I., H. Alex, H. Aswidinoor, Miftahudin, dan U. Suharsono. 2008. Karakter root re-growth sebagai parameter toleransi Aluminium pada tanaman padi. *J. Natur Indo* 13:82-88.
- Roslim, D. I., H. Alex, H. Aswidinoor, Miftahudin, dan U. Suharsono. 2011. Karakter root re-growth sebagai parameter toleransi Aluminium pada tanaman padi. *J. Natur Indo* 13:82-88.
- Sahrawat, K. L. 2004. Iron Toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *J. of Plant Nutrition*. 27:147-1504.
- Samac, D. A. and M. Tesfaye, M. 2003. Plant improvement for tolerance to Al in acid soil a review. *J. Plant Cell Tissue Organ Cult.* 75:189-207.
- Shamshuddin, D. G. J. Edwards, H. A. H. Shariduddin, I. C. Fauziah, and L. C. Bell. (2010) Temporal changes in chemical properties of acid soil profiles treated with magnesium limestone and gypsum. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 33: 77-295.
- Shamshuddin, J. dan M. Anda. (2012) Enhancing the productivity of Ultisols and Oxisols in Malaysia using basalt and/or compost. *Pedologist*. 55(3): 382-391.

- Shamshuddin, J., Elisa, A. A., Shazana, M. A. R. S and Fauziah, I. C. 2013. Rice defense mechanisms against the presence of excess amount of Al^{3+} and Fe^{2+} in the water. *Australian Journal Crop Science*, 7: 314-320.
- Shazana, M. A. R. S., C. I. Fauziah, J. Shamshuddin, and S. R. Syed Omar. 2013. Alleviating the infertility of an acid sulphate soil by using ground basalt with or without lime and organic fertilizer under submerged conditions. *Land Degradation & Development*, 24: 129-140.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture, Washington DC. 869 p.
- Subagyo, K., Tagus Vadari dan I. P. G. Widjaja Adhi. 1983. Strategi pengelolaan air di lahan pasang surut: prospek dan kendala. Hlm. 56-78. *Dalam*. Adhi, W. (Eds.) Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Cisarua 4-6 Maret 1997. Bogor. Puslittanah.
- Subiksa, I. G. M., I. P. G. Widjaja Adhi, S. Suping, dan S. Irawan. 1991. Prospek dan Kendala Penerapan Teknologi Pengelolaan Tanah dan Air Petak Tersier pada Lahan Sulfat Masam. Hlm. 87-123. *Dalam*. Adhi, W. *et al* (Eds.) Prosiding Kongres Nasional VI HITI. Buku II. Jakarta. 12-15 Desember 1995. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia.
- Sudarmo. 2004. Perubahan Sifat-Sifat Bahan Sulfidik Akibat Pengeringan dan Pencucian serta Pengaruhnya terhadap Kualitas Air Cucian. *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 173 halaman.
- Sudhalakshmi, C., V. Velu and T. M. Thiyagarajan. 2007. Redox Potential in the Rhizosphere Soil of Rice Hybrid as Mediated by Crop Management pptions. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 3(4): 299-301.
- Suhartini, T. dan A. K. Makarim. 2009. Teknik seleksi genotip padi toleran keracunan besi. *J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 28:125-130.
- Sumner, M. E. and A. D. Noble. 2003. Soil Acidification: The World Story. *In*: Rengnel, Z. (ed). Handbook of Soil Acidity. Marcel Dekker. 274 p.
- Tinh, T. K. 1999. Reduction chemistry of acid sulphate soils: Reduction rates and influence of rice cropping. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 206, Uppsala, Sweden. 187 p.
- Trikoesoemaningtyas. 2002. Fisiologi dan pewarisan sifat efisiensi kalium dalam keadaan tercekam aluminium pada padi (*Oryza sativa*. L). *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 185 halaman.
- Van Bremen, N. 1993. Environmental aspects of acid sulphate soil. p. 391-402. *In*. Dent DL dan MEF Van Mensvoor (Eds.). Selected Paper of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils. Vietnam. March 1992.

- Van Mensvoort, M. E. F. and D. L. Dent. 1998. Acid Sulphate Soil. In. Lal R, WH Blum, C Valentine dan BA Steward (Eds.). Method for Assessment of Soil Degradation. Florida. CRC Prees LLC. p. 301-337.
- Vieira, F. C. B., C. Bayer, P. J. Stoffella, Z. L. He, and V. C. Baligar. 2008. Organic amendment effects on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 2678-2694.
- Widjaya Adhi, I. P. G. 1986. Pengelolaan Lahan Pasang Surut dan Lebak. *Jurnal Litbang Pertanian* 5(1): 19-31.
- Widjaja Adhi I. P. G., Nugroho, K., Ardi, D. S., dan Karama, A. S. 1992. Sumberdaya Lahan Pasang Surut. Rawa dan Pantai: Potensi. Keterbatasan dan Pemanfaatan. Makalah utama Pertemuan Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa. Bogor. 37 halaman.
- Yuliana, E. D. 1998. Pengaruh Lama Pengeringan dan Kedalaman Muka Air Tanah terhadap Sifat-Sifat dan Produktivitas Tanah Berpirit dari Karang Ulu. Sumatera Selatan. *Tesis*. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 213 halaman.

AMELIORASI TANAH SULFAT MASAM UNTUK BUDIDAYA PADI

Arifin Fahmi dan Izhar Khairullah

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jalan Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712
e-mail: fahmi.nbl@gmail.com

Ringkasan

Tanah sulfat masam memiliki tingkat kesuburan yang rendah, kondisi biofisik lahan seperti kemasaman yang tinggi, kadar unsur potensial meracun yang tinggi serta kahat hara utamanya P menjadikan tanah ini memiliki kemampuan terbatas untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat tanah sulfat masam adalah dengan melakukan ameliorasi lahan. Ameliorasi lahan adalah upaya memberikan bahan atau material baru ke tanah untuk memperbaiki sifat tanah secara fisik, kimia maupun biologi. Beberapa contoh bahan yang dapat dijadikan amelioran adalah gipsum, fosfat alam, biochart dan kapur serta campuran bermacam-macam kompos, sisa tanaman, pupuk kandang dan sisa pakan ternak. Aplikasi amelioran ke tanah secara umum dapat meningkatkan kesuburan tanah, sebaliknya aplikasi tersebut juga dapat berdampak negatif jika amelioran tidak dikelola dengan tepat. Aplikasi amelioran harus memperhatikan jenis dan jumlahnya. Jerami padi sebaiknya diberikan dalam kondisi yang sudah relatif terdekomposisi atau sudah dikomposkan sebelumnya. Kapur sebaiknya diberikan dalam jumlah yang relatif telah mampu secara efisiensi meningkatkan hasil dan tidak harus ditujukan untuk mencapai pH netral, demikian pula bahan lainnya jika diaplikasikan secara tepat akan mampu meningkatkan hasil produksi tanaman padi. Kesalahan dalam pengelolaannya dapat berdampak pada penurunan kesuburan tanah sampai pada penurunan hasil produksi padi.

Pendahuluan

Menurunnya luasan lahan produktif di Pulau Jawa mengharuskan kita memanfaatkan lahan-lahan suboptimal di luar Pulau Jawa untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian produktif. Produktivitas lahan-lahan pertanian di luar Pulau Jawa masih lebih rendah dibandingkan lahan pertanian di Pulau Jawa karena tingkat kesuburan tanah yang rendah. Salah satu jenis lahan yang berpotensi dikembangkan menjadi lahan pertanian padi adalah lahan rawa. Berdasarkan rejim hidrologisnya, lahan rawa diklasifikasikan menjadi dua yaitu lahan rawa lebak dan lahan rawa pasang surut. Lahan rawa pasang surut banyak terdapat di daerah sekitar pantai dan sungai-sungai besar, dengan kondisi demikian tanah sulfat masam adalah salah satu jenis tanah yang dominan pada ekosistem tersebut.

Diperkirakan luasan tanah sulfat masam 6,7 juta ha (Noor 2004), luasan ini semakin bertambah seiring dengan terjadinya degradasi lahan gambut yang memiliki lapisan bahan sulfidik di bawahnya. Kemasaman tanah, rendahnya ketersediaan hara dan keracunan besi adalah sebagian kendala sifat tanah yang sering menghambat pertumbuhan tanaman padi di tanah sulfat masam. Banyak penelitian yang telah dilaksanakan dalam upaya meningkatkan kualitas tanah sulfat masam agar dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin. Pengembangan tanah sulfat masam memerlukan teknologi reklamasi dan pengelolaan lahan yang tepat untuk mencapai terbentuknya lahan budidaya yang mantap dan berkelanjutan. Sebagian komponen teknologi yang berhubungan dengan masalah kesuburan tanah berupa: penataan lahan, pengolahan tanah, sistem tata air, pemanfaatan bahan organik (ameliorasi), pola budidaya tanaman dan teknologi pemupukan telah disusun oleh banyak lembaga profesional baik dari kalangan pemerintah maupun swasta dalam rangka mereklamasi tanah sulfat masam.

Telah banyak teknologi hasil penelitian yang dilaksanakan untuk meningkatkan produktivitas tanah sulfat masam. Beberapa hasil penelitian telah membuktikan bahwa pengelolaan air dan tanah merupakan kunci keberhasilan pertanian di tanah sulfat masam. Selama ini masyarakat setempat menanam padi vareitas lokal yang adaptif dan berumur panjang untuk memenuhi kebutuhannya sehingga hasil yang didapatkan masih rendah yaitu hanya berkisar 2,5 – 3,5 ton/ha. Sifat tanah sulfat masam

yang rapuh menghendaki agar pengelolaannya harus dilaksanakan secara terintegrasi dari semua komponen teknologi yang telah ada. Pemberdayaan sosial ekonomi masyarakat, pengelolaan tanah dan air, penggunaan bahan amelioran yang ramah lingkungan dan ekonomis serta penggunaan varietas yang adaptif. Walaupun demikian, upaya pengelolaan lahan dalam hal pemanfaatan amelioran harus dilakukan secara tepat agar memberikan dampak yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman dan lingkungan. Pengelolaan amelioran pada tanah sulfat masam yang tidak tepat dapat berdampak pada kemasaman tanah, peningkatan konsentrasi unsur potensial meracun dan penurunan kadar hara dalam tanah. Sebaliknya pengelolaan amelioran yang tepat dapat menjadikan kondisi lingkungan tumbuh yang lebih baik seperti peningkatan pH tanah, ketersediaan hara dan menurunnya kelarutan unsur potensial meracun. Berikut dalam tulisan ini diuraikan pentingnya dan dampak pengelolaan amelioran secara tepat terhadap sifat tanah khususnya sifat kimia tanah.

Pengertian Ameliorasi

Upaya penanggulangan kendala biofisik tanah sulfat masam salah satunya dapat dilakukan dengan ameliorasi lahan. Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik, biologi dan kimianya. Ameliorasi lahan merupakan sebuah upaya memberikan bahan atau material baru ke tanah dengan tujuan memperbaiki sifat tanah secara fisik, kimia maupun biologi sehingga pertumbuhan dan produksi atau hasil tanaman dapat ditingkatkan. Berdasarkan pengertian tersebut, maka suatu amelioran dapat bersifat atau berfungsi sebagai pupuk atau bahan pembenah tanah, terminologi tersebut akan dijelaskan kemudian. Beberapa contoh bahan amelioran adalah bahan organik, pupuk mineral, gipsum, fosfat alam, biochart dan kapur serta campuran bermacam-macam kompos. Amelioran dapat berasal dari dalam atau luar lingkungan pertanian. Amelioran dari lingkungan pertanian seperti kompos, sisa tanaman, pupuk kandang dan sisa pakan ternak yang ada disekitar lahan. Sedangkan amelioran yang berasal dari luar lingkungan pertanian adalah pupuk anorganik, kapur, pupuk kandang dari peternakan lain, kompos, sampah kayu, dan limbah non-pertanian seperti biosolids kota.

Aplikasi amelioran ke tanah umumnya disebut juga sebagai amandemen tanah atau ameliorasi tanah. Berdasarkan beberapa pengertian yang telah dijelaskan sebelumnya maka perlu dijelaskan pengertian jenis-jenis amelioran lebih lanjut agar pengelolaan bahan tersebut menjadi tepat, apakah bahan tersebut dikelola sebagai pupuk atau kondisioner tanah. Bahan-bahan tertentu memiliki sifat yang memungkinkannya digunakan baik sebagai pupuk dan pembenah tanah, pada kondisi ini maka bahan tersebut harus dikelola sebagai pupuk.

Pupuk

Pupuk adalah setiap bahan organik atau anorganik alami atau sintetis yang ditambahkan ke tanah untuk secara signifikan memasok satu atau lebih unsur hara penting mendukung pertumbuhan tanaman. Tujuan utama dari aplikasi pupuk adalah untuk menyediakan unsur hara yang cukup yang berkeselimbangan bagi tanaman. Secara hakiki, pupuk bersifat melawan ketidakseimbangan dalam tanah dan menggantikan nutrisi yang hilang melalui panen tanaman. Bahan organik yang diklasifikasikan sebagai pupuk harus memiliki rasio karbon dan nitrogen kurang dari 30 : 1 (BCARDC 2010). Rasio C terhadap N sangat menentukan apakah amelioran dari bahan organik akan dikelola sebagai pupuk atau pembenah tanah.

Pembenah Tanah

Pembenah tanah adalah bahan organik atau anorganik alami atau sintetis yang mengandung sejumlah terbatas unsur hara, dikelola utamanya untuk memperbaiki sifat biologis, fisik atau kimia tanah. Pada kondisi tertentu bahan tersebut juga digunakan sebagai media pertumbuhan tanaman. Pembenah tanah atau kondisioner dapat berupa organik seperti kompos atau kayu atau anorganik seperti kapur. Kondisioner dari tanah organik biasanya memiliki kandungan bahan organik yang tinggi tetapi bukan sebagai sumber nutrisi tanaman yang sifatnya cepat tersedia dan memiliki rasio karbon (C) dan nitrogen (N) yang lebih besar dari 30 : 1. Aplikasi bahan tanah dengan rasio C/N yang tinggi dapat meningkatkan cadangan N, tetapi akan menjadi tersedia ketika ada N ditambahkan ke tanah untuk menurunkan rasionya.

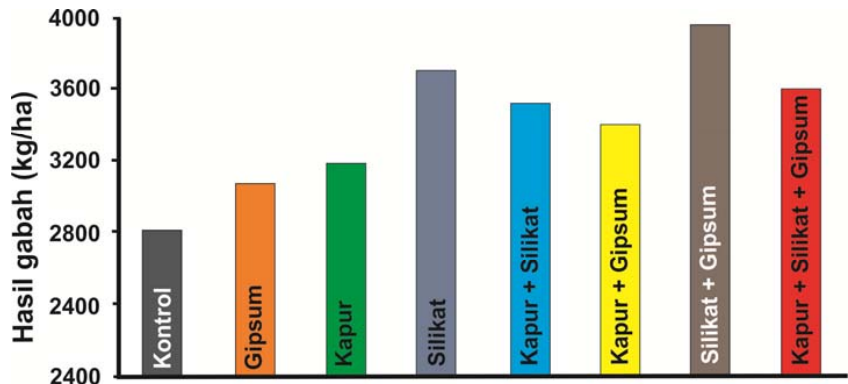
Tabel 1. Pengelolaan amelioran berdasarkan rasio C/N (BCARDC 2010)

Rasio C/N	Rekomendasi pengelolaannya
< 20:1	Dikelola sebagai pupuk
20 : 1 - 30 : 1	Bahan yang memiliki sifat sebagai pupuk dan pembenah tanah, tetapi utamanya dikelola sebagai pupuk
> 30 : 1	Dikelola sebagai pembenah tanah

Pada kondisi saat ini metode ameliorasi telah banyak diteliti dan hasilnya telah banyak pula dipublikasikan, serta telah banyak dihasilkan teknologi pengelolaannya. Tulisan ini akan memaparkan jenis-jenis amelioran dan beberapa metode ameliorasi serta pentingnya ameliorasi bagi tanah secara lebih terperinci khususnya pada tiga jenis amelioran yang sering digunakan pada budidaya padi di tanah sulfat masam.

Jenis Amelioran

Bahan-bahan yang dapat dijadikan amelioran dapat bersifat sintesis, bahan langsung dari alam ataupun bahan-bahan alami yang kemudian diproses terlebih dahulu sebelum diaplikasikan. Bahan alamiah langsung yang dapat diberikan ke tanah seperti sisa tumbuhan, kotoran ternak, gipsum, fosfat alam dan kapur sedangkan bahan yang memerlukan proses terlebih dahulu seperti biochart, pupuk, kompos tunggal atau kompos dari campuran bermacam-macam bahan organik.



Gambar 1. Beberapa jenis amelioran dan pengaruhnya terhadap hasil gabah

Sumber: Alexandre *et al.* 2010.

Kapur

Salah satu bahan yang sering digunakan dalam kegiatan ameliorasi tanah sulfat masam adalah kapur (*lime*). Kapur yang diberikan ke lahan pertanian biasanya dikenal tiga jenis yaitu: kapur tohor, kapur tembok dan kapur karbonat. Dari ketiga jenis kapur tersebut, kapur karbonat khususnya dolomit adalah jenis kapur yang sering digunakan sebagai bahan pengapuran. Perbedaan sifat dari tiga jenis kapur tersebut adalah:

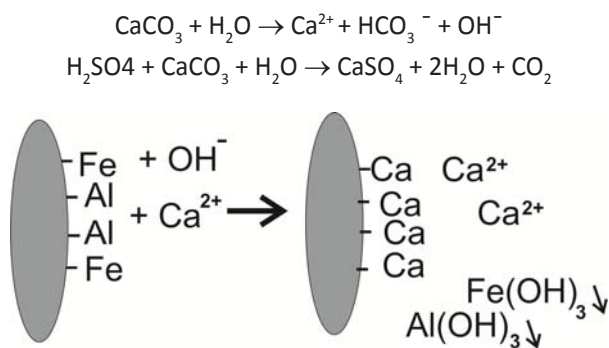
1. **Kapur tohor atau kapur sirih**, dikenal juga sebagai kapur oksida (CaO). Kapur ini merupakan hasil pembakaran atau pemanasan dari kapur mentah kalsium karbonat (CaCO_3) pada suhu diatas 825°C .
2. **Kapur tembok**. Kapur tembok adalah kapur hasil reaksi kapur tohor dengan air. Kapur ini dikenal pula sebagai kapur hidroksida dengan rumus umum $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
3. **Kapur karbonat**. Kapur Karbonat merupakan kapur yang berasal dari batuan yang langsung digiling. Kapur karbonat terdiri atas Kalsit/ kalsium karbonat (CaCO_3) dan Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Pengapuran adalah kegiatan yang dilakukan utamanya untuk mengatasi masalah kemasaman tanah, tidak banyak petani melakukan hal ini karena keterbatasan biaya dan ketersediaan bahan bakunya. Sebagian petani memberikannya dalam jumlah yang sangat sedikit, hanya berkisar kurang dari 1 ton/ha, hal ini tentunya tidak membawa dampak yang nyata bagi produksi atau peningkatan hasil tanaman. Kebutuhan kapur biasanya didasarkan pada beberapa metode, antara lain metode titrasi asam-basa, metode penyangga, metode Al dd serta metode Sanchez dan Salinas. Jika kebutuhan kapur didasarkan pada pH tanah ideal bagi tanaman padi atau palawija (mendekati pH netral) maka diperlukan kapur dapat mencapai 15 sampai 20 t ha⁻¹ (Noor 2004; Konsten dan Sarwani 1990). Tetapi Dobermann dan Fairhurst (2000) hanya menyarankan penggunaan 4 – 6 ton kapur untuk memenuhi keperluan tumbuh tanaman padi. Hasil penelitian Suswanto *et al.* (2007) menunjukkan bahwa pemberian 4 t/ha kapur mampu meningkatkan hasil padi di tanah sulfat masam.

Reaksi kapur di dalam tanah umumnya tidak sempurna karena kapur yang diberikan tidak tercampur rata dengan tanah. Laju reaksi dari pengapuran tersebut sangat bervariasi, sangat dipengaruhi oleh pH tanah, ukuran partikel kapur, serta kelarutan kapur itu sendiri (Bohn *et al.* 2001).

Menurut Sanchez (1976) kapur yang memiliki ukuran terbaik adalah lebih kecil dari 60 mesh, jika ukurannya melebihi 60 mesh maka reaksinya sangat lambat dan jika ukurannya lebih besar dari 20 mesh memiliki reaktivitas yang sangat rendah.

Penambahan kapur dalam tanah menyebabkan mengendapnya ion Al dan Fe, berkurangnya aktivitas ion H sehingga pH tanah meningkat. Ion OH yang dihasilkan akan bereaksi dengan ion H, Al dan Fe membentuk H_2O dan $Al(OH)_3$ atau $Fe(OH)_3$ yang mengendap. Jika kapur yang diberikan bereaksi dengan asam sulfat di dalam tanah maka akan dihasilkan $CaSO_4$ dan jika kapur yang diberikan dalam bentuk dolomit maka tapak jerapan tanah dijenuhi oleh ion Ca dan Mg sehingga reaksi selanjutnya yang terjadi adalah peningkatan ketersediaan Ca dan Mg.



Gambar 2. Ilustrasi reaksi pengapuran di dalam tanah yang meningkatkan pH tanah, menurunkan kelarutan Al/ Fe serta meningkatkan ketersediaan Ca.

Bahan Organik

Bahan organik memiliki peranan yang penting terhadap sifat biologi, fisika dan kimia tanah (Cayuela *et al.* 2009; McIntyre *et al.* 2009), peranan bahan organik tersebut salah satunya dipengaruhi oleh cara pengelolaannya atau cara aplikasinya. Beberapa cara pengelolaan bahan organik antara lain dibakar, dikembalikan ke lahan dalam bentuk kompos atau langsung dari sisa panen ataupun diangkut dari lahan. Semua kegiatan tersebut memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap tanah ataupun tanaman.

Tabel 2. Perbandingan kandungan unsur hara dalam pupuk kandang dan jerami padi.

Bahan	N (%)	P (%)	K (%)
Pupuk kandang	1,57	1,6	1,11
Jerami padi	1,20	0,26	2,53

Jerami diangkut. Salah satu cara pengelolaan jerami yang umum dilakukan adalah mengangkut jerami ke luar dari lahan. Cara ini tentunya tidak memberikan kebaikan bagi lahan, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menjadikan jerami sebagai pakan ternak ataupun sebagai bahan dasar kerajinan lainnya. Mengangkut jerami berarti menghilangkan potensi biomassa dari lahan, secara kimiawi potensi unsur hara yang hilang akibat dari aktivitas ini mencapai 40 kg/ha N, 6 kg/ha posfor (P), dan 85 kg/ha kalium (K) jika rata-rata jumlah jerami padi yang dihasilkan dalam satu musim tanam berkisar 5 t/ha (Dobermann dan Fairhurst 2000). Cara ini tentunya sangat tidak direkomendasikan karena pada akhirnya akan menyebabkan degradasi lahan.

Jerami dibakar. Salah satu kegiatan yang sering dilakukan oleh petani setelah panen pada musim kemarau adalah membakar jerami. Kegiatan ini dirasakan oleh petani mampu meningkatkan kesuburan tanah dan mampu menghemat waktu untuk persiapan tanam pada musim berikutnya. Anggapan meningkatnya kesuburan tanah setelah jerami dibakar tidak sepenuhnya benar, menurut Dobermann dan Fairhurst (2000) membakar jerami dapat secara efektif meningkatkan ketersediaan unsur K karena jumlah K yang hilang relatif lebih kecil pada proses tersebut, tetapi dengan melakukan pembakaran jerami maka dapat dipastikan semua unsur N, 25 % P dan 20 % K hilang. Selain itu pembakaran yang biasanya dilaksanakan di lahan pertanian akan mengakibatkan peningkatan polusi udara dan proses pembakaran di atas tanah itu sendiri akan mengakibatkan perubahan sifat fisik, kimia maupun biologi tanah (Jayakumar 2012). Terbakarnya lahan akan mengganggu ekosistem biota tanah yang menerima panas dari pembakaran tersebut, menurut Maksimova dan Abakumov (2014) kebakaran lahan dapat menyebabkan menurunnya aktivitas mikroorganisme tanah.

Jerami dikembalikan ke lahan. Aplikasi bahan organik yang banyak dilakukan oleh petani di tanah sulfat masam berupa pengelolaan jerami padi sisa panen yang dikembalikan ke lahan. Petani di Kalimantan Selatan dan Tengah secara tradisional melakukan pengelolaan jerami padi dengan

cara *tajak-puntal-hambur*. Metode ini merupakan cara pengelolaan yang *indegeneous*, cara ini telah terbukti ramah lingkungan dan berkelanjutan. Jerami padi yang diberikan dapat berupa kompos atau jerami mentah, cara ini lebih menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman karena dengan mengembalikan jerami berarti kita telah mengembalikan unsur hara yang ada dalam jerami padi ke lahan. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000) setiap pengembalian 1 ton jerami akan mengembalikan 5 – 8 kg/ha N, 0,7 – 1,2 kg/ha P, dan 12 – 17 kg/ha K, dengan rata-rata jumlah jerami padi yang dihasilkan dalam satu musim tanam berkisar 5 t/ha maka hal ini berpotensi meningkatkan efisiensi pemupukan.

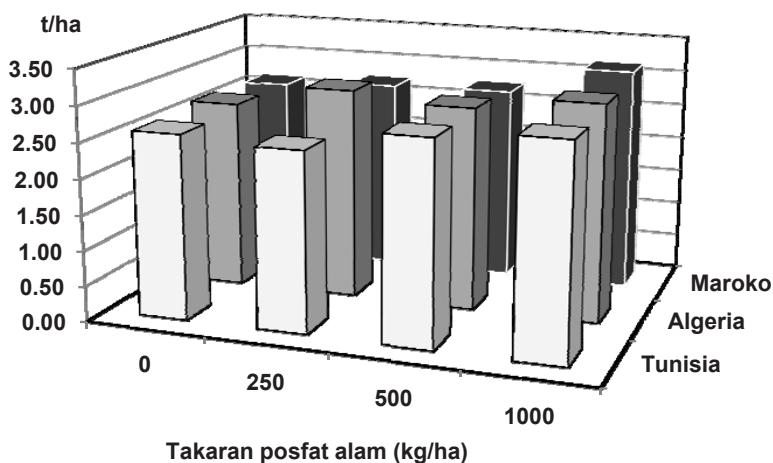


Gambar 3. Pengelolaan jerami padi secara *tajak-puntal-hambur* di tanah sulfat masam

Fosfat Alam

Salah satu amelioran selain jerami padi dan kapur yang digunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah sulfat masam adalah fosfat alam, kegiatan ini ditujukan untuk menangani masalah kekurangan P pada tanah sulfat masam. Fosfat alam adalah bahan galian atau hasil tambang batuan kaya P yang sebagian besar dalam bentuk kalsium fosfat, disebut juga apatit $\{Ca_{10}(PO_4)_6F_2\}$. Bahan ini berbentuk serbuk dan dapat digunakan

secara langsung ke tanah. Selain mengandung P dan unsur ikutan lainnya seperti Ca dan Mg, bahan ini memiliki sifat *slow release* dan mudah larut pada kondisi masam sampai sangat masam sehingga cocok untuk tanah sulfat masam yang memiliki pH sangat rendah. Menurut Yamprancha *et al.* (2005) kemasaman tanah adalah faktor kunci dalam pelarutan fosfat alam di tanah sulfat masam. Selain itu, fosfat alam memiliki kemampuan meningkatkan pH tanah melalui peningkatan kadar kation basa dalam tanah. Sebagai bahan yang memiliki sifat lambat tersedia, fosfat alam dan memiliki daya residu yang cukup lama yaitu sampai 3 tahun. Kemampuan fosfat alam dalam menyediakan P tergantung pada kadar P dan sifat reaksi yang ditimbulkannya.



Gambar 4. Hasil gabah yang diperoleh pada tahun ketiga setelah aplikasi sebagai akibat dari perlakuan residu fosfat alam

Sumber: Jumbri *et al.* 2007

Pentingnya Ameliorasi Bagi Kesuburan Tanah

Ameliorasi memiliki pengaruh yang penting terhadap peningkatan produktivitas tanah sulfat masam. Perbaikan sifat tanah yang terjadi sangat dipengaruhi oleh metode ameliorasi yang dilakukan. Tujuan ameliorasi lahan adalah memperbaiki sifat-sifat tanah yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman, kenyataannya ameliorasi lahan yang tidak tepat dapat berdampak sebaliknya terhadap tanah dan tanaman. Berdasarkan hal tersebut kiranya sangat penting untuk menerapkan teknologi ameliorasi

lahan sesuai dengan kondisi lingkungan dan tanaman serta jenis amelioran yang akan diaplikasikan.

Salah satu kegiatan ameliorasi tanah yang paling umum adalah pengapuran, dengan jumlah atau dosis tertentu maka perubahan atau peningkatan pH dapat terlihat langsung dampaknya di tanah atau tanaman. Seperti disebutkan sebelumnya, reaktivitas dari kapur sangat dipengaruhi oleh jenis dan ukuran partikelnya. Semakin besar ukuran partikelnya semakin lambat reaksinya dan semakin lama akan bertahan di dalam tanah, telah banyak penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat residu dari kapur yang diberikan. Sanchez (1976) melaporkan bahwa residu kapur di dalam tanah bisa bertahan sampai lima tahun dan sifat residu pengapuran sangat dipengaruhi oleh reaksi antara Ca dan Mg dengan kation yang bersifat asam di dalam tanah, jika kation-kation basa tersebut telah berkurang karena diserap oleh tanaman atau tercuci maka kation-kation asam akan kembali mengisi tapak jerapan dan larutan tanah, dalam kondisi ini maka pH tanah dapat kembali pada kondisi awalnya.

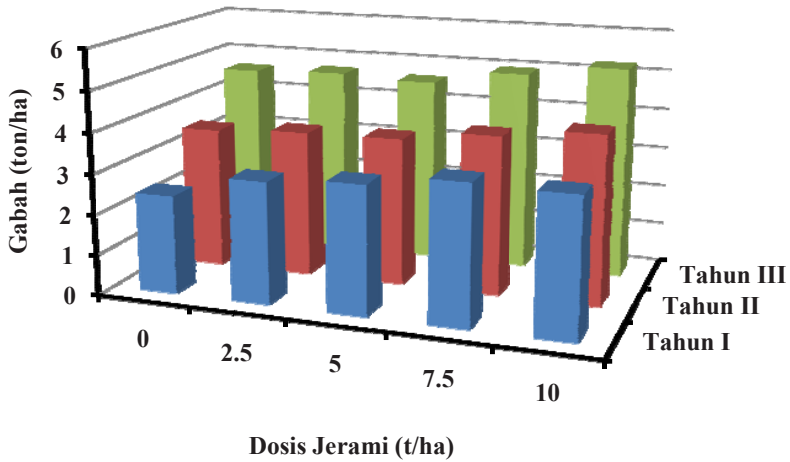
Selain pengaruh residu, dampak kegiatan pengapuran lainnya yang perlu diperhatikan adalah “pengapuran berlebih” atau *over liming*, hal ini akan berdampak pada penurunan produksi serta kerusakan tanah ataupun pencemaran lingkungan. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa diperlukan kapur sekitar 15 sampai 20 ton kapur /ha jika tujuan pengapuran adalah pH tanah ideal bagi tanaman padi atau palawija (mendekati pH netral) (Noor 2004; Konsten dan Sarwani 1990), bahkan menurut Van Breemen (1993) kebutuhan kapur dapat mencapai 30 ton kapur /ha untuk menetralsisir kemasaman dari 1 % sulfur yang dapat teroksidasi. Jumlah tersebut sangat besar dan berpotensi “berlebih”, karena menurut Dobermann dan Fairhurst (2000) dan Suswanto *et al.* (2007) bahwa hanya diperlukan 4 – 6 ton kapur /ha untuk memenuhi keperluan tumbuh tanaman dan meningkatkan hasil padi di tanah sulfat masam. Pada pH yang mendekati netral akibat besarnya jumlah kapur yang diberikan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, ketersediaan Zn, Fe dan Cu pada pH tanah mendekati netral adalah sangat rendah.

Bahan organik mempunyai peranan yang penting terhadap sifat tanah di lahan rawa, jerami padi merupakan salah satu sumber utama bahan organik pada tanah sawah. Pemberian jerami padi dapat berdampak positif atau negatif bagi pertumbuhan tanaman padi, hal tersebut sangat tergantung pada cara pengelolaannya, kualitas dan kuantitas bahan organik tersebut. Jerami padi dapat menjadi salah satu sumber unsur hara utama

di tanah sulfat masam karena mengandung 0,6 % N, 0,1 % P and S, 1,5 % K, 5 % Si, dan 40 % C (Ponnamperuma 1984), serta mengandung unsur mikro seperti Zn, Si maupun Fe bagi tanaman padi (Dobermann dan Fairhurst 2002). Aplikasi atau pengembalian bahan organik secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama mampu mengurangi percepatan kerusakan lahan.

Jerami padi yang diberikan ke lahan harus dalam kondisi yang sudah relatif terdekomposisi (dikomposkan sebelumnya), karena pada kondisi tersebut jerami padi sudah dapat menjadi sumber hara dan memiliki pengaruh reduksi yang lebih kecil, sebaliknya pada kondisi tersebut bahan organik jerami telah memiliki kemampuan khelasi terhadap Fe yang lebih tinggi. Walaupun Nett *et al.* (2011) menyimpulkan bahwa pengaruh yang kecil dari ameliorasi organik secara terus menerus ke lahan terhadap laju mineralisasi dan menurutnya tidak relevan jika dikaitkan dengan upaya efisiensi pemupukan, hasil penelitian Jumberi *et al.* (2007) menunjukkan bahwa pemberian jerami sisa panen, ataupun pemberian campuran jerami dan pupuk kandang mampu meningkatkan hasil padi (Bhattacharyya *et al.* 2012). Meningkatnya hasil padi akibat upaya pengelolaan jerami padi yang tepat sebenarnya disebabkan oleh meningkatnya kualitas tanah melalui peningkatan ketersediaan hara dan membaiknya lingkungan fisik tumbuh tanaman. Adanya kandungan hara dalam jerami padi seperti yang tertera dalam tabel 2 menunjukkan potensi jerami padi yang besar. Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan/pengembalian bahan organik ke lahan mampu mengurangi penggunaan pupuk anorganik (Dobermann dan Fairhurst 2000).

Berdasarkan jumlahnya, maka jerami padi yang diberikan haruslah efektif karena jumlah berlebih tidak akan memberikan dampak yang nyata terhadap peningkatan output produksi. Hasil penelitian Balittra 2003 s/d 2007 dalam Jumberi *et al.* (2007) diketahui bahwa pemberian 5 t/ha jerami yang dapat dianggap sebagai upaya perlakuan pengembalian residu panen sebelumnya memberikan hasil yang tidak berbeda dibandingkan perlakuan lainnya dengan dosis yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pengembalian residu jerami sisa panen sekitar 5 t/ha hasil dari pertanaman sebelumnya telah cukup untuk memperbaiki kondisi pertumbuhan tanaman padi.



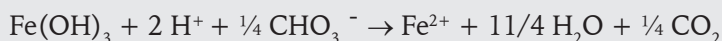
Gambar 5. Produksi gabah kering panen padi yang terus meningkat selama tiga tahun pengamatan akibat perlakuan beberapa takaran jerami padi di tanah sulfat masam dengan

Sumber: Jumberi *et al.* 2007

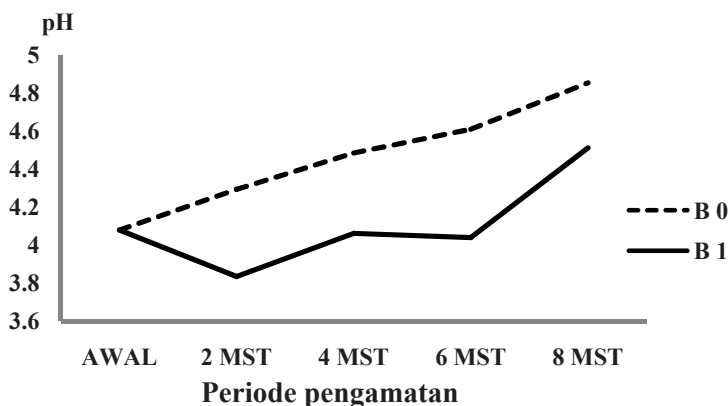
Unsur hara yang terkandung dalam bahan organik lebih bersifat *slow release* jika dibandingkan pupuk anorganik. Ketersediaan unsur hara yang berasal dari bahan organik tentunya sangat tergantung pada proses dekomposisi dan mineralisasi. Salah satu faktor yang menentukan laju penyediaan hara oleh bahan organik adalah rasio C/N, ketika rasio C/N < 20 maka unsur hara yang terkandung dalam bahan organik akan mudah tersedia bagi tanaman, semakin tinggi rasio C/N maka unsur hara semakin sulit tersedia. Selain rasio C/N, menurut Havlin *et al.* (2005) sifat yang menentukan laju penyediaan hara lainnya adalah rasio C/P, bahan organik yang mempunyai rasio C/P > 300 atau kandungan P < 0,22 % akan mendorong terjadinya imobilisasi P. Hal yang perlu diperhatikan adalah laju mineralisasi atau besarnya suplai hara ke tanah akibat proses dekomposisi bahan organik, karena sangat ditentukan oleh kualitas bahan organik itu sendiri (Guppy *et al.* 2005).

Selain proses mineralisasi, peningkatan ketersediaan unsur hara sebagai dampak dari aplikasi bahan organik dapat melalui pengaruh secara tidak langsung, seperti pengkhelatan logam, proses reduksi Fe^{3+} -P dan peningkatan pH tanah. Bahan organik mengandung asam-asam organik yang mampu mengkhelat unsur-unsur meracun dalam tanah sehingga menjadi tidak berbahaya bagi tanaman (Stevenson 1994). Asam

organik mampu menurunkan jumlah P yang difiksasi oleh Fe dan Al melalui mekanisme pengkkelatan (Barker and Pilbeam 2007). Selain itu, disampaikan oleh Dent (1986) bahwa proses reduksi dalam tanah akibat aplikasi bahan organik dapat meningkatkan pH tanah, yang pada akhirnya mendorong peningkatan kelarutan unsur hara. Konsten *et al.* (1994) menunjukkan persamaan reaksi reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} oleh bahan organik yang dapat meningkatkan pH tanah:



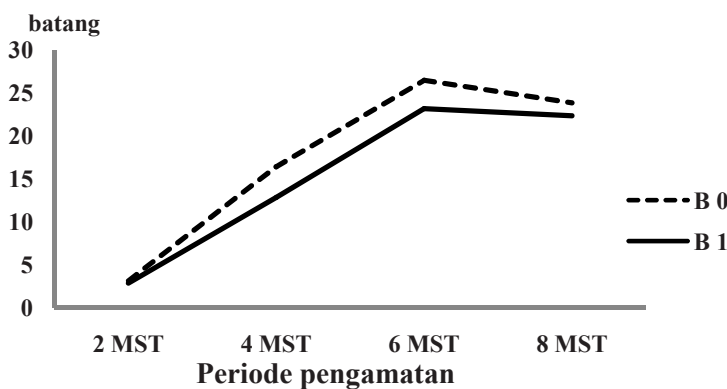
Di sisi lain, pada kondisi tereduksi, bahan organik tertentu dan dalam jumlah berlebihan dapat berakibat negatif pada pertumbuhan tanaman seperti keracunan senyawa organik dan logam (Dobermann dan Fairhurst 2000). Pada kondisi anaerob, mikroorganisme dapat menghasilkan senyawa-senyawa organik yang secara potensial dapat meracuni tanaman (Lynch 1977). Beberapa peneliti melaporkan bahwa aplikasi jerami padi menyebabkan penurunan pH tanah sawah (Kongchum, 2005) dan ketersediaan P di larutan tanah (Yan *et al.* 2016). Keberadaan asam organik hasil dekomposisi dari bahan organik dapat menurunkan pH tanah. Menurut Tan (1997) selain memiliki sifat kemampuan mengkompleks dengan logam, asam asetat juga memiliki kemampuan memasamkan tanah.



Gambar 6. Dinamika pH tanah akibat aplikasi jerami padi (B 1) dan tanpa pemberian jerami padi pada tanah sulfat masam (B 0) selama delapan minggu pengamatan (MST)

Sumber: Fahmi *et al.* 2010

Dampak buruk dari aplikasi bahan organik menyebabkan penurunan jumlah anakan padi, yang pada akhirnya menurunkan hasil sebagaimana yang dilaporkan oleh Gao *et al.* (2004). Hal ini berhubungan dengan terjadinya peningkatan konsentrasi Fe^{2+} dan menurunnya pH tanah (Gao *et al.* 2004 ; Fahmi 2010). Penurunan kualitas tanah atau lebih jauh lagi menyebabkan penurunan hasil padi terjadi karena rendahnya kualitas bahan organik yang diberikan. Hal yang perlu diperhatikan dalam aplikasi bahan organik ke tanah agar aplikasi bahan organik berdampak positif bagi pertumbuhan tanaman adalah tingkat dekomposisi (kualitas) dan jumlah bahan organik yang diberikan, menurut Fahmi dan Sarwani (2013) aplikasi bahan organik yang relatif mentah dapat menurunkan pH tanah, dan menurut Duong *et al.* (2012) kompos dengan tekstur yang lebih halus memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap tanah dibandingkan kompos yang bertekstur kasar.



Gambar 7. Dinamika perubahan jumlah anakan tanaman padi akibat pemberian jerami padi (B 1) dan tanpa pemberian jerami padi (B 0) pada tanah sulfat masam selama delapan minggu pengamatan (MST)

Sumber: Fahmi 2010

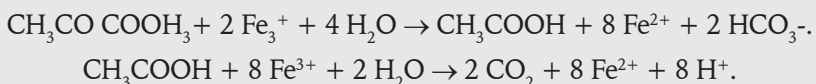
Pentingnya Ameliorasi Bagi Kelarutan Besi

Besi adalah salah satu logam yang sangat banyak ditemui di tanah sulfat masam, Salah satu kendala pertanaman padi di tanah sulfat masam adalah keracunan Fe^{2+} . Konsentrasi Fe^{2+} yang tinggi merupakan hasil reduksi Fe^{3+} . Reaksi reduksi Fe^{3+} berkaitan dengan kegiatan oksidasi bahan organik oleh mikroorganisme. Pada kondisi tereduksi, mikroorganisme

menggunakan Fe^{3+} sebagai penerima elektron sehingga konsentrasi Fe^{2+} meningkat (Reddy *et al.* 1980). Menurut Dent (1986) pada konsentrasi sekitar 500 ppm Fe^{2+} sudah dapat menyebabkan keracunan tanaman padi, padahal kisaran konsentrasi Fe^{2+} pada kondisi tergenang dapat mencapai 5000 ppm, kisaran konsentrasi ini sangat tergantung pada pH, bahan organik, konsentrasi Fe^{3+} serta reaktivitasnya (Fahmi *et al.* 2010). Pada budidaya tanaman padi di tanah sulfat masam, Fe^{2+} menjadi logam utama yang berpotensi meracuni tanaman padi. Besi adalah jenis logam yang paling banyak terlibat dalam sebuah reaksi redoks di muka bumi. menurut Patrick dan Reddy (1978) bahwa jumlah Fe yang tereduksi dapat mencapai sepuluh kali lipat lebih besar dari unsur lainnya. Pada kondisi agak tereduksi (0 – 100 mV), Fe^{3+} mengalami reduksi menjadi Fe^{2+} (Reddy dan DeLaune 2008).

Bahan organik seperti jerami padi adalah salah satu sumber energi utama bagi bakteri pereduksi besi, bahan organik memiliki pengaruh penting terhadap proses biogeokimia besi. Keberadaan bahan organik sangat menentukan laju reaksi reduksi Fe^{3+} , bahan organik dapat berperan dalam peningkatan proses reduksi atau menghambat proses reduksi Fe^{3+} melalui proses khelatiasi atau kompleks (Ye *et al.* 2009), mencegah atau menghambat pembentukan mineral sekunder (Davranche *et al.* 2013) dan mengganggu proses kristalisasi (Wilson *et al.* 2013), menentukan bentuk, ukuran dan kerapatan mineral Fe-oksihidrooksida (Pedrot *et al.* 2011).

Konsentrasi Fe yang tinggi di tanah sulfat masam akan meningkatkan kelarutannya manakala kondisi anaerob dengan didukung ketersediaan bahan organik yang tinggi. Disisi lain, De-Yin *et al.* (2010) menyatakan bahwa peranan bahan organik terhadap Fe sangat ditentukan oleh jenis dan tingkat dekomposisinya, semakin terdekomposisi maka proses reduksi akan menurun karena kapasitas penyediaan elektron oleh bahan organik juga menurun. Proses awal dekomposisi jerami padi di tanah tergenang banyak menghasilkan senyawa organik seperti asam asetat yang berperan sebagai penerima elektron dalam suatu reaksi redoks. Menurut Kyuma (2004) reduksi Fe^{3+} selalu bersamaan dengan oksidasi asam asetat di larutan tanah. Persamaan reaksi yang menggambarkan peranan senyawa-senyawa organik pada peningkatan konsentrasi Fe^{2+} dalam tanah, yakni (Breemen dan Buurman 2002; Kyuma 2004; Reddy dan DeLaune 2008):

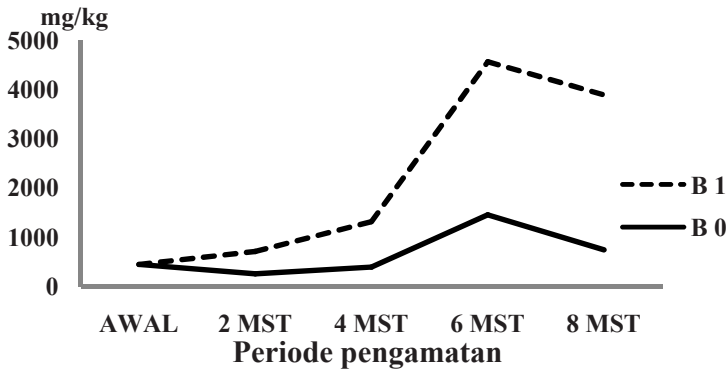


Salah satu sumber muatan negatif tanah adalah bahan organik tanah, asam humat dan asam fulvat dari bahan organik tanah bersifat sangat reaktif karena merupakan fraksi utama yang banyak menyumbangkan muatan negatif tanah. Asam humat dapat mengandung sekitar 500 – 900 meq 100 g⁻¹ dan asam fulvat mengandung sekitar 1400 meq 100 g⁻¹ (total kemasaman) (Eltantawy dan Bavarez 1978). Asam-asam organik tersebut banyak dihasilkan dari bahan organik yang telah terdekomposisi lanjut, berperan penting dalam pengkkelatan logam-logam yang berpotensi meracuni tanaman seperti Al dan Fe. Selain itu, senyawa humat dapat meningkatkan reaktivitas permukaan mineral terhadap ion ataupun sebaliknya (Harter dan Naidu 1995), hal ini sangat ditentukan oleh pH, jenis dan konsentrasi unsur yang akan dijerap serta jenis mineral Fe (Weng *et al.* 2008; Fahmi 2011). Pengaruh keberadaan senyawa humat pada reaktivitas mineral Fe meningkat manakala proses yang terjadi berada pada kisaran pH yang sangat masam. Menurut Chen *et al.* (2014) dan Davranche *et al.* (2013). Interaksi antara Fe dan bahan organik tanah akan menurunkan reaktivitas Fe serta menurunkan readsorpsi Fe dan laju pelarutan Fe.

Semakin bahan organik terdekomposisi, maka kandungan senyawa organik dengan berat molekul (BM) yang besar seperti asam humat dan asam fulvat juga semakin meningkat. Semakin besar BM asam organik maka asam organik tersebut cenderung mengandung lebih banyak gugus fungsional, hal ini menyebabkannya berinteraksi dengan unsur logam membentuk kelat, kompleks, jembatan ion atau jembatan logam. Menurut Tan (2008) pergerakan ion Fe dalam bentuk ionic sangat rendah, diperlukan agen pembawa seperti senyawa organik yang menjadikannya lebih *mobile*. Mobilitas Fe ataupun ion-ion logam dalam tanah sangat penting dalam hubungannya dengan kesuburan tanah, karena sangat menentukan ketersediaannya sebagai unsur mikro dan potensi sifat meracunnya jika dalam jumlah berlebih.

Selain sebagai sumber energi bagi mikroorganisme, bahan organik juga menentukan bentuk Fe di dalam tanah. Bahan organik akan mengganggu proses kristalisasi Fe sehingga pada lingkungan tersebut akan mineral Fe yang terbentuk bersifat lebih amorf (Reddy dan Delaune 2008). Mineral

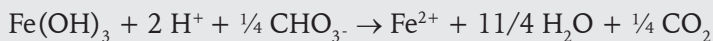
Fe yang amorf memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dan lebih mudah tereduksi. Dengan demikian, keberadaan mineral ini sangat mempengaruhi reaksi biogeokimia di larutan tanah sulfat masam.



Gambar 8. Dinamika konsentrasi Fe^{2+} akibat pemberian bahan organik (B 1) dan tanpa diberikan bahan organik (B 0) pada tanah sulfat masam delapan minggu pengamatan (MST)

Sumber: Fahmi *et al.* 2009

Perubahan sifat tanah akibat ameliorasi lahan sangat dipengaruhi oleh jenis amelioran. Besi sebagai unsur yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi redoks tanah, konsentrasi dan kelarutannya sangat ditentukan oleh kapasitas redoks dari amelioran. Perubahan konsentrasi Fe akan semakin besar jika diberikan amelioran yang mempunyai kapasitas reduksi besar seperti jerami padi. Pemberian amelioran dari jerami padi dapat menyebabkan konsentrasi Fe^{2+} yang lebih tinggi dibandingkan pupuk kandang, hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan kualitas kedua jenis bahan organik. Jerami padi diketahui memiliki C/N yang lebih tinggi dari pada C/N pupuk kandang sehingga kapasitas reduksi dan kemampuan khelasinya juga berbeda. Pemberian bahan organik akan meningkatkan reduksi Fe^{2+} sesuai persamaan reaksi berikut (Groenberg 1990):



Penutup

Amelioran memiliki pengertian sebagai bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik, biologi dan kimianya, hal ini berarti bahwa pupuk dan bahan pembenah tanah termasuk sebagai amelioran. Perbedaannya terletak pada tujuan utama dari aplikasi tersebut, pemupukan ditujukan untuk menyediakan unsur hara yang cukup yang berkeselimbangan bagi tanaman sedangkan bahan pembenah tanah tujuan utamanya adalah untuk memperbaiki kondisi lingkungan tumbuh dari segi sifat biologis, fisik atau kimia tanah. Dengan kondisi tersebut maka pengelolaan kedua bahan tersebut harus dilakukan secara tepat sesuai dengan fungsinya. Aplikasi amelioran harus memperhatikan jumlah dan jenisnya, jerami padi sebaiknya diberikan dalam kondisi yang sudah relatif terdekomposisi atau sudah dikomposkan sebelumnya. Kapur sebaiknya diberikan dalam jumlah yang relatif telah mampu secara efisiensi meningkatkan hasil, demikian pula bahan lainnya jika diaplikasikan secara tepat akan mampu meningkatkan hasil produksi tanaman padi. Kesalahan dalam pengelolaannya dapat berdampak pada penurunan kesuburan tanah sampai pada penurunan hasil produksi padi.

Daftar Pustaka

- Alexandre, C., C. Crusciol, A. C. C. A. Artigiani, G. S. A. Castro and O. Arf. 2010. Rice yield affected by gypsum, lime and silicate application in no tillage system. Hlm 212-215. *Dalam* : R. J. Gilkes and N. Prakongkep. (Eds.), *Soil Solutions for a Changing World*, 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia.
- Barker, A. V., and D. J. Pilbeam. 2007. *Hand Book of Plant Nutrition*. CRC Press. New York. 612 hlm.
- BCARDC (British Columbia Agricultural Research and Development Corporation). 2010. Reference Guide. *The Canada – British Columbia Environmental Farm Plan Program*. Fourth Edition. British Columbia Agricultural Research and Development Corporation. 451 hlm.
- Bhattacharyya, P., K. S. Roy, S. Neogi, S. P. Chakravorti, K. S. Behera. K. M. Das, S. Bardhan, and K. S. Rao. 2012. Effect of long-term application of organic amendment on C storage in relation to global warming potential and biological activities in tropical flooded soil planted to rice. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 94:273–285.

- Bohn, H. L., B. L. McNeal dan G. A. O'Connor. 2001. *Soil Chemistry*. Third Edition. John Wiley and Sons. New York, USA. 307 hlm.
- Breemen, N. V. dan P. Buurman. 2002. *Soil Formation*. Second edition. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. USA. 404 hlm.
- Castro, G. S. A. and C. A. C. Crusciol. 2013. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. *Geoderma* 195; 234–242.
- Cayuela, M. L., T. Sinicco, and C. Mondini. 2009. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Applied Soil Ecology* 41 ; 118 – 127.
- Chen, C., J. J. Dynes, J. Wang, and D. L. Sparks. 2014. Properties of Fe–organic matter associations via coprecipitation versus adsorption. *Environ. Sci. Technol.* 8 (23); 13751–13759.
- Davranche, M., V. Dia, M. Fakhri, B. Nowack, G. Gruau, G. Ona-nguema, P. Petitjean, S. Martin, and R. Hochreutener. 2013. Organic matter control on the reactivity of Fe(III)–oxyhydroxides and associated As in wetland soils: A kinetic modeling study. *Chemical Geology* 335; 24–35.
- Dent, D. L. 1986. *Acid Sulphate Soils. A Baseline for Research and Development*. ILRI. Wageningen Publ. No. 39. The Netherlands. 204 hlm.
- De-Yin, H., L. Zhuang, C. Wei-Dong, W. Xu, Z. Shun-Gui and L. Fang-Bai. 2010. Comparison of dissolved organic matter from sewage sludge and sludge compost as electron shuttles for enhancing Fe(III) bioreduction. *J Soils Sediments* 10;722–729.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice; Nutrient Disorders and Nutrient Management*. IRRI. Makati City, The Phillipines. 191 hlm.
- Duong, T. T. T., C. Penfold and P. Marschner. 2012. Amending soils of different texture with six compost types: impact on soil nutrient availability, plant growth and nutrient uptake. *Plant and Soil* 354; 197–209.
- Eltantawy, M., dan M. Baverez. 1978. Structural study of humic acids by X-ray, electron spin resonance, and infrared spektroskopi. *Soil Science Society of America Journal* 42; 903 – 905.
- Fahmi, A., B. Radjagukguk, and B.H. Purwanto. 2009. Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *Jurnal Tanah Trop.* 14 (2): 119–125.
- Fahmi, A. 2010. Pengaruh pemberian bahan organik jerami padi terhadap pertumbuhan tanaman padi di tanah sulfat masam. *Jurnal Berita Biologi* 10 (1); 7–14.

- Fahmi, A. 2011. Dinamika jerapan permukaan kompleks Fe oksida–senyawa humat. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 5 (2); 75–82.
- Fahmi, A. dan M. Sarwani. 2013. Does rice straw application reduce iron concentration and increase rice yield in acid sulphate soil. Hlm. 107 - 114. *Dalam* E. Husen, D. Nursyamsi, M. Noor, A. Fahmi, Irawan dan I. G. P. Wigena. *Proceeding of International Workshop on Sustainable Management of Lowland for Rice Production*. Banjarmasin, 27-28 September 2012. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Gao, S., K. K. Tanji, and S. C. Scardaci. 2004. Impact of Rice Straw Incorporation on Soil Redox Status and Sulfide Toxicity. *Agronomy Journal* 96;70–76.
- Groenenberg, J. E. 1990. Modeling of solute transport and chemical process in acid sulphate soils. Hlm. 182 – 194. *Dalam*. Pappert Workshop on Acid Sulphate Soil in the Humid Tropics. AARD-LAWOO. Bogor.
- Guppy, C. N., N. W. Menzies, F. P. C. Blamey, and P. W. Moody. 2005. Do decomposing organic matter residues reduce phosphorus sorption in highly weathered soils? *Soil Soil Science Society of America Journal* 69: 1405–1411.
- Hanson, N. C., T. C. Daniels, A. N. Sharpley, and J. L. Lamunyon. 2002. The fate and transport of phosphorus in agricultural systems. *J. Soil Water Conservation*. 57 ; 408 – 417.
- Harter, R. D., dan R. Naidu. 1995. Role of metal – organic complexation in metal sorption by soils. *Advance in Agronomy* 55: 210 – 263.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Seventh Edition. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 515 hlm.
- Heathwaite, A. L. and R. M. Dils. 2000. Characterizing phosphorus loss in surface and sub surface hydrological pathways. *Sci. Total Environment* 251 ; 253 – 258.
- Jayakumar, S. V. S. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. Hlm. 168-176. *Dalam* Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, Volume 2 Nomor 3.
- Jumberi, A. A. Fahmi, dan Ani Susilawati. 2007. Potensi pengelolaan jerami dan penggunaan varietas unggul adaptif sebagai komponen teknologi peningkatan produktivitas tanah sulfat masam. Hlm. 305 – 314. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan Pertanian. Bogor, 14 – 15 September 2006. Buku III. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian.

- Kleinman, P. J. A., A. N. Sharpley, B. G. Moyer, and G. F. Elwinger. 2002. Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. *J. Environmental Quality* 31 ; 2026 – 2033.
- Kongchum, M. 2005. Effect of Plant Residue and Water management Practices on Soil Redox Chemistry, Methane Emission and Rice Productivity. Disertasi. Graduate Faculty of the Louisiana State University. USA. 201 hlm.
- Konsten, C. J. M., N. V. Breemen, S. Suping, I. B. Aribawa, and J. E. Groenenberg. 1994. Effect of flooding on pH of rice-producing, acid sulphate soils in Indonesia. *Soil Science Society of America Journal* 58; 871 – 883.
- Konsten, C. J. M. and M. Sarwani. 1990. Actual and potential acidity and related chemical characteristic of acid sulphate soils in Pulau Petak Kalimantan. Hlm 30 – 47. *Dalam Papers Workshop on Acid Sulphate in The Humid Tropics*. AARD-LAWOO, Bogor.
- Kyuma, K. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Melbourne. Australia. 279 hlm.
- Lynch, J.M. 1977. Phytotoxicity of acetic acid produced in the anaerobic decomposition of wheat straw. *J. Appl. Bacteriology* 42;81-87.
- Maksimova, E. and Abakumov, E. 2014. Wildfire effects on biological properties of soils in forest-steppe ecosystems of Russia. *Solid Earth Discussion* 6; 71–90.
- McIntyre, R. E. S., M. A. Adams, D. J. Ford, and P. F. Grierson. 2009. Rewetting and litter addition influence mineralization and microbial communities in soils from a semi-arid intermittent stream. *Soil Biology & Biochemistry* 41; 92–101.
- Nett, L., S. Ruppel, J. Ruehlmann, E. George, and M. Fink. 2011. Influence of soil amendment history on decomposition of recently applied organic amendments. *Soil Science Society of America Journal* 76:1290–1300.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa; Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. PT RajaGrafindo Persada. Jakarta. 241 hlm.
- Patrick, W. H. Jr., and K. R. Reddy. 1978. Chemical changes in rice soils. Hlm. 361 – 379. *Dalam*. Soil and Rice. IRRI. Los Banos, The Philippines.
- Pedrot, M., A. Le Boudec, M. Davranche, A. Dia and O. Henin. 2011. How does organic matter constrain the nature, size and availability of Fe nanoparticles for biological reduction? *Journal of Colloid and Interface Science* 359 ; 75–85.

- Ponnamperuma, F. N. 1984. Straw as a source of nutrients for wetland rice. Hlm. 117 – 136. *Dalam*. Organic Matter and Rice. International Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines.
- Reddy, K. R., P. S. C. Rao dan W. H. Patrick Jr. 1980. Factors influencing oxygen consumption rates in flooded soils. *Soil Science Society of America Journal* 44; 741 – 744.
- Reddy, K. R., dan R. D. Delaune. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRC Press. New York, USA. 779 hlm.
- Sanchez, P. A. 1977. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Soil Science 124 (3). 187 hlm.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley and Son Inc. New York. 496 hlm.
- Suswanto, T., J. Shamshuddin, S. R. S. Omar, P. Mat and C. B. S. Teh. 2007. Effects of lime and fertiliser application in combination with water management on rice (*oryza sativa*) cultivated on an acid sulfate soil. *Malaysian Journal of Soil Science* 11 : 1-16.
- Tadano, T. And T. Yoshida. 1978. Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth. Hlm. 399 – 420. *Dalam*. Soils and Rice. IRRI. Los Banos, The Philippines.
- Tan, K. H. 1997. Degradasi mineral tanah oleh asam organik. Hlm. 1 – 40. *Dalam* P. M. Huang, and M. Schnitzer. (Eds.). *Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba*. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.
- Tan K. H. 2008. *Soils in the Humid Tropics and Monsoon Region of Indonesia*. CRC Press, Taylor and Francis Group. 557 hlm.
- Tsutsuki, K. 1984. Volatile product and low-molecular of organic matter in submerged soils. Hlm. 329 – 344. *Dalam* Organic Matter and Rice. International Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines.
- Van Breemen, N. 1993. Environmental aspects of acid sulfate soils. Hlm. 391–402. *Dalam* D. L. Dent and M. E. F. Van Mensvoort (Eds.), *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulfate Soils*. ILRI Publ. 53. Wageningen.
- Weng, L., W. H. Van Riemsdijk, and T. Hiemstra. 2008. Cu^{2+} and Ca^{2+} adsorption to goethite in the presence of fulvic acids. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72; 5857–5870.
- Wilson, G. V., F. E. Rhoton, and H. M. Selim. 2004. Modeling the impact of ferrihydrite on adsorption–desorption of soil phosphorus. *Soil Science* 169 (4); 271–281.

- Watanabe, I. 1984. Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. Hlm. 237 – 258. *Dalam Organic Matter and Rice*. International Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines.
- Whithers, P. J. A., S. D. Clay, and V. G. Breeze. 2001. Phosphorus transfer in runoff following application of fertilizer, manure and sewage sludge. *J. Environmental Quality* 30; 180 – 188.
- Yampracha, S., T. Attanandana, A. Sidibe-Diarra, and R. S. Yost. 2005. Predicting the dissolution of rock phosphates in flooded acid sulfate soils. *Soil Science Society of America Journal* 69 : 2000–2011.
- Yan, C., H. Zhan, S. Yan, S. Dong, C. Ma, Q. Song, Z. Gong and M. Barbie. 2016. Effects of straw retention and phosphorous fertilizer application on available phosphorus content in the soil solution during rice growth. *Paddy Water Environment* 14:61–69.
- Ye, Y., C. Volker, and D. A. Wolf-Gladrow. 2009. A model of Fe speciation and biogeochemistry at the Tropical Eastern North Atlantic Time-Series Observatory site. *Biogeosciences*, 6; 2041–2061.
- Yoshida, T. 1978. Microbial metabolism of rice soils. Hlm. 445 – 464. *Dalam. Soils and Rice*. IRRI. Los Banos, The Philippines.

PEMANFAATAN *RHIZOBIUM* UNTUK TANAMAN KEDELAH DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Yuli Lestari dan Wahida Annisa

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA), Banjarbaru
e-mail: yulibalittra70@yahoo.com

Ringkasan

Lahan rawa pasang surut mempunyai peranan penting dalam pengembangan pertanian tanaman pangan. Tanaman pangan utama strategis terpenting setelah padi dan jagung adalah kedelai. Pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut dihadapkan pada masalah sifat fisik, kimia dan biologi, diantaranya adanya genangan, kemasaman tanah yang tinggi, keracunan Fe, dan Al serta kahat hara N, P, K, Ca dan Mg. Kandungan N di lahan rawa pasang surut termasuk tinggi, namun N-tersedia rendah karena N yang ada umumnya dalam bentuk N-organik. Kedelai merupakan tanaman yang memerlukan N dalam jumlah besar untuk pertumbuhan dan produksi (hasil), namun mampu memenuhi sebagian N yang diperlukan karena kemampuannya bersimbiosis dengan *Rhizobium*. *Rhizobium* merupakan bakteri tanah yang dapat mengubah N_2 dari udara menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman karena adanya enzim *nitrogenase*. Simbiosis antara tanaman kedelai dengan *Rhizobium* ditandai oleh terbentuknya bintil akar yang merupakan tempat terjadinya proses fiksasi N_2 . Dalam simbiosis ini tanaman mendapat N yang digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangannya, sedangkan bakteri mendapatkan sumber energi dari hasil fotosintesis. Simbiosis yang efektif dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil dan efisiensi pemupukan N. Efektivitas simbiotik antara *Rhizobium* dengan tanaman kedelai sangat dipengaruhi oleh strain *Rhizobium*, genotipe kedelai dan faktor lingkungan. Salah satu strategi untuk meningkatkan efektivitas simbiotik adalah inokulasi *Rhizobium* yang efektif memfiksasi N_2 , kompatibel dengan tanaman inang (kedelai), kompetitif terhadap *Rhizobium* indigenous dan adaptif terhadap lingkungan.

Pendahuluan

Kedelai merupakan tanaman pangan utama strategis terpenting setelah padi dan jagung. Menurut Aldillah (2015), bahwa permintaan kedelai di Indonesia pada tahun 2020 sekitar 2.85 juta ton, sementara produksi kedelai nasional diperkirakan hanya 1.23 juta ton. Proyeksi mengenai produksi dan konsumsi tahun 2013-2020, menunjukkan terjadi defisit 1,6 juta ton per tahun. Rendahnya produksi kedelai nasional disebabkan oleh kurangnya areal pertanaman dan rendahnya produktivitas. Oleh karena itu untuk mencapai swasembada kedelai di masa mendatang maka pertumbuhan produksi harus lebih besar dari pertumbuhan konsumsi.

Berdasarkan luasannya, maka lahan rawa pasang surut mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian termasuk tanaman kedelai. Upaya peningkatan produksi tanaman kedelai dapat dilakukan melalui berbagai kegiatan seperti perluasan areal pertanaman dan perbaikan teknologi budidaya. Perluasan areal pertanaman kedelai dapat diarahkan pada pemanfaatan lahan rawa pasang surut. Luas lahan rawa di Indonesia mencapai 34,93 juta ha tersebar di Sumatera ($\pm 2,93$ juta ha), Jawa ($\pm 0,9$ juta ha), Kalimantan ($\pm 10,02$ juta ha), Sulawesi ($\pm 1,05$ juta ha), Maluku dan Maluku Utara ($\pm 0,16$ juta ha) dan Papua ($\pm 9,87$ juta ha). Luas lahan rawa pasang surut seluruhnya sekitar 8,35 juta ha (BBSDL 2014).

Pada umumnya jenis tanah yang dijumpai di lahan rawa pasang surut adalah tanah sulfat masam dan tanah gambut. Tanah sulfat masam dicirikan oleh adanya mineral pirit yang bersifat stabil pada kondisi reduktif namun saat teroksidasi akan menghasilkan kemasaman yang tinggi. Oksidasi satu mol pirit oleh O_2 akan menghasilkan 2 mol H^+ , 1 mol Fe^{2+} dan 2 mol SO_4^{2-} , namun apabila Fe^{3+} yang bertindak sebagai oksidator maka akan dibebaskan 16 mol H^+ , 15 mol Fe^{2+} dan 2 mol SO_4^{2-} (Maria *et al.* 2002). Kemasaman yang tinggi akibat oksidasi pirit akan menghancurkan ikatan alumino-silikat dan membebaskan ion Al^{3+} . Berbeda dengan tanah sulfat masam, tanah gambut dicirikan tingginya bahan organik (C-organik > 18%) dengan ketebalan 50 cm atau lebih (Agus dan Subiksa, 2008). Dekomposisi bahan organik akan menghasilkan asam organik yang bersifat racun bagi tanaman terutama berasal dari golongan asam fenolat. Kadar asam fenolat pada gambut di Indonesia sangat tinggi. Asam fenolat bersifat toksik bagi tanaman. Selain itu pada kondisi alami tanah gambut bersifat hidrofilik

namun akibat reklamasi lahan yang terjadinya pengeringan yang berlebihan akan menjadi hidrofobik (kering tak balik/*irreversible drying*) sehingga kemampuannya menyerap air menurun (Zul *et al.* 2013).

Nitrogen merupakan hara makro yang diperlukan oleh sejumlah besar tanaman dalam jumlah besar dan merupakan faktor pembatas perkembangan, pertumbuhan dan hasil panen (Simon *et al.* 2014). Namun demikian nitrogen merupakan salah satu hara yang seringkali membatasi pertumbuhan tanaman pada beberapa jenis tanah. Menurut Anwar (2014), bahwa kandungan N pada lahan pasang surut umumnya termasuk tinggi, namun N-tersedia rendah karena N yang ada umumnya dalam bentuk organik. Kondisi porositas lahan mempermudah hara N tercuci oleh gerakan air.

Kedelai merupakan tanaman yang membutuhkan nitrogen dalam jumlah banyak dan diperkirakan memproduksi sebanyak 200 kg N ha⁻¹ dari biomassa tajuk tanaman setiap musim tanam. Setiap ton produksi kedelai memerlukan 70 kg N, 7 kg P dan 43 kg K per ha (Manshuri 2015). Namun demikian, tanaman ini mampu memenuhi sebagian kebutuhan nitrogennya melalui simbiosisnya dengan *Rhizobium*. Nitrogen yang terkandung dalam kedelai, diperkirakan 58-68% berasal dari fiksasi nitrogen secara simbiosis (Peoples *et al.* 2009). Furseth *et al.* (2012), mengemukakan bahwa kedelai dapat memfiksasi 175 kg N per ha pada lahan beririgasi dan hanya 100 kg N per ha pada lahan kering. Selain memberikan keuntungan pada tanaman kedelai yang bersimbiosis, tanah-tanah disekitarnya juga menjadi lebih subur karena setelah panen bagian yang tersisa dari tanaman seperti akar dan bintil mengandung 30-60% nitrogen.

Menurut Havlin *et al.* (2012), bahwa fiksasi nitrogen sangat dipengaruhi oleh tanaman inangnya (kedelai), isolat (strain) *Rhizobium* dan faktor lingkungan yang saling berkaitan. Stres lingkungan seperti rendahnya pH tanah dan tingginya konsentrasi Al dapat menurunkan efektivitas simbiosis karena berpengaruh terhadap pertumbuhan kedelai sebagai tanaman inang, *Rhizobium* maupun prosesnya. Keracunan Al dapat menghambat pembelahan dan pemanjangan sel meristem sehingga pertumbuhan akar terhambat (Panda *et al.* 2003; Moora *et al.* 2006). Kemasaman tanah dapat membatasi pertumbuhan dan kemampuan tumbuh (survival) *Rhizobium* dalam tanah. Terhadap proses simbiosis, kemasaman tanah dapat menurunkan proses infeksi *Rhizobium* terhadap akar kedelai (Havlin *et al.* 2012), sedangkan pada

konsentrasi Al yang tinggi dapat menurunkan ekskresi substansi akar yang penting pada tahap awal simbiosis yaitu menghambat masuknya *Rhizobium* ke dalam akar tanaman dan proses pembentukan bintil akar. Selain itu pada saat kekurangan air seperti yang terjadi pada tanah gambut yang bersifat hidrofobik akan mengakibatkan kelarutan hara, serapan hara oleh tanaman dan proses fotosintesis menurun. Menurunnya produksi fotosintat akan menurunkan fiksasi N_2 oleh *Rhizobium*. Dengan demikian faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai, *Rhizobium* dan proses simbiotik juga sangat menentukan jumlah N_2 yang difiksasi oleh *Rhizobium* yang pada gilirannya berpengaruh terhadap hasil (produksi) kedelai. Oleh karena itu diperlukan strategi pengelolaan lahan yang tepat seperti perbaikan dari aspek kesuburan tanahnya seperti pemberian bahan amelioran, pemupukan dan pemberian *Rhizobium*.. Pada lahan-lahan yang belum pernah ditanami kedelai atau populasi *Rhizobium* indigenous rendah atau rhizobium indigenous tidak efektif menambat nitrogen perlu inokulasi *Rhizobium* introduksi untuk mendapatkan hasil kedelai yang tinggi.

Potensi Lahan Pasang Surut untuk Tanaman Kedelai

Lahan rawa merupakan merupakan salah satu ekosistem yang sangat potensial untuk pengembangan kedelai di masa depan (Sudaryanto *et al.*, 2007). Luas lahan rawa pasang surut di Indonesia berkisar 20,1 juta ha dan sekitar 9,9 juta ha diantaranya berpotensi untuk ekstensifikasi lahan (Haryono, 2013). Menurut Ghulamahdi (2011), bahwa lahan pasang surut yang berpotensi tinggi untuk ditanami kedelai seluas 2,08 juta ha dan yang berpotensi sedang seluas 1,33 juta ha. Menurut Kuswanto (2010), bahwa kedelai dapat ditanam di lahan pasang surut tipe luapan B, C, dan D baik musim hujan maupun musim kemarau.

Permasalahan pengembangan kedelai di lahan pasang surut adalah tanaman kelebihan air, pH rendah, defisiensi makronutrien dan toksisitas mikronutrien (Kuswanto 2017). Kelebihan air mengakibatkan rizosfer mengalami *hypoxia* (Jitsuyama 2015) dan berbagai masalah metabolisme (Kim *et al.* 2015). Pada lahan pasang surut tipe luapan B, air pasang dapat melimpasi lahan terutama pada saat pasang besar. Pada saat pasang besar dan curah hujan tinggi kemungkinan tanaman kedelai dapat mengalami genangan. Penggenangan yang terjadi sewaktu-waktu dapat mengakibatkan produktivitas kedelai menurun (Tampubolon 1988 Dalam Ghulamahdi *et al.*

2016). Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan varietas kedelai yang toleran terhadap genangan yang terjadi sewaktu-waktu (*temporary*). Menurut Ghulamahdi *et al.* (2016), bahwa kedelai varietas Malika adalah varietas yang berpotensi untuk dikembangkan di lahan pasang surut tipe luapan B dengan produktivitas yang tinggi dan mempunyai risiko yang rendah terhadap penggengangan sewaktu-waktu. Produksi kedelai varietas Malika yang mendapat perlakuan penggenangan sewaktu-waktu adalah 3,23 t.ha⁻¹.

Pada lahan pasang surut tipe luapan C, lahan tidak mendapat limpasan air pasang baik pasang besar maupun pasang kecil. Lahan sulfat masam tipe luapan C dapat dimanfaatkan untuk budidaya kedelai asal dikelola dengan baik. Budidaya yang memberikan air secara permanen dan menjaga kedalaman air pada kondisi konstan disebut budidaya jenuh air. Sistem ini membuat lapisan tanah jenuh air secara terus menerus. Pada sistem budidaya ini menjadikan kondisi lahan tetap reduktif sehingga menekan oksidasi pirit. Sifat kimia tanah sulfat masam tipe luapan C Desa Banyu Urip, Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan pada budidaya jenuh air lebih baik dibandingkan budidaya kering. pH tanah, ketersediaan P, K, Ca dan Mg pada budidaya jenuh air lebih tinggi dibandingkan budidaya kering. Sebaliknya konsentrasi Al dan Fe pada budidaya jenuh air lebih rendah dibandingkan budidaya kering (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa budidaya jenuh air dapat memperbaiki sifat kimia tanah sulfat masam sehingga memberikan kondisi yang lebih sesuai untuk pertumbuhan dan produksi kedelai. Selanjutnya penerapan budidaya kering menyebabkan semua genotip yang diuji (Yellow Biloxi, Anjasmoro, Lawit dan Tanggamus) hanya dapat hidup hingga empat minggu setelah tanam, sedangkan pada budidaya jenuh air kedelai bisa berproduksi. Produktivitas tertinggi adalah 2,47 t. ha⁻¹ pada perlakuan pemberian kapur dengan varietas Tanggamus (Noya *et al.* 2014).

Tabel 1. Beberapa sifat kimia tanah akibat perbedaan budidaya kedelai di tanah sulfat masam tipe luapan C.

Perlakuan	Sifat kimia tanah						
	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Fe
	(1:1)	ppm	me 100 g ⁻¹				ppm
Budidaya kering	4,11 b	6,76 b	0,47 c	3,23 b	3,94 c	5,81 a	31,16 a
Kedalaman air 10 cm	4,27 a	9,08 a	0,76 a	6,17 a	5,15 a	4,10 b	20,66 b
Kedalaman air 20 cm	4,33 a	9,14 a	0,57 b	4,19 b	4,55 b	4,38 b	23,17 b

Sumber: Noya *et al.* (2014)

Kemasaman tanah merupakan salah satu penyebab rendahnya produktivitas kedelai di lahan pasang surut. Faktor pembatas yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman pada kondisi masam adalah: (1) tingginya konsentrasi hydrogen/pH rendah, (2) tingginya kelarutan mikronutrien seperti besi dan mangan, (3) tingginya konsentrasi aluminium, (4) menurunnya ketersediaan makronutrien seperti P dan (5) sifat tanah yang unfavourable (Miransari 2016). Kemasaman dapat menghambat pertumbuhan tanaman, akar dan menurunkan hasil. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pemberian bahan amelioran dan penggunaan varietas adaptif. Hasil penelitian Koesrini *et al.* (2015), di tanah sulfat masam aktual Desa Simpang Jaya, Kecamatan Wanaraya, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan, menunjukkan bahwa pemberian kapur dengan takaran 80% dari kejenuhan Al awal sudah meningkatkan pH tanah dari 3,7 menjadi 4,4 dan menurunkan kejenuhan Al dari 64,80% menjadi 17,10%. Produksi kedelai akibat pemberian kapur sebanyak 80% dari kejenuhan awal meningkat sebanyak 1155 kg.ha⁻¹.

Penggunaan varietas unggul yang memiliki potensi hasil yang tinggi dapat berkontribusi nyata terhadap peningkatan produksi kedelai. Namun penggunaan varietas kedelai yang unggul untuk suatu daerah belum tentu menunjukkan keunggulan yang sama di daerah lain, karena faktor perbedaan iklim, topografi, dan cara tanam (Sudjudi *et al.* 2005). Menurut Kuswanto (2010), berdasarkan hasil uji multilokasi di lahan pasang surut varietas Lawit dan menyapa dapat direkomendasikan untuk ditanam di agroekologi lahan tersebut. Varietas Lawit dan Menyapa yang di tanam pada tanah sulfat masam Kalimantan Selatan, masing-masing menghasilkan 1,67 t.ha⁻¹ (Kuswanto *et al.* 2017). Hasil penelitian Bachtiar *et al.* (2016),

produksi kedelai varietas Tanggamus di lahan bergambut pasang surut $>3,2$ t ha⁻¹, sedangkan varietas Wilis pada tanah mineral pasang surut $>3,5$ t. ha⁻¹.

Menurut Miransari (2016), bahwa kemasaman tanah dapat menurunkan laju penambatan nitrogen secara biologi oleh *Bradyrhizobium japonicum* karena tanaman dan bakteri mengalami stress sehingga perkembangan dan hasil tanaman menurun. Salah satu strategi yang bisa digunakan untuk mengantisipasi kondisi kemasaman adalah pemanfaatan tanaman dan mikroba toleran masam.

Potensi *Rhizobium* di Lahan Rawa Pasang Surut

Rhizobium merupakan bakteri yang dapat hidup pada residu tanaman (*saprophyt*) atau di dalam jaringan tanaman (*endofit*) atau hidup pada akar tanaman (*rhizobacteria*) (Mohammadi dan Sohrabi 2012). Bakteri ini menjadi sangat menguntungkan ketika bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan termasuk kedelai. Kedelai dinodulasi oleh 3 tipe *rhizobium* yang berbeda yaitu *Rhizobium fredii*, *Bradyrhizobium japonicum* dan *Bradyrhizobium elkanii* (Kandel 2014). Menurut Bergeys manual of Systematics of Archaea and Bacteria (2015), bakteri *Rhizobium* tergolong bakteri gram negative, bersifat aerobik dengan tipe respirasi dari metabolisme dengan oksigen sebagai aseptor elektron, hidup pada kisaran pH 4-10 dengan pH optimal 6-7. Di dalam bintil akar bakteri bersifat endofit yang memperlihatkan bentuk pleomorfism yang disebut bakteroid.

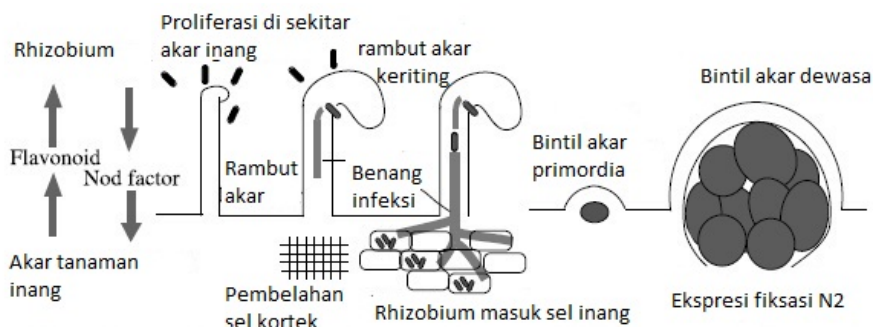
Pada agro-ecosistem, *rhizobium* mempunyai peranan yang penting terhadap siklus nitrogen. Menurut Yan *et al.* (2014), bahwa distribusi, kelimpahan populasi dan keragaman *Rhizobium* yang berasosiasi dengan tanaman kedelai secara langsung dipengaruhi oleh kondisi tanah (terutama pH) dan tanaman inang. Kemasaman tanah optimal untuk pertumbuhan *Rhizobium* adalah pH netral. Namun demikian beberapa bakteri mempunyai kisaran pH yang luas. Hasil penelitian Martani *et al.* (2011) menunjukkan bahwa *Rhizobium* mampu tumbuh pada pH 3-8. Selain itu perlakuan tanah (*soil treatments*) dan macam/jenis tanaman biasanya mempengaruhi jumlah dan karakteristik *Rhizobium*. Martani *et al.* (2011) berhasil mengisolasi 69 isolat *Rhizobium* dari tanah sulfat masam, 5 isolat dari tanah gambut dengan kematangan saprik, 4 isolat dari tanah gambut dengan kematangan hemist dan 2 isolat dari tanah gambut fibrik.

Hasil penelitian Wiratama (2010), menunjukkan bahwa populasi *rhizobium* di lahan gambut Riau yang terbakar lebih rendah dibandingkan yang tidak terbakar. Populasi *Rhizobium* di lahan terbakar dan tidak terbakar masing-masing adalah $1,25 \times 10^3$ dan $4,075 \times 10^3$. Rendahnya populasi rhizobium pada lahan yang terbakar disebabkan oleh tingginya suhu permukaan gambut yang terbakar sehingga terjadi penurunan populasi *rhizobium*.

Nodulasi dan Fiksasi Nitrogen

Nodulasi (Pembentukan Bintil Akar)

Bintil akar adalah struktur seperti kutil yang terbentuk pada akar tanaman legume termasuk kedelai karena terjadinya simbiosis dengan bakteri pemfiksasi N_2 (*Rhizobium*). Bintil akar mulai terbentuk pada akar tanaman kedelai pada umur 4-5 hari setelah tanaman (HST) (Rao 1994). Pembentukan bintil akar merupakan proses yang kompleks yang berkaitan antara bakteri *Rhizobium* dengan tanaman inang (kedelai). Sebelum bintil akar terbentuk, terjadi komunikasi molekuler antara *Rhizobium* dengan tanaman inang yang meliputi ketertarikan, transmisi, pengenalan dan pemberian sinyal diantara keduanya (Marshcner 2012). Sinyal molekul yang terlibat dalam komunikasi legume-rhizobium tersebut berasal dari tanaman dan dari bakteri (Suryantini 2015). Metabolit sekunder seperti *flavonoid* yang berasal dari lapisan biji tanaman bertanggung jawab mengawali interaksi simbiosis. Ekskresi flavonoid oleh akar tanaman mengaktifkan gen di dalam rhizobium sehingga menghasilkan *lipo-chitooligosacharides* yang disebut Nod-factor. Nod factor adalah lipo-chitooligosacharides yang tersusun dari N-asetil-D-glukosamin dan rantai asam lemak yang dihubungkan oleh β -1-4 (Marshcner 2012).



Gambar 1. Proses pembentukan bintil akar pada simbiosis antara rhizobium dan legume

Sumber: Okazaki *et al.* 2004

Bakteri rhizobium bersamaan dengan molekul *signal Nod factor*-nya mengawali proses infeksi. Proses ini terjadi sedikitnya 6-8 jam setelah inokulasi. Biasanya infeksi rhizobium terjadi pada akar rambut. Proses ini dimulai dengan melekatnya bakteri pada akar rambut yang baru muncul. Kemudian *Nod factor* menginduksi pembengkokan rambut akar dan pembelahan sel kortek tanaman inang. Bersamaan dengan proses tersebut *Nod factor* juga menginduksi sel akar membentuk benang infeksi. Benang infeksi adalah struktur seperti tabung yang tumbuh dari ujung rambut akar menuju tubuh sel akar. Kemudian rhizobium masuk ke akar rambut melalui benang infeksi dan selanjutnya masuk sel kortek legume yang sedang membelah dan akhirnya terbentuk primordial bintil akar. Posisi primordia bintil akar adalah berdekatan dengan sel radial dari xilem and jauh dari floem. Ketika rhizobium yang terletak pada ujung benang infeksi masuk ke dalam sitoplasma diencapsulasi oleh membrane khusus yang dihasilkan tanaman inang (*peribacteroid membrane*) dan selanjutnya disebut *symbiosome*. Proses selanjutnya adalah sel *Rhizobium* yang berada di dalam sel tanaman berubah bentuk menjadi bakteroid (Okazaki, 2004). Di dalam struktur bintil akar, bakteroid menggunakan kompleks enzim nitrogenase untuk memfiksasi N_2 menjadi bentuk nitrogen yang bisa diserap oleh tanaman seperti amoniak. Amoniak yang bersifat toxic terhadap tanaman segera dikonversi menjadi senyawa seperti *glutamate* atau *ureides* yang tidak bersifat toksik dan aman ditransport keseluruh tanaman.

Bintil akar yang terbentuk pada akar tanaman kedelai termasuk determinate, berbentuk bulat (Ferguson 2010) dan berukuran besar

(Pommeresche and Hansen 2017). Masa hidup dari bintil akar kedelai hanya beberapa minggu, kemudian mengalami senesen dan diganti oleh struktur bintil akar baru yang berkembang pada sistem perakaran. Bintil akar yang mengalami senesen, bakteroid berubah kembali dan menjadi inokulum dalam tanah (Gresthof and Role, 1978 *In* Ferguson 2013).

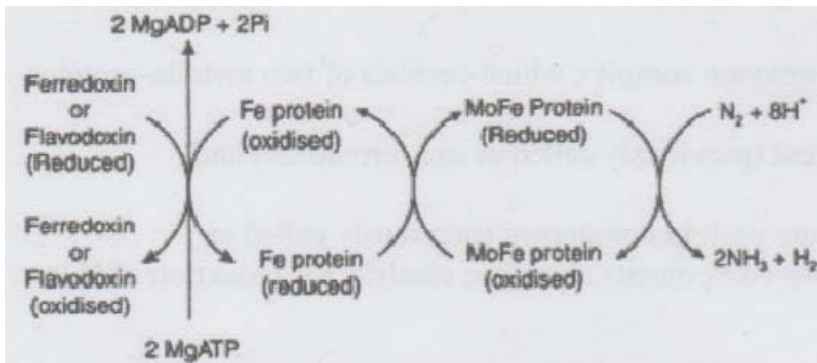
Terbentuknya bintil akar pada akar kacang-kacangan belum menjamin terjadinya fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium*. Menurut Gwata *et al.* (2003), bahwa morfologi, ukuran dan warna bagian luar bintil akar umumnya tidak berbeda. Tetapi jika dibelah bintil akar menunjukkan perbedaan yang jelas dalam warna jaringan antara warna bintil akar yang efektif dan tidak efektif. Bintil akar yang tidak efektif, berwarna putih sampai hijau terang, sebaliknya bintil yang efektif berwarna merah muda kecoklatan yang menunjukkan perbedaan dalam kemampuannya dalam memfiksasi N. Warna merah bagian dalam bintil akar tersebut adalah protein pigmen yang disebut leghaemoglobin.

Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen secara hayati oleh rhizobium selain menguntungkan tanaman inang karena konversi N_2 menjadi NH_4 yang langsung bisa dimanfaatkan oleh tanaman inang juga menguntungkan rhizosfer karena ketika kedelai atau legume yang lain mati akan terdekomposisi sehingga berperan sebagai sumber nitrogen dari tanah. Oleh karena itu legume termasuk kedelai sering digunakan untuk rotasi tanaman. Sistem tumpang sari antara kedelai dan tanaman non legume juga bisa mendapatkan manfaat dari simbiosis ini karena sebagian dari nitrogen yang difiksasi juga disekresikan pada tanah disekitarnya.

Fiksasi nitrogen oleh rhizobium merupakan proses enzimatik yang melibatkan enzim *nitrogenase* dan sejumlah besar energi. Enzim nitrogenase merupakan enzim kompleks yang pada umumnya terdiri dari 2 protein yaitu Mo-Fe protein (*dinitrogenase reductase*) yang memfiksasi N_2 dan Fe-protein (*nitrogen reductase*) yang berfungsi sebagai donor elektron (Bergeys dan Mutholand, 2018). Elektron ditransfer dari ferredoxin atau flavodoxin ke komponen protein-Fe. Selanjutnya dari protein-Fe, elektron diberikan ke komponen Mo-Fe protein sehingga menjadi tereduksi. Sejalan dengan proses tersebut juga terjadi hidrolisis ATP menjadi ADP dan fosfat anorganik (Pi).

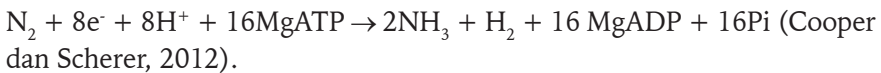
Reduksi Fe-protein yang dilanjutkan dengan hidrolisis 2 ATP menjadi 2 ADP dan 2 Pi menyebabkan perubahan konformasi Fe-protein yang memfasilitasi reaksi reduksi-oksidasi. Selanjutnya electron dari Mo-Fe protein ditransfer ke molekul nitrogen (N_2) dan 8 proton, sehingga dihasilkan 2 amoniak dan 1 molekul hydrogen. Mekanisme fiksasi nitrogen secara hayati tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme fiksasi nitrogen secara hayati

Sumber: Koratkar, 2018

Setiap mol N_2 yang difiksasi akan menghasilkan 2 mol NH_3 seperti persamaan berikut:



Simbiosis antara kedelai dan bakteri bintil akar termasuk simbiosis mutualisme. Pada simbiosis ini tanaman memberikan energi (seperti gula, karbohidrat yang merupakan hasil fotosintesis diubah menjadi ATP melalui proses oksidasi) kepada bakteri *Rhizobium* untuk menambat N, sedangkan *Rhizobium* menghasilkan NH_4^+ untuk produksi protein untuk tanaman inang. Setiap transfer $2e^-$ memerlukan 4-5 ATP. Selain digunakan sebagai sumber energi fotosintat dari tanaman digunakan sebagai unsur penyusun asam amino dan nukleotida.

Proses fiksasi N_2 merupakan proses yang sangat peka terhadap oksigen, sedangkan bakteri *Rhizobium* dan tanaman kedelai memerlukan kondisi aerob (cukup oksigen) untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, tanaman legume mengembangkan suatu mekanisme yang dapat menjamin proses fiksasi optimal walaupun lingkungan tumbuhnya aerob.

Mekanisme tersebut diantaranya adalah tanaman mengatur permeabilitas sel bintil akar terhadap oksigen dengan sebuah penghalang difusi oksigen, sehingga memungkinkan tanaman bereaksi dengan oksigen yang tersedia disekitar lingkungan akar. Mekanisme lainnya adalah terbentuknya protein *leghaemoglobin* yang menurunkan konsentrasi oksigen pada zona fiksasi nitrogen pada bintil akar sampai 2-32 nM (Ott *et al.* 2005 dan Gibson *et al.* 2008).

Efisiensi fiksasi nitrogen secara hayati tergantung pada kemampuan *Rhizobium* memfiksasi nitrogen (efektif), kompatibilitas antara varietas kedelai dan strain *Rhizobium*, kemampuan tanaman kedelai dan *Rhizobium* beradaptasi pada lingkungannya, kemampuan *Rhizobium* berkompetisi dengan populasi *Rhizobium* indigenous, ketersediaan hara terutama N, P, Mg, Fe dan Mo.

Efektivitas simbiotik antara tanaman kedelai dengan bakteri *Rhizobium* ditunjukkan oleh terbentuknya bintil akar yang efektif. Beberapa parameter terbaik untuk seleksi isolate *Rhizobium* diantaranya adalah jumlah, ukuran, dan distribusi bintil akar serta warna nodule (Martani *et al.*, 2011). Inokulasi *Rhizobium* terhadap varietas kedelai yang kompatibel menghasilkan jumlah polong, dan hasil biji kedelai yang baik. Simbiosis yang efektif antara tanaman kedelai dan *Rhizobium* akan meningkatkan pertumbuhan, biomassa tanaman dan hasil biji kedelai (Alam *et al.* 2015).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nodulasi dan Fiksasi N

Menurut Solomon *et al.* (2012) bahwa keberhasilan pembentukan bintil akar pada legume tergantung pada strain *Rhizobium* dan kompatibilitas antara *Rhizobium* dengan legume. Tingkat kesesuaian simbiotik (sifat kompatibilitas) yang baik antara kedua simbion ditunjukkan oleh kandungan N-total tanaman yang tinggi. Inokulasi *B. japonicum* strain TAL 379 menghasilkan jumlah bintil akar, bobot kering tanaman dan serapan N tanaman kedelai lebih tinggi dibandingkan strain TAL 378. Oleh karena jumlah pupuk nitrogen yang diaplikasikan dosisnya sama, maka perbedaan pertumbuhan dan hasil kedelai hanya disebabkan oleh inokulasi TAL 379. TAL 379 mempunyai kemampuan memfiksasi N lebih tinggi dan lebih kompatibel terhadap inang yang diuji dibandingkan TAL 378.

Tabel 2. Pengaruh strain *B. japonicum* terhadap bintil akar, serapan N dan hasil biji kedelai

Jeni isolate <i>B. japonicum</i>	Jumlah bintil akar (buah.tanaman ⁻¹)	Serapan N (mg. tanaman ⁻¹)	Hasil biji kedelai (kg.ha ⁻¹)
Tanpa inokulasi	0,00 b	555,62 b	2580,25 a
TAL 378	0,13 b	578,90 b	2487,65 a
TAL 379	12,02 a	1036,86 a	3953,71 a

Sumber: Solomon, *et al.* (2012)

Hasil penelitian Martani *et al* (2011), menunjukkan bahwa jumlah, diameter dan distribusi bintil akar tergantung pada strain. Dari 21 isolat *Rhizobium* yang diuji menunjukkan bahwa jumlah bintil akar yang terbentuk sebanyak 5-27 buah, diameter bintil akar berkisar 0,3-4 mm dan bintil akar terbentuk pada akar utama dan terdistribusi pada akar utama dan sekunder. kedelai. Hasil penelitian Agistia dan Hapsari (2006), menunjukkan bahwa jumlah bintil akar dan bobot kering akar berkorelasi positif dengan kadar N-total tanaman dengan nilai korelasi masing-jumlah dan bobot kering bintil akar maka semakin banyak N₂ yang difiksasi masing 0,61** dan 0,76**. Hal ini berarti semakin meningkat jumlah dan bobot kering bintil akar, maka kadar N-total tanaman semakin meningkat. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin meningkat jumlah dan bobot bintil akar maka jumlah N₂ difiksasi semakin banyak. Menurut Arimurti (2000), bahwa nitrogen yang berhasil difiksasi oleh *Rhizobium* juga semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya volume (besar) dan jumlah bintil akar. Selanjutnya menurut Hardarson *et al.* (1989), bahwa posisi nodul pada akar mempengaruhi fiksasi N₂. Nodule yang terbentuk pada bagian yang lebih bawah dari sistem perakaran lebih efektif memfiksasi N₂ dibandingkan pada akar utama. Terbentuknya nodule ini selain berkaitan dengan strain *Rhizobium* juga berkaitan dengan penempatan inokulum (prosedur inokulasi). Bintil akar yang sebagian besar berada pada akar utama adalah akibat cara inokulasi biji, sedangkan yang terdistribusi di seluruh perakaran akibat penempatan inokulum pada tanah.

Menurut de Luca dan Hungria (2014), bahwa meningkatnya laju fotosintesis mengakibatkan pasokan karbon meningkat sehingga meningkatkan pembentukan bintil akar dan fiksasi nitrogen. Faktor yang mengurangi laju fotosintesis seperti intensitas cahaya, kelembapan dan suhu akan menurunkan fiksasi N₂. Penurunan populasi tanaman kedelai per

satuan luas mengakibatkan laju fotosintesis semakin meningkat sehingga pembentukan bintil akar dan fiksasi N_2 semakin meningkat. Terdapat hubungan yang linier antara bobot kering tajuk dengan serapan N dengan $R^2=0,95$ pada stadia V (empat daun trifoliolate belum berkembang) dan $R^2=0,99$ pada stadia R (pengisian biji).

Menurut Purwaningsih (2015), bahwa simbiosis antara *Rhizobium* dengan tanaman kedelai yang efektif dan efisien menghasilkan unsur N terfiksasi yang tinggi. Fiksasi N_2 dan pembentukan bintil akar sangat dipengaruhi oleh kemasaman tanah. Kemasaman tanah dapat menekan survival dan pertumbuhan rhizobium dalam tanah. Pada pH 5,5, infeksi *Rhizobium*, pertumbuhan akar dan produktivitas kacang-kacangan menurun (Havlin *et al.* 2014). Penurunan pembentukan bintil akar pada kondisi masam disebabkan oleh menurunnya transkripsi gen yang berkaitan dengan pembentukan bintil akar (Lin *et al.* 2012), sintesis flavonoid oleh legume dan *nod factor* oleh *Rhizobium* yang berperan dalam komunikasi antara legume dan *Rhizobium* (Mc. Kav dan Djordjevic, 1993 In Lin *et al.* 2012). Oleh karena itu agar pembentukan bintil akar menjadi optimal perlu perbaikan lingkungan tumbuh. Hasil penelitian Pujiwati *et al.* 2015) menunjukkan bahwa pemberian bahan amelioran berupa kapur pada tanah mineral bergambut tipe luapan B (pH awal=4,20), secara nyata dapat meningkatkan jumlah dan bobot bintil akar kedelai hitam yang diinokulasi rhizobium. Pemberian kapur sebanyak 25% dan 50% dari dosis anjuran dapat meningkatkan jumlah dan bobot bintil akar masing-masing 13,40 buah dan 4,26 g.

Pada umumnya ketika ketersediaan N di dalam tanah menurun maka fiksasi N_2 meningkat. Ketersediaan NO_3^- yang berlebihan menurunkan aktivitas nitrogenase yang mana menurunkan fiksasi nitrogen karena berkompetisi dalam menggunakan fotosintat antara reduksi NO_3^- dan reaksi fiksasi nitrogen (Havlin *et al.* 2014). Namun demikian menurut Subha Rao (1994), bahwa bintil akar mulai aktif menambat untur N dari udara pada tanaman kedelai umur 10-12 HST. Oleh karena itu kadang-kadang pemberian sejumlah kecil pupuk N pada saat tanam memberikan tanaman kedelai muda terpenuhi kebutuhan nitrogennya sampai *Rhizobium* mampu menambat N_2 (Mulyadi 2012).

Menurut Havlin *et al.* (2014), bahwa pada tanah-tanah masam ketersediaan Ca dan $H_2PO_4^-$ menurun. Defisiensi Ca dapat mempengaruhi

penempelan rhizobium pada rambut akar sehingga proses infeksi terganggu akibatnya mempengaruhi pembentukan dan perkembangan bintil akar. Terhadap tanaman kedelai defisiensi Ca^{2+} dapat menghambat translokasi karbohidrat dari daun ke batang dan akar sehingga pasokan energi ke akar rendah. Akibatnya fiksasi nitrogen dan produktivitas tanaman menurun. Ketersediaan Ca pada lahan rawa pasang surut sangat bervariasi dari rendah yaitu $0,48 \text{ cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ (Wijanarko dan Taufiq 2016) sampai sedang yaitu $8,3 \text{ cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ (Pujiwati *et al.* 2015). Salah satu cara meningkatkan ketersediaan Ca adalah aplikasi kapur (Wijanarko dan Taufiq 2016).

Bintil akar merupakan penerima (sink) P yang banyak. Biasanya konsentrasi P di dalam bintil akar 3 kali lebih banyak dibandingkan akar dan tajuk, terutama ketika konsentrasi P di tanah rendah. Fungsi utama fosfor adalah sebagai energi pada metabolisme tanaman dan berperan penting dalam fiksasi N_2 karena reaksi nitrogenase memerlukan ATP yang banyak, sehingga defisiensi P berpengaruh terhadap status energi dalam bintil akar. Sintesis asam nukleat dan fosfolipid juga dipengaruhi oleh ketersediaan P (Marschner 2012).

Unsur hara mikro yang merupakan penyusun enzim nitrogenase adalah Mo dan Fe. Menurut O'Hara (2001), defisiensi unsur Mo mengakibatkan menurunnya pembelahan sel dan pembentukan bintil akar sehingga legume defisiensi. Di dalam bintil akar legume, unsur Fe selain sebagai penyusun enzim nitrogenase, juga sebagai penyusun ferredoxin, leghaemoglobin maupun hidrogenase (Abdelmajid *et al.* 2008 Dalam Marschner 2012). Defisiensi Fe mengakibatkan menurunnya bobot bintil akar, konsentrasi leghaemoglobin, jumlah bakteroid dan aktivitas nitrogenase.

Inokulasi *Rhizobium* pada Tanaman Kedelai di Lahan Pasang Surut

Kedelai merupakan tanaman yang memerlukan nitrogen dalam jumlah banyak, karena biji kedelai mengandung protein sekitar 35-40% dan jumlah total nitrogen yang terakumulasi pada tajuk tanaman proposional dengan hasil biji. Kedelai bisa mendapatkan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangannya dapat berasal dari nitrogen dalam tanah, pemberian pupuk nitrogen organik maupun anorganik dan fiksasi nitrogen secara hayati. Sebenarnya strain *Rhizobium* tersebar luas pada legume, tetapi beberapa tanah yang digunakan untuk budidaya kedelai kadang-kadang

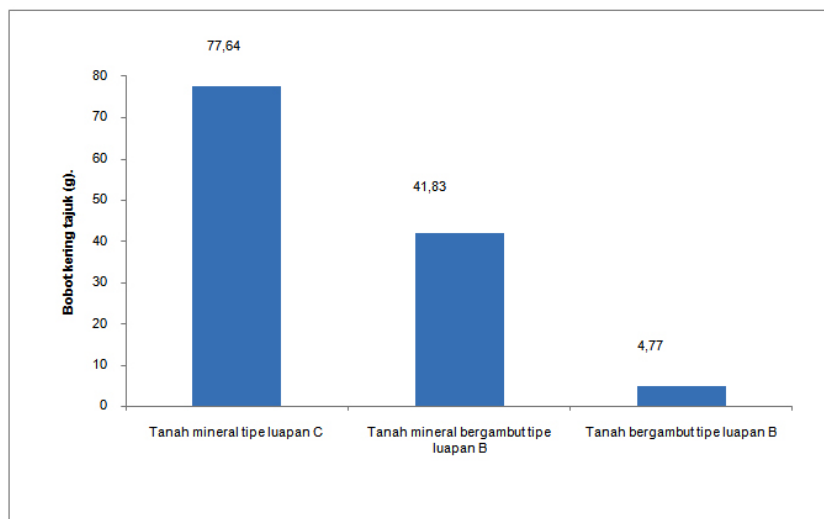
tidak mengandung jumlah *Rhizobium* yang cukup dan efektif menambat N_2 . Oleh karena itu diperlukan introduksi inokulan *Rhizobium* yang infeksiif dan efektif menambat N_2 .

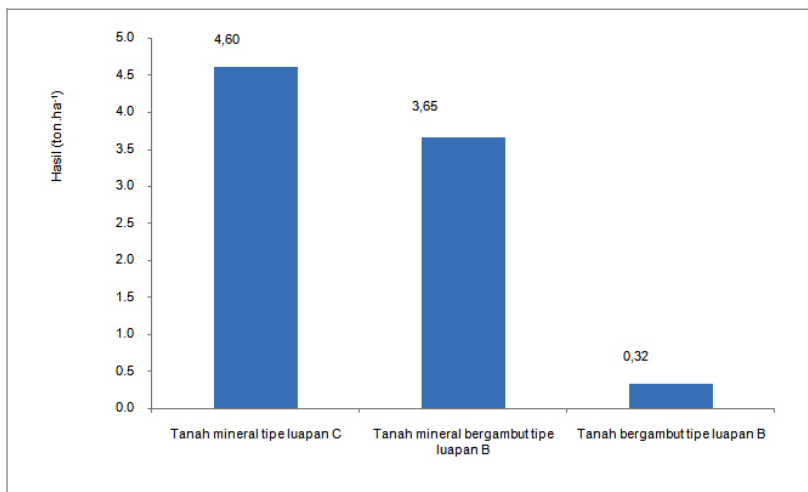
Inokulasi rhizobium pada kedelai adalah memberikan rhizobium dengan jumlah yang cukup pada biji tanaman kedelai sebelum ditanam dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah *Rhizobium* yang efektif dalam tanah, jumlah bintil akar yang efektif pada akar tanaman sehingga meningkatkan fiksasi N_2 dari atmosfer. Akan tetapi inokulasi tidak selalu meningkatkan nodulasi dan fiksasi N_2 . Faktor-faktor yang menghambat pertumbuhan tanaman kedelai pada umumnya dapat menurunkan nodulasi dan fiksasi N_2 karena *Rhizobium* membutuhkan fotosintat dari tanaman inang sebagai sumber energi. Faktor lingkungan seperti kemasaman, suhu, kelembapan tanah berpengaruh terhadap nodulasi dan fiksasi N_2 . Selain itu kesesuaian *Rhizobium* dengan tanaman inang, populasi *Rhizobium* juga berpengaruh terhadap nodulasi dan fiksasi N_2 (Sudarjo 2007). Secara umum peningkatan produksi tanaman termasuk kedelai akibat inokulasi *Rhizobium* dapat melalui salah satu mekanisme yang terkait dengan karakter fungsional, kepadatan populasi *Rhizobium* saat diaplikasikan, kecocokan dengan tanaman inang dan kondisi lingkungan rhizosfer. Beberapa strain *Rhizobium*, selain mampu menambat N juga menghasilkan berbagai senyawa pemacu tumbuh seperti asam indol asetat (IAA) yang dapat meningkatkan perkembangan akar, sehingga akar lebih efektif menyerap berbagai unsur hara.

Kemampuan kolonisasi dan daya hidup inokulan dalam lingkungan tanah alami sangat ditentukan oleh kepadatan sel inokulan saat diaplikasikan, hal ini berkaitan dengan daya saing inokulan dengan mikroba alami (indigenous). Populasi *Rhizobium* 10^2 per gram tanah tidak memberikan nodulasi yang bagus pada tanaman clover (*Trifolium* sp.). Populasi dalam tanah sebanyak 1000 sel per gram tanah atau lebih meningkatkan pembentukan bintil akar dan kandungan N pada bibit clover mencapai kondisi yang maksimal (Nasih dan Weaver 1994 In Catroux *et al.* 2001). Oleh karena itu, pada tanah-tanah yang belum pernah ditanami kedelai atau populasi *Rhizobium* indigenousnya rendah perlu inokulasi *Rhizobium* introduksi. Selanjutnya Catroux *et al.* (2001), mengemukakan bahwa ketika jumlah *Rhizobium* viable yang diinokulasikan meningkat maka pembentukan bintil akar dan hasil menjadi lebih baik. Namun demikian, persyaratan jumlah populasi *Rhizobium* dalam pupuk hayati tidak sama untuk setiap negara. Somasegaran dan Hoben (1994) mensyaratkan jumlah populasi minimal $\geq 10^8$ sel.g⁻¹ atau $\geq 10^8$ sel.ml⁻¹ bahan pembawa

untuk pupuk hayati tunggal *Rhizobium* sp. Hasil pengujian pupuk hayati HEG dan BTC oleh Husein (2009) menunjukkan bahwa rendahnya kepadatan populasi kedua jenis pupuk hayati (10^4 - 10^7 sel.g⁻¹ atau sel.ml⁻¹ bahan pembawa) mengakibatkan kedua inokulan tersebut kurang efektif. Oleh karena kepadatan populasi yang ada pada inokulan sangat menentukan mutu pupuk hayati maka perlu dipertahankan dalam jumlah yang tinggi sehingga lebih mendominasi mikroba indigenous dan memberikan hasil yang optimum untuk pertumbuhan tanaman (Tombe 2008).

Selain itu inokulasi *Rhizobium* akan berhasil jika strain *Rhizobium* yang introduksi mempunyai kemampuan hidup yang tinggi pada kondisi yang kurang menguntungkan seperti pH rendah. Hasil penelitian Pujiwati *et al.* (2016), menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pertumbuhan dan produksi kedelai di lahan rawa pasang surut dengan tiga jenis tanah yang berbeda dengan tingkat kemasaman yang berbeda. Pertumbuhan dan produksi kedelai yang diinokulasi *Rhizobium* di tanah mineral dengan tipe luapan C (pH=4,5) paling baik, kemudian diikuti tanah mineral bergambut dengan tipe luapan B (pH=4,3) dan tanah mineral tipe luapan B (pH=4,2) (Gambar 3). Menurut Marschner (2012), bahwa kemasaman tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena tingginya konsentrasi H⁺, meningkatnya konsentrasi Al, menurunnya ketersediaan Ca, Mg, K, P dan Mo. Kondisi tersebut mengakibatkan pertumbuhan akar terhambat, penyerapan air dan unsur hara berkurang.





Gambar 3. Pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan rawa pasang surut

Sumber: Pujiwati *et al.* 2016

Husen (2009) menyatakan bahwa satu mikroba ada yang memiliki kemampuan lebih dari satu kategori fungsi sehingga fungsinya dapat sebagai pemacu tumbuh, penyedia hara (fungsi langsung) dan pengendali pathogen (fungsi tidak langsung) yang satu sama lain tidak bisa dipisahkan. Tanaman yang perakarannya berkembang dan tumbuh dengan baik tidak mudah terserang pathogen (penyakit) dan sebaiknya tanaman yang terserang patogen tidak akan tumbuh dengan baik walaupun unsur hara yang tersedia cukup.

Menurut Ohyama *et al.* (2017), bahwa fiksasi nitrogen seringkali tidak cukup untuk menunjang pertumbuhan kedelai yang baik sehingga hasil bijinya rendah. Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme di dalam tanah adalah penggunaan pupuk kimia. Pemberian pupuk N dengan dosis yang tinggi dapat menekan perkembangan bintil akar dan aktivitas fiksasi N_2 serta mempercepat bintil akar *senescen* sehingga hasil biji juga rendah. Pasokan N yang tinggi baik yang berasal dari tanah maupun pupuk mengakibatkan pertumbuhan tajuk yang berlebihan sehingga pembentukan polong berkurang. Oleh karena itu diperlukan pemberian pupuk N dosis rendah dan disebut “starter”, terutama diberikan pada awal pertumbuhan kedelai, dimana fiksasi nitrogen belum berlangsung. Hal ini disebabkan karena setiap tahap pertumbuhan tanaman memerlukan unsur hara N (Bachtar *et al.* 2016).

Inokulasi ganda antara bakteri *Rhizobium japonicum* dengan bakteri pelarut fosfat *Aeromonas punctata* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk NPK di lahan sawah pasang surut, yang sebagian tergolong Endoaquepts dan sebagian lagi tergolong Sulfaquepts di Kecamatan Sragi, Kabupaten Lampung Selatan. Penggunaan pupuk hayati dengan bahan aktif bakteri *Rhizobium japonicum* dengan bakteri pelarut fosfat *Aeromonas punctata* yang dikombinasikan dengan 50% NPK dari dosis standar pada budidaya jenuh air dengan varietas kedelai Anjasmoro dan Argomulyo produksinya setara dengan penggunaan pupuk NPK 100%. Produksi kedelai Anjasmoro dan Argomulyo yang diberi pupuk hayati ini masing-masing adalah 2,798 kg biji ha⁻¹ dan 2,397 kg biji.ha⁻¹. Hasil ini meningkat sebesar 35,1% untuk kedelai Anjasmoro dan 31,7% untuk kedelai Argomulyo dibandingkan sistem budidaya petani yang menggunakan NPK 100% dosis standar (100 kg urea.ha⁻¹, 150 kg SP-36.ha⁻¹ dan 50 kg KCl.ha⁻¹ (Hafif dan Santi, 2016).

Penutup

Fiksasi nitrogen secara hayati merupakan salah satu kunci pengelolaan lahan pertanian berkelanjutan serta meningkatkan produktivitas kedelai yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui penyebab dan mekanisme fiksasi nitrogen secara hayati. Peningkatan fiksasi nitrogen secara hayati dapat dilakukan dengan memanfaatkan inokulan rhizobium introduksi yang infeksi, efektif dan adaptif terhadap lahan rawa pasang surut. Disamping introduksi inokulan, juga praktik pengelolaan yang membuat kondisi lingkungan mendukung pertumbuhan kedelai juga mempunyai pengaruh yang besar terhadap efektivitas simbiotik antara kedelai dan *Rhizobium*. Oleh karena itu, pendekatan bioteknologi menggunakan pupuk mikroba dengan teknologi rendah input diharapkan dapat mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Adillah, R. 2015. Proyeksi Produksi dan Konsumsi Kedelai Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*. 8(1):9-23.
- Agistis, I. dan R. I. Hapsari. 2006. Pengaruh Aplikasi Rhizobium Indigen terhadap Pertumbuhan Kedelai pada Entisol dan Inceptisol. *Buana Sains*. 6(2):171-176.
- Agus, F. dan I. G. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- Alam, F., M. A. H. Bhuiyan, S. S. Alam, T. R. Waghmode, P. J. Kim and Y. B. Lee. 2015. Effect of Rhizobium sp. BARIRGm901 inoculation on nodulation, nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max*) genotypes in gray terrace soil. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 70(10):1660-1668.
- Anwar, K. 2014. Ameliorasi dan pemupukan untuk Meningkatkan Produktivitas Kedelai di lahan gambut. Proseding seminar Nasional inovasi Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi. Banjarbaru 6-7 Agustus 2014.
- Arimurti, K. 2006. Isolasi dan Karakterisasi Rhizobia Asal Pertanaman Kedelai di Sekitar Jember. 1(2):171-176.
- Bachtiar, M. Ghulamahdi, M. Melati, D. Guntoro dan A. Sutandi. 2016. Kebutuhan Nitrogen Tanaman Kedelai pada Tanah Mineral dan Mineral Bergambut dengan Budi Daya Jenuh Air. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 35(3):217-227.
- Barus, J. 2013. Potensi Pengembangan dan Budidaya Kedelai pada Lahan Suboptimal di Lampung. Proseding Seminar Nasional Lahan Suboptimal. Palembang, 20-21 September 2013.
- BBSDLP. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas Penyebaran dan Potensi. Laporan Teknis I/BBSDLP/102014. Edisi ke-1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor. 56 hal
- Cartroux, G., A. Hartman and C. Revelin. (2001). Trends in Rhizobial Inoculant Production and Use. *Plant and soil*. 230:21-30.
- Cooper, J dan H Scherer. 2012. *Nitrogen Fixation*. In. Marschner P. editor. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. London, Academic Press. p. 389-408.
- de Luca, M. J. dan M. Hungria. 2014. Plant Densities and Modulation of Symbiotic Nitrogen Fixation in Soybean. *Sci. Agric*. 71(3):181-187.

- Ferguson, B. J. 2013. The Development and Regulation of Soybean Nodules. Intech. <http://dx.doi.org/10.5772/52573>.
- Ferguson, B. J., A. Indrasumunar, S. Hayashi, M. H. Lin, Y. H. Lin, D. Reid, P. M. Gresshoff. 2010. Molecular analysis of Legume Nodule Development and Autoregulation. *Journal of Integrative Plant Biology*. 52(1).
- Furseth, B. J., S. P. Conley dan J. M. Ane. 2012. Soybean Response to soil Rhizobia and Seed-applied Rhizobia Inoculants in Wisconsin. *Crop Science Society of America*. Abstract.
- Ghulahmahdi, M., S. R. Chaerunisa, I. Lubis dan P. Taylor. 2016. Response of five Varietas under Saturated Soil Culture and Temporary Flooding on Tidal Swamp. *Prosedia Environmental Sciences*. 32:87-93.
- Gwata, E.T., D. S. Wofford, K. J. Boole dan H. Mushoriwa. 2003. Determination of effective nodulation in early juvenyl soybean plants for genetic and biotechnology studi. *African Journal of Biotechnology*. 2(11):417-420.
- Gibson, K. E., H. Kobayashi dan G. C. Walker. 2008. Molecular determinant of symbiotic chronic infection. *Annu Rev Genet*. 42:413-441.
- Hafif, B dan L. P. Santi. 2016. Optimasi produksi kedelai (*Glycine max* L. Merr) melalui aplikasi pupuk hayati dan budidaya jenuh air di lahan rawa. *Menara perkebunan*. 84(2):88-97.
- Hardarson, G., S. K. A. Danso. 1989. Nitrogen Fixation in Soybean (*Glycine Max* L. Merrill) as Affected by Nodulation Patterns. *Soil Biology and Biochemistry*. 22(6):783-787.
- Haryono. 2013. *Lahan Rawa Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. IAARD Press. 142p.
- Havlin, J. L., S. L. Tisdale, J. D. Beaton & W. L. Nelson. 2012. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Seventh Edition. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Husen, E. 2009. Telaah efektivitas pupuk hayati komersial dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Proseding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumberdaya Lahan*. Buku II: Teknologi Konservasi, Pemupukan dan Biologi Tanah. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Jitsuyama, Y. 2015. Morphological root responses of Soybean to Rhizosphere Hypoxia Reflect Waterlogging Tolerance. *Canadian Journal of Plant Science*. 95(5). Abstract.

- Kandel, H. 2014. Soybean and rhizobia: Amutually beneficial relationship. <https://www.agroprofessional.com>.
- Koratar, S. 2018. Mechanism of Biological Nitrogen Fixation. biologydiscussion.com. Diakses 29 April 2018.
- Kriswantoro, H. , N. Muniarti, M. Ghulamahdi dan K. Agustina. 2012. Uji Adaptasi Varietas Kedelai di Lahan Kering, Kabupaten Musi Rawas. Sumatera Selatan. Prosiding Symposium dan Seminar Bersama PERAGI-PERHORTI_PERIPI-HIGI mendukung Kedaulatan pangan dan energy yang Berkelanjutan. 281-285.
- Koesrini, K. Anwar. Dan E. Berlian. Penggunaan Kapur dan Varietas Kedelai Adaptif untuk Meningkatkan Hasil Kedelai di Lahan Sulfat Masam Aktual. Berita Biologi. 14(2); 155-161
- Kuswantoro, H. 2010. Strategi Pembentukan Varietas Unggul Kedelai Adaptif Lahan Pasang Surut. Buletin Palawija. No. 19:38-46.
- Kuswantoro, H., R. T. Hapsari, A. Sulistyo dan A. Supeno. 2017. Potential yield of tidal swamp-adaptive soybean promising lines. Legume research. 40(3):514-519.
- Kuykendall, D., J. M. Young, E. Martinez-Romero, Allenken dan F. Sawada. 2015. Bergeys Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. John Wiley & Sons.
- Lakitan, B. dan N. Gofar. 2013. Kebijakan Inovasi Teknologi untuk Pengelolaan Lahan Soboptimal Berkelanjutan. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal.
- Lin, M. H., P. M. Gresshoff dan B. J. Ferguson. 2012. Systemic Regulation of Soybean Nodulation by Acidic Growth Condition. Plant Physiology. 160 (4):2028-2039.
- Manshuri, A. G. 2015. Optimasi pemupukan NPK pada Kedelai untuk Mempertahankan Kesuburan Tanah dan Hasil Tinggimdi Lahan Sawah. IPTEK TANAMAN PANGAN. 7(1): 38-46.
- Maria, E., C. Freeman & R. David. 2002. Impact of pH and redox potential changes on acidic sulphate soils. Anual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering.
- Marschner, P. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3^{ed}. Elsevier. Oxford. USA.
- Martani, E., S. Marino, D. Indradewa dan A. Supriyo. 2011. Isolation and Selection of Rhizobium Tolerant to Pesticides and Aluminium from Acid Soils in Indonesia. J. Trop. Soils. 16(1):47-54.
- Miransari, M. 2016. Soybean and Acidity Stress. Environmental Stresses in Soybean Production. Soybean production. 2:229-250. (Abstract).

- Moora, M. L., Alfaro, M. A., Jarvis, S. C., Demanet, R., & Cartes, P. (2006). Soil aluminium availability in Andisols of Southhern Chile and its effect on forage production and animal metabolism. *Soil Use and Management*, 22:95-101. DOI: 10.1111/i.1475-2743.2006.00011x.
- Mulyadi, A. 2012. Pengaruh Pemberian Legin, Pupuk NPK (15:15:15) dan urea pada Tanah Gambut terhadap Kandungan N, P, Total Pucuk dan Bintil Akar kedelai (glycine max (L) Meer). *Kaunia VIII* (1):21-29.
- Noya, A. I., M. Ghulamahdi, D. Sopandie, A. Sutandi dan M. Melati. 2014. Pengaruh Kedalaman Muka Air dan Amelioran terhadap Produktivitas Kedelai di lahan sulfat masam. *Pangan*. 23(2):120-133.
- Ohshima, T., K. Tewari, S. Ishikawa, K. Tanaka, S. Kamiyama, Y. Ono, S. Hatano, N. Ohtake, K. Sueyoshi, H. Hasegawa, T. Sato, S. Tanabata, Y. Nagumo, Y. Fujita dan Y. Takahashi. 2017. Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a new Fertilization technique to Promote nitrogen fixation and seed Yield. *In Soybean-the basic of Yield biomass and Productivity*. INTECH. p.153-185.
- Okazaki, S., N. Nukui, M. Sugawara dan K. Minamisawa. 2004. Rhizobial Strategies to Enhance Symbiotic Interactions: Rhizobitoxine and 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase. *Microbes Environ*. 19 (2):99-111.
- Ott, T., J. T. van Dongen dan C. Gunther. 2005. Symbiotic leghaemoglobin are crucial for nitrogen fixation in legume root nodules but not for general plant growth and development. *Curr Biol* 15:531-535.
- Panda, S. K., Singha, L. B., & Khan, M. H. (2003). Does aluminium phytotoxicity induce oxidative stress in greengram (*Vigna radiata*)? *Bulg. J. Plant Physiol*, 29:77-86. www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-29/03-1-2-77-86.pdf.
- Pommeresche dan Hansen. 2017. Examining root nodule activity on legumes. *FertilCrop Technical Note*.
- Pujiwati, H., M. Ghulamahdi, S. Yahya, S. A. Aziz dan O. Haridjaja. 2015. Efisiensi Pengapuran dengan Amelioran Air Gambut Memperbaiki Adaptasi Kedelai Hitam (*Glycine soja*) terhadap Cekaman Al dan Fe di Lahan Pasang Surut. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. Palembang 8-9 Oktober 2015.
- Purwaningsih, S. 2015. Pengaruh Inokulasi *Rhizobium* terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine Max L*) varietas Wilis di rumah Kaca. *Berita Biologi*. 14(1):
- Solomon, T., L. M. Pant dan T. Angaw. 2012. Effects of Inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* Strains on Nodulation, Nitrogen Fixation, and Yield of Soybean (*Glycine Max L. Merrill*) Varieties

- on Nitisols of Bako, Western Ethiopia. ISRN Agronomy. 8p. doi:10.5402/2012/261475.
- Somasegaran, P & H. J. Hoben. 1994. *Handbook for Rhizobium*. Springer-Verlag. New York.
- Subha Rao, N. S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhannya*. 2nd ed. UI Press. Jakarta. 76p.
- Sudarjo, M. 2007. Teknologi Rhizobium pada Tanaman Kedelai. Dalam Kedelai, Teknik Produksi dan Pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. p.345-374.
- Suryantini. 2015. Pembintilan dan Penambatan Nitrogen pada Tanaman Kacang Tanah. In. A. Kasno, A. A. Rahmianna, I. M. J. Mejaya, D. Harnowo dan S. Purnomo (editor). *Kacang Tanah: Inovasi Teknologi dan Pengembangan Produk*. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. 448 hal.
- Tombe. 2008. Sekilas Pupuk Hayati. Direktorat Perbenihan dan Sarana Produksi. <http://dasar2ilmutanah.blogspot.com>.
- Wijanarko, A. dan A. Taufiq. 2016. Effect of Lime Application on Soil Properties and Soybean Yield on tidal Land. *Agrivita*. 38(1):14-23.
- Wiratama, A. 2010. Eksplorasi Bakteri Potensial Sebagai Pupuk Hayati Pada Lahan Gambut Bekas Terbakar Dan Lahan Gambut Tidak terbakar dari Riau. Skripsi. Departemen Silvikultur. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Yan, S., X. Q. Du, F. Wu, L. Li, C. Y. Li dan Z. Meng. 2014. Proteomics Insight Into The Basis of Interspecific Facilitation for Maize (*Zea mays*) in faba bean (*Vicia faba*)/maize Intercropping. *J. Proteomics*. 109:111-124.
- Zul, D., B. L. Fibriarti, M. Y. Komariah, S. Halimah, dan S. Komariah. 2013. Dampak Alih Fungsi Lahan terhadap Biomasa Mikroba: Studi kasus di Areal Bukit Batu, Riau. Proseding Smirata FMIPA. Universitas Lampung. 173-179.

EFEKTIVITAS POLA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS PADI DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Izhar Khairullah dan Arifin Fahmi

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra)
izhar.balittra@gmail.com

Ringkasan

Lahan rawa pasang surut memegang peranan penting dan sangat strategis dalam peningkatan produksi tanaman pangan, termasuk padi. Lahan ini tersedia cukup luas di Indonesia dengan karakteristik beragam baik dilihat dari gatra tipologi lahan maupun tipe luapan. Dari karakteristik lahan tersebut dapat ditentukan pola tanamnya yang sesuai dan efektif sehingga memberikan keuntungan bagi petani. Pola tanam dapat digunakan sebagai landasan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman sekaligus memberikan keuntungan. Di lahan rawa pasang surut, pola tanam dapat beragam baik monokultur maupun polikultur. Pola tanam monokultur diterapkan pada sehamparan lahan sawah dengan waktu tanam yang berbeda atau berurutan. Pola tanam polikultur diterapkan dengan menanam dua jenis atau lebih tanaman yang berbeda dalam hamparan sawah yang sama pada waktu yang sama. Pola tanam monokultur padi di lahan rawa pasang surut dengan menerapkan waktu berurutan (*sequential planting*) mencakup: (1) padi unggul-padi unggul, (2) padi unggul-padi lokal (sawit dupa), dan (3) padi lokal sekali setahun. Sedangkan penerapan pola tanam polikultur di lahan rawa pasang surut harus didahului dengan melakukan penataan lahan untuk membuat surjan. Surjan terbentuk dengan membuat tembokan atau guludan (*raise bed*) dan tabukan (*sunken bed*) sehingga kondisi lahan dapat ditanami dengan jenis tanaman yang berbeda. Pola tanam sistem surjan dapat ditanami padi pada bagian bawah/tabukan sedangkan tanaman hortikultura seperti jeruk dan/atau tanaman palawija (kacang-kacangan dan jagung) ditanam di bagian atas/tembokan. Berbagai jenis pola tanam ini memiliki kelebihan dan

kekurangannya masing-masing, baik dilihat dari aspek teknis, ekonomis, maupun sosial. Petani akan menerapkan pola tanam yang dianggap memberikan keuntungan bagi mereka.

Pendahuluan

Lahan rawa pasang surut ke depan akan menjadi salah satu lahan strategis dalam peningkatan produksi tanaman pangan, khususnya padi. Hal ini karena terjadinya penciutan luas lahan pertanian akibat konversi lahan ke non-pertanian, keterbatasan lahan untuk ekstensifikasi pertanian, tingginya kebutuhan input produksi terutama pada lahan-lahan suboptimal dan fragmentasi lahan yang menyebabkan semakin sempitnya penguasaan lahan petani menambah panjangnya permasalahan yang harus ditanggulangi dan berdampak terhadap penurunan produktivitas pertanian (Suyamto dan Zulkifli 2010; Mulyani dan Hidayat 2010).

Lahan rawa pasang surut merupakan salah satu sumberdaya lahan suboptimal yang cukup luas dan tersebar di Indonesia, terutama di Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua. Lahan ini berpotensi untuk dijadikan lahan pertanian, namun belum termanfaatkan secara optimal. Selama ini, peranan lahan rawa pasang surut terhadap ketahanan pangan nasional masih terbatas dan belum menonjol, peranan lahan rawa belum signifikan. Padahal potensi dan peluang peningkatan produksi pangan nasional melalui pemanfaatan dan optimalisasi pengelolaan lahan rawa sangat besar dan prospektif. Oleh sebab itu reklamasi lahan rawa pasang surut merupakan langkah strategis dalam upaya mengatasi masalah di atas dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam secara optimal untuk mengimbangi penciutan lahan pertanian, peningkatan taraf hidup masyarakat, serta pemerataan pembangunan antar wilayah.

Potensi luas lahan rawa pasang surut di Indonesia adalah 20,1 juta ha, yang dapat dibagi berdasarkan tipologi lahan dan tipe luapan. Secara garis besar berdasarkan tipologi lahan, lahan rawa pasang surut diklasifikasikan menjadi tipologi lahan potensial, lahan sulfat masam, lahan gambut/bergambut, dan lahan salin. Berdasarkan tipe luapan, lahan rawa pasang surut dibagi menjadi 4 tipe, yaitu tipe A, B, C, dan D (Widjaya-Adhi *et al.* 1992). Tipe luapan A dipengaruhi pasang besar dan pasang kecil, tipe B hanya dipengaruhi pasang besar, tipe C tidak dipengaruhi pasang besar maupun pasang kecil, tetapi muka air tanahnya < 50 cm, dan tipe D juga

tidak dipengaruhi pasang besar maupun pasang kecil dan muka air tanahnya >50 cm. Secara zonasi, tipe luapan A berada paling dekat dengan bibir pantai atau sungai besar, sedangkan tipe D terletak paling jauh. Masing-masing kategori tipologi lahan dan tipe luapan memiliki sifat spesifik, sehingga pendekatan untuk optimalisasi lahannya pun menjadi sangat spesifik pula.

Petani di lahan rawa pasang surut pada umumnya menanam padi sekali setahun, meskipun secara agronomis dapat dilakukan tanam dua kali. Salah satu kendalanya adalah terbatasnya tenaga kerja, sehingga untuk menggarap lahannya, banyak petani terpaksa mengelola usahatani secara sederhana. Sebagian besar petani masih bertahan dengan varietas lokal karena penanaman dapat dilakukan dengan cara dicil dan bibit dapat dipindahtanam sampai tiga kali sambil menunggu air surut dan untuk mengatasi kekurangan tenaga kerja. Padahal lahan rawa pasang surut berpotensi untuk ditanami multi komoditas tidak hanya padi, seperti tanaman palawija (jagung, kedelai, kacang tanah) dan tanaman hortikultura (jeruk, tanaman sayuran) serta tanaman perkebunan (karet, kopi, kelapa, kelapa sawit).

Untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman diperlukan penanaman multi komoditas dengan menerapkan pola tanam di lahan rawa pasang surut. Pola tanam adalah usaha penanaman pada sebidang lahan dengan mengatur tata letak dan urutan tanaman selama periode waktu tertentu termasuk masa pengolahan tanah dan masa tidak ditanami selama periode tertentu. Pola tanam dapat dibagi tiga macam, yaitu: monokultur, polikultur, dan rotasi tanaman (Anwar 2012).

Pola tanam monokultur dengan membudidayakan hanya satu jenis tanaman dalam satu lahan pertanian selama satu tahun, satu atau beberapa musim tanam. Pola tanam polikultur dengan menanam lebih dari satu jenis tanaman pada suatu lahan pertanian dalam waktu satu tahun, dapat dalam satu waktu atau beberapa waktu tetapi dalam satu tahun. Pola tanam polikultur terbagi atas tumpang sari, tumpang gilir, tanaman bersisipan, dan tanaman campuran. Rotasi (pergiliran) tanaman dengan menanam dua jenis atau lebih tanaman secara bergiliran pada lahan yang sama dalam periode waktu tertentu. Pola tanam dapat digunakan sebagai salah satu kinerja untuk meningkatkan produktivitas lahan, termasuk pada lahan yang sempit.

Pola tanam di lahan pasang surut dapat bervariasi, ada petani yang menerapkan pola tanam monokultur, seperti padi saja satu kali setahun atau dua kali setahun, ada pula polikultur dengan menanam dua jenis tanaman atau lebih. Untuk menerapkan polikultur di lahan pasang surut diperlukan upaya penataan lahan, seperti sistem surjan pada tipologi luapan B atau C. Efektivitas suatu pola tanam ini di lahan pasang surut dapat dilihat dari kelebihan dan kekurangannya baik dilihat dari aspek teknis, ekonomis, maupun sosial.

Potensi dan Karakteristik Lahan Pasang Surut

Lahan rawa pasang surut merupakan bagian dari lahan rawa atau lahan basah yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Luas lahan rawa pasang surut di Indonesia diperkirakan 20,1 juta ha, yang tersebar di Sumatera seluas 7,15 juta ha, Kalimantan 5,94 juta ha, Sulawesi 371 ribu ha, Maluku dan Nusa Tenggara 237 ribu ha, dan Papua 6,42 juta ha. Dari luasan tersebut terdiri atas 2,07 juta ha lahan potensial, 6,70 juta ha lahan sulfat masam, 10,89 juta ha lahan gambut, dan 0,44 juta ha lahan salin. Sekitar 9,53 juta ha lahan rawa pasang surut berpotensi untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian, namun baru sekitar 4,18 juta ha yang telah direklamasi, baik oleh penduduk lokal maupun pemerintah. Potensi sawah di lahan rawa pasang surut seluas 2,98 juta ha dengan sebaran masing-masing 354 ribu ha di Sumatera, 730 ribu ha di Kalimantan, 1,89 juta ha di Papua, dan 1,4 juta ha di Sulawesi (Subagyo 2006; Nugroho dan Suriadikarta 2010, Nugroho *et al.* 1993; Subagyo dan Widjaja-Adhi 1998; Suriadikarta dan Sutriadi 2007; Direktorat Jenderal Pengairan 1998).

Karakteristik lahan rawa pasang surut bersifat khas, baik ditinjau dari aspek tanah maupun aspek hidrologi. Kedua aspek tersebut mempengaruhi permasalahan yang muncul sehingga mempengaruhi potensi lahan tersebut. Berdasarkan jenis tanah, lahan rawa pasang surut dibagi ke dalam 4 tipologi lahan utama, yaitu lahan potensial, lahan sulfat masam, lahan gambut/bergambut, dan lahan salin (Subagyo 2006). Lahan potensial adalah lahan mineral yang mempunyai kemampuan berproduksi optimal dengan tanpa atau sangat sedikit faktor pembatas dalam pemanfaatannya, $\text{pH} > 4$. Berdasarkan karakteristiknya, dapat dibedakan atas lahan potensial-1 dan lahan potensial-2. Lahan potensial-1 merupakan lahan potensial yang mempunyai lapisan sulfidik pada kedalaman > 100 cm, sedangkan lahan

potensial-2 pada kedalaman >50 cm. Lahan tersebut berada di sepanjang aliran sungai yang sering mengalami luapan air pasang, dan termasuk tipe luapan A atau A/B. Lahan potensial bisa juga berasal dari lahan sulfat masam yang mengalami pencucian intensif sehingga lapisan 0-50 cm mempunyai pH >4,0, umumnya tipe luapan B atau C.

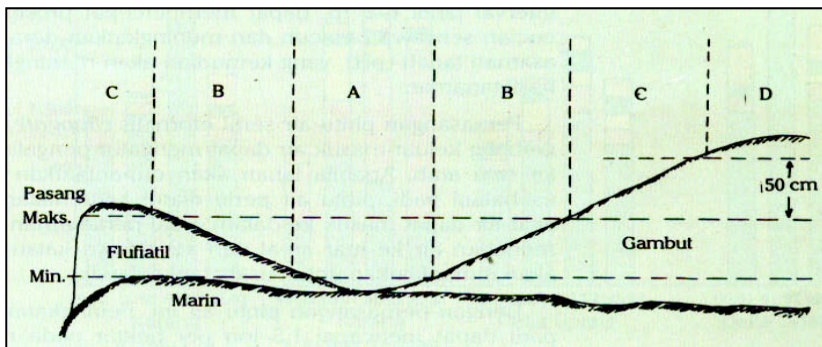
Lahan sulfat masam adalah lahan yang mempunyai lapisan pirit pada kedalaman 0-100 cm, yang dibagi menjadi lahan sulfat aktual dan lahan sulfat masam potensial. Lahan sulfat masam aktual, mempunyai lapisan sulfurik 15 cm atau lebih, pH tanahnya < 3,5 akibat adanya oksidasi pirit. Lahan sulfat masam aktual dibagi menjadi lahan sulfat masam aktual-1 (SMA-1), dengan pH 3,5-4,0 dan kedalaman lapisan sulfurik < 100 cm, dan lahan sulfat masam aktual-2 (SMA-2) dengan pH < 3,5 dan, kedalaman lapisan sulfurik < 50 cm. Lahan sulfat masam aktual umumnya kahat hara makro (P, K, Ca, dan Mg) dan mikro (Zn, Cu dan Mo), serta kelarutan H^+ , SO_4^{2-} , Al dan Fe tinggi sehingga dapat meracuni tanaman. Lahan sulfat masam aktual berada pada tipe luapan C dan D yang tidak terluapi air pasang. Lahan sulfat masam potensial, mempunyai bahan sulfidik (pirit) pada kedalaman < 50 cm, pH tanahnya >4,0, terdiri atas lahan sulfat masam potensial bergambut dan lahan sulfat masam potensial. Lahan sulfat masam potensial bergambut, mempunyai lapisan gambut 20-50 cm. Perbedaan mendasar antara lahan sulfat masam aktual dengan lahan sulfat masam potensial terletak pada nilai pH, P, Kejenuhan Al, K dan Na, dimana pada lahan sulfat masam aktual, nilai pH dan P lebih rendah, dan nilai kejenuhan Al, K, dan Na lebih tinggi (Subagyo dan Widjaja-Adhi 1998; Anwar *et al.* 2014).

Lahan gambut mempunyai lapisan gambut >50 cm dengan kadar C-organik >12%. Berdasarkan ketebalannya, lahan gambut dibedakan menjadi lahan gambut dangkal dengan ketebalan 50-100 cm, gambut sedang > 100-200, gambut dalam > 200-300 cm, dan gambut sangat dalam >300 cm. Tiap kelompok kedalaman gambut tersebut dapat dipilah lagi menjadi gambut, gambut bersulfida, dan gambut bersulfat. Lahan gambut bersulfida memiliki lapisan sulfidik pada kedalaman < 100 cm, sedangkan lahan gambut bersulfat memiliki lapisan sulfurik pada kedalaman < 50 cm. Gambut juga dibagi berdasarkan tingkat dekomposisi (gambut fibrik, hemik, dan saprik), tingkat kesuburan (gambut oligotrofik, mesotrofik, dan eutrofik), proses pembentukan (gambut topogen, ombrogen, dan

pegunungan), dan bahan sedimen substratum (gambut pantai, transisi, dan pegunungan) (Andriesse 1988).

Lahan salin adalah lahan yang sering mengalami intrusi air laut, berada pada zona payau atau kawasan pantai. Lahan salin dibagi menjadi dua, yaitu lahan agak salin yang dicirikan oleh nilai ESP $< 15\%$ dan pH $> 6,0$ pada kedalaman < 150 cm; dan lahan salin dicirikan oleh nilai ESP $> 15\%$ dan pH $> 6,0$ pada kedalaman < 50 cm. Lahan salin tinggi nilai DHL (daya hantar listrik) dan ion Na, serta umumnya melumpur. Pada musim kemarau, dapat terjadi intrusi air laut yang menyebabkan matinya tanaman padi karena terjadinya plasmolisis (Anwar *et al.* 2014)

Lahan rawa pasang surut dibagi berdasarkan tipe luapan air dibagi menjadi 4 tipe pada musim hujan, yaitu tipe A, B, C, dan D (Widjaya-Adhi *et al.* 1992). Tipe luapan A, adalah wilayah pasang surut yang selalu mendapat luapan pasang, baik pasang besar maupun pasang kecil; tipe B wilayah pasang surut yang mendapat luapan hanya saat pasang besar; tipe C wilayah pasang surut yang tidak mendapat luapan pasang, air pasang masuk melalui rembesan dan mempunyai muka air tanah < 50 cm dari permukaan tanah; dan tipe D wilayah pasang surut yang tidak mendapat pengaruh pasang sama sekali dan muka air tanah mencapai kedalaman > 50 cm dari permukaan tanah. Selain tipe luapan di atas juga sering dikenal luapan peralihan A/B, B/C, dan C/D jika pada musim hujan lahan terluapi air pasang, tetapi saat kemarau tidak terluapi.



Gambar 1. Ilustrasi pembagian lahan rawa pasang surut berdasarkan hidrotopografi

Masalah dalam Pemanfaatan Lahan Pasang Surut

Beberapa masalah di lahan rawa pasang surut yang mempengaruhi produktivitas tanaman adalah kemasaman tanah yang tinggi, kelarutan unsur beracun, tingkat kesuburan yang rendah, salinitas tinggi, lapisan pirit yang dangkal, gambut tebal dan mentah, serta banjir serta kekeringan (Widjaja Adhi *et al.* 2000; Noor 2004; Anwar *et al.* 2014). Sumber kemasaman tanah di lahan rawa pasang surut sulfat masam adalah adanya lapisan pirit yang jika teroksidasi menghasilkan ion hidrogen sehingga sangat masam ($\text{pH} < 3,5$) dan lahan tidak dapat dimanfaatkan. Namun, jika lahan mempunyai $\text{pH} > 3,5$ masih dimanfaatkan tanaman padi dengan menggunakan padi rawa (lokal) toleran kemasaman, pengelolaan air yang tepat, dan pemberian kapur serta bahan organik.

Kemasaman tanah yang tinggi menyebabkan kelarutan Al dan Fe meningkat sampai melewati ambang batas toleransi tanaman. Keracunan Al diatasi dengan penggunaan varietas toleran keracunan Al, penggenangan dan pencucian, pemberian kapur dan bahan organik. Keracunan Fe pada tanaman padi terjadi karena adanya penggenangan sehingga Fe^{3+} tereduksi menjadi Fe^{2+} . Keracunan Fe dapat diatasi dengan penggunaan varietas toleran keracunan Fe dan pengaturan air. Selain itu dapat terjadi keracunan H_2S dan asam-asam organik dalam kondisi tergenang cukup lama. Keracunan tersebut dapat diatasi dengan pengelolaan air yang tepat sehingga H_2S dan asam-asam organik tersebut tercuci.

Pada tanah sulfat masam, ketersediaan hara makro berkurang seperti N, P, K, Ca, dan Mg maupun hara mikro seperti B. Kahat N terjadi karena terhambatnya proses mineralisasi bahan organik, kahat P karena pembentukan kompleks Al/Fe-P, dan kahat K, Ca dan Mg karena hilang melalui pencucian. Sedangkan kahat B karena proses pengendapan. Pada tanah gambut umumnya kekurangan hara karena sumber hara dari tanaman yang tumbuh di lahan gambut miskin, hara mudah tercuci karena porositas yang tinggi, terjadinya khelatisasi asam-asam organik terhadap unsur mikro sehingga sering terjadi kahat Fe, Cu, Zn, dan Si. Pada lahan salin yang kaya akan garam, air asin masih mampu meluapi lahan atau merembes ke bagian perakaran, mengakibatkan hara N dan K mudah tercuci. Pada musim kemarau panjang, air pasang dari laut bisa masuk jauh ke pedalaman. Nilai ambang batas salinitas air untuk tanaman secara umum adalah 4 dS/m. Untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan:

(a) membangun tanggul yang menghambat intrusi air laut, (b) membuat pintu penutup pada saluran yang sering mengalami intrusi air laut, (c) bertanam sesuai bulan tanam agar terhindar dari intrusi air laut dan (d) menggunakan varietas toleran salinitas. Jika masalah lahan ini sudah bisa dikuasai, maka berbagai teknologi lahan pasang surut sulfat masam dapat diterapkan seperti tata air, pengelolaan hara dan tanaman, dan teknologi budidaya lainnya (Khairullah 2016). Upaya peningkatan produktivitas padi dapat dilakukan melalui perbaikan lingkungan tumbuh, penggunaan varietas unggul yang adaptif dan potensi hasil tinggi, peningkatan indeks pertanaman, perluasan areal tanam, penerapan sistem tanam jarwo super, penekanan kehilangan hasil pascapanen, dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (Khairullah dan Nurita 2017).

Lapisan pirit yang dangkal (< 50 cm) dan lapisan gambut yang tebal (> 100 cm) serta gambut mentah (fibrik) merupakan masalah dalam pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk pertanaman. Lapisan pirit yang dangkal sangat rentan teroksidasi dan mengakibatkan tanah menjadi sangat masam ($\text{pH} < 3,5$) sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Gambut tebal dan gambut mentah umumnya sangat miskin hara dan efisiensi pemupukan sangat rendah, akibatnya tingkat produktivitas tanaman sangat rendah.

Pembuatan saluran air dari sungai utama ke lahan rawa pasang surut mengakibatkan air pasang mampu menjangkau lebih jauh. Air pasang yang masuk ke areal sawah berfungsi sebagai sumber air untuk optimalisasi lahan dan juga perbaikan kualitas tanah. Reklamasi lahan perlu diikuti dengan pembuatan saluran irigasi/drainase sehingga penataan dan pengelolaan air di kawasan lahan rawa pasang surut mampu menunjang kebutuhan tanaman dan memperbaiki kualitas tanah.

Penyusutan ketebalan gambut (*subsidence*) dapat memunculkan lapisan mineral dibawahnya, yang umumnya tanah mengandung pirit atau lapisan pasir. Subsistensi tersebut dapat terjadi karena proses dekomposisi bahan gambut, kebakaran, pemadatan akibat alat berat, dan pengolahan tanah. Proses dekomposisi akan semakin cepat pada kondisi kering karena adanya oksigen lebih disukai oleh mikroba perombak. Hasil penelitian Taher dan Zaini (1989) menunjukkan bahwa semakin tebal gambut semakin besar nilai subsidensinya. Untuk mengurangi laju subsidensi tersebut dapat dilakukan dengan pengaturan air agar lahan gambut selalu/sering dalam

keadaan lembab atau tergenang, menghindari penggunaan alat berat dan pengolahan tanah dengan traktor. Salah satu sifat tanah gambut adalah kering tak balik (*irreversible drying*) sehingga tidak mampu menyerap air sesuai potensinya. Hal ini akan mengakibatkan penurunan kemampuan dalam menyimpan, memegang dan melepas air. Untuk mencegahnya dibutuhkan pengaturan air agar gambut selalu lembab dengan mengatur tinggi muka air di saluran.

Pola Tanam di Lahan Rawa Pasang Surut

Definisi dan Manfaat Pola Tanam

Pola tanam adalah usaha penanaman pada sebidang lahan dengan mengatur susunan tata letak dan urutan tanaman selama periode waktu tertentu termasuk masa pengolahan tanah dan masa tidak ditanami selama periode tertentu. Pola tanam ada tiga macam, yaitu monokultur, polikultur, dan rotasi tanaman (Anwar 2012). Pola tanam monokultur adalah pertanian dengan menanam satu jenis tanaman saja, seperti ditanami padi, jagung, atau kedelai. Penanaman monokultur menyebabkan terbentuknya lingkungan pertanian yang tidak mantap. Pola tanam polikultur dengan menanam lebih dari satu tanaman, yang dibagi dalam: (a) tumpang sari (*intercropping*), (b) tanaman bersisipan (*relay cropping*), (c) tanaman campuran (*mixed cropping*), (d) tumpang gilir (*multiple cropping*), (e) tanaman bergiliran (*sequential planting*).

Tumpang sari adalah penanaman lebih dari satu tanaman pada waktu dan/atau periode tanam yang bersamaan pada lahan yang sama (Thahir 1999). Tanaman bersisipan merupakan pola tanam dengan menyisipkan satu atau beberapa jenis tanaman selain tanaman pokok (dalam waktu tanam yang bersamaan atau berbeda). Tanaman bersisipan hampir sama dengan tumpang sari, tetapi pada tanaman bersisipan penanaman bisa dilakukan tidak serentak asal daur hidup tanaman pertama belum habis sebelum tanaman yang lain ditanam. Pola tanam campuran merupakan penanaman jenis tanaman campuran yang ditanam pada lahan dan waktu yang sama atau jarak waktu tanam yang singkat, tanpa pengaturan jarak tanam dan penentuan jumlah populasi. Kegunaan sistem ini dapat melawan atau menekan kegagalan panen total (Kustantini 2012). Tanaman campuran adalah tumpang sari yang tidak memperhatikan jarak tanam.

Tumpang gilir (*multiple cropping*) adalah teknik budidaya tanaman dengan menanam lebih dari satu tanaman pada satu musim, kemudian dilanjutkan menanam lebih dari satu jenis tanaman pada musim berikutnya dengan lahan yang sama dalam waktu satu tahun. Tumpang gilir adalah tumpang sari yang dilakukan secara berurutan dan lebih dari satu periode tanam. Tanaman bergiliran (*sequential planting*) adalah menanam lebih dari satu jenis komoditas yang dilakukan pada satu lahan pertanian dalam waktu yang tidak bersamaan (bergiliran). Komoditas lain baru ditanam setelah satu komoditas dipanen. Jadi, dalam satu periode tanam hanya menanam satu jenis komoditas.

Rotasi (pergiliran) tanaman (*crop rotation*) merupakan penanaman dua jenis atau lebih secara bergiliran pada lahan penanaman yang sama dalam periode waktu tertentu. Seperti tanaman semusim yang ditanam secara bergilir dalam satu tahun, seperti tanaman jagung, padi, dan ubi kayu. Rotasi tanam dilakukan secara beruntun sepanjang tahun dengan mempertimbangkan faktor lain untuk mendapat keuntungan maksimum. Faktor-faktor tersebut adalah pengolahan tanah yang bisa dihemat dan kerusakan tanah yang dapat dihindari. Hasil panen tanaman secara beruntun dapat memperlancar penggunaan modal dan meningkatkan produktivitas lahan serta mencegah serangan hama dan penyakit yang meluas. Lahan yang selalu tertutup tanaman, sangat membantu mencegah terjadinya erosi. Sisa komoditas tanaman yang diusahakan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hijau.

Dari berbagai pola tanam tersebut, pola rotasi tanam merupakan pola tanam yang paling sesuai dengan kondisi lahan sawah, misalnya pada tipe luapan C. Hal ini dikarenakan pemilihan komoditas untuk dirotasikan dengan tanaman padi sebagai tanaman pokok dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan air komoditas lain seperti jagung dan kacang-kacangan. Pola rotasi juga dapat menekan perkembangan hama dan penyakit yang mengganggu tanaman yang berakibat pada penurunan produktivitas tanaman.

Pola tanam dapat digunakan sebagai landasan untuk meningkatkan produktivitas lahan. Manfaat lainnya dari penerapan pola tanam antara lain efisiensi tenaga kerja lebih tinggi, banyaknya tanaman per hektar lebih mudah diawasi, hasil tanaman lebih banyak dan beragam, risiko kegagalan panen dapat berkurang, optimalisasi penggunaan tanah, air, dan energi sinar

matahari lebih tinggi, dapat mengkondisikan stabilitas biologis terhadap serangan organisme pengganggu tanaman.

Penerapan Pola Tanam di Lahan Pasang Surut

Pola tanam di lahan pasang surut terdiri atas beberapa macam, tergantung kondisi lahannya. Tipe luapan lahan rawa pasang surut cukup menentukan pola tanam tersebut yang berhubungan dengan penataan lahan. Di lahan rawa pasang surut, lahan dapat ditata dalam bentuk sawah saja, surjan, atau pun tegalan. Lahan yang ditata sebagai sawah saja dapat ditanami padi dua kali setahun menggunakan varietas unggul, atau varietas unggul- varietas lokal (sistem sekali mewiwit dua kali tanam-Sawit Dupa), ataupun hanya monokultur varietas lokal saja. Lahan yang ditata sebagai surjan, sebagian lahan ditinggikan untuk ditanami palawija atau hortikultura yang tidak tahan genangan air. Lahan yang ditata sebagai tegalan dapat ditanami palawija dan atau padi tadah hujan.

Penataan lahan merupakan kegiatan mempersiapkan lahan yang dilakukan bertujuan untuk membuat lahan sedemikian rupa sehingga lahan tersebut memenuhi syarat sebagai media tumbuh bagi tanaman yang akan dikembangkan (Nazemi *et al.* 2012; Simatupang *et al.* 2014). Penataan lahan di lahan rawa pasang surut berkaitan dengan optimalisasi pemanfaatan dan pelestarian sumberdaya lahannya (Widjaya Adhi dan Alihamsyah 1998). Lahan rawa pasang surut dapat ditata sebagai sawah, surjan, dan tegalan disesuaikan dengan tipe luapan air dan tipologi lahan serta tujuan pemanfaatan lahannya (Tabel 1). Secara umum terlihat bahwa lahan bertipe luapan A, karena selalu terluapi air hendaknya ditata sebagai sawah, sedangkan lahan bertipe luapan B dapat ditata sebagai sawah atau surjan. Lahan bertipe luapan B/C dan C karena tidak terluapi air pasang tetapi air tanahnya dangkal dapat ditata sebagai sawah tadah hujan atau surjan bertahap dan tegalan, sedangkan untuk lahan bertipe luapan D ditata sebagai sawah tadah hujan atau tegalan dan kebun. Penataan lahan sistem surjan dalam usahatani di lahan rawa memegang peranan penting karena memiliki beberapa keuntungan, antara lain: (1) intensitas penggunaan lahan meningkat, (2) beragam produksi pertanian dapat dihasilkan, (3) risiko kegagalan panen dapat dikurangi, dan (4) stabilitas produksi dan pendapatan meningkat.

Tabel 1. Arahan penataan lahan untuk pertanian di lahan rawa pasang surut

Tipologi Lahan	Tipe Luapan			
	A	B	C	D
Lahan Potensial-1 Pirit>100cm	Sawah	Sawah/surjan	Sawah/surjan/ tegalan	Tegalan
Lahan Potensial-2 pirit 50-100 cm	Sawah	Sawah/surjan	Sawah/surjan	Tegalan
Lahan Sulfat Masam Potensial pirit (sulfidik) 0-50 cm	Sawah	Sawah/surjan bertahap	Sawah/surjan bertahap	Rehabilitasi
Lahan Sulfat Masam Aktual pirit (sulfurik) 0-50 cm	--	Sawah/surjan /rehabilitasi	Sawah/tegalan/ rehabilitasi	Rehabilitasi
Gambut dangkal	Sawah	Sawah/surjan	Tegalan berdrainase dangkal	Tegalan berdrainase dangkal
Gambut sedang	Konservasi	Konservasi/ perkebunan	Tanaman tahunan/ perkebunan	Tanaman tahunan/ perkebunan
Gambut dalam	Konservasi	Konservasi/ perkebunan	Tanaman tahunan/ perkebunan	Tanaman tahunan/ perkebunan
Gambut sangat dalam	Konservasi	Konservasi	Konservasi	Konservasi
Salin	Sawah/ Tambak	Sawah/ Tambak	-	-

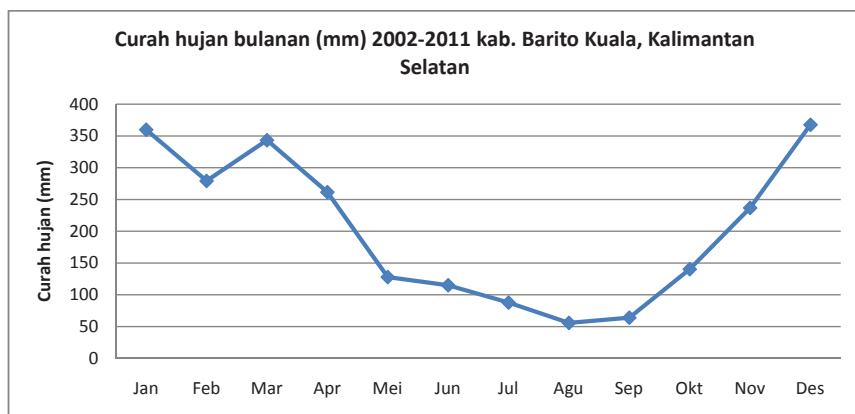
Sumber : Widjaya Adhi (1995) dan Alihamsyah *et al.* (2000).

Pola Tanam Padi dan Efektifitasnya di Lahan Pasang Surut

Pola tanam padi di lahan rawa pasang surut dapat berupa padi-padi menggunakan varietas unggul, varietas unggul kemudian varietas lokal, atau varietas lokal saja. Setiap pola tanam yang diterapkan memiliki keuntungan dan kerugiannya, baik dilihat dari aspek teknis, maupun aspek ekonomis dan sosial. Salah satu kendala dalam optimalisasi lahan dengan pola tanam intensif adalah ketersediaan tenaga kerja. Jika sistem mekanisasi sudah diterapkan petani, maka masalah tenaga kerja ini bisa dimarginalisasi.

(a) Pola padi unggul - padi unggul

Pola tanam padi-padi di lahan rawa pasang surut mengikuti pola curah hujan setempat. Misalnya pada lahan rawa pasang surut di Kabupaten Barito Kuala Kalimantan Selatan, pola curah hujannya dalam 10 tahun (2002-2011) seperti pada Gambar 2. Awal musim hujan dimulai pada bulan Oktober, puncak curah hujan bulan Desember hingga Januari dan kemudian mulai berkurang dan kemarau umumnya jatuh pada bulan Juli sampai September (Gambar 2).



Gambar 2. Pola curah hujan bulanan di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan tahun 2002- 2011

Berdasarkan pola curah hujan tersebut, terdapat peluang untuk meningkatkan intensitas pertanaman (IP) hingga tiga kali dengan menggunakan padi unggul. Meskipun demikian, karena kondisi lahannya dengan fluktuasi air genangan, pertanaman padi unggul-unggul hanya dapat dilakukan dua kali setahun (IP 200). Pertanaman padi pertama dimulai pada awal musim hujan (bulan Oktober), setelah satu atau dua kali turun hujan, benih padi disemai. Kemudian dilakukan penyiapan lahan dan pengaturan tata airnya. Tanam dilakukan pada minggu terakhir bulan Oktober dengan menggunakan jarak tanam jarak legowo 2:1, 4:1, atau jarak tanam 20 cm x 20 cm. Setelah tanam, dilakukan pemeliharaan meliputi pemupukan, penyiangan, dan pencegahan/pengendalian hama dan penyakit. Panen diperkirakan jatuh pada akhir Januari atau awal Februari (Gambar 3). Setelah itu lahan diberokan, karena pada bulan Februari sampai April, kondisi lahan tergenang air cukup tinggi.

Bahan amelioran yang dianjurkan adalah kapur atau dolomite, bertujuan untuk membenahi atau memperbaiki terutama sifat kimia tanah. Dosis kapur/dolomit sebagai bahan amelioran disesuaikan dengan kondisi lahan. Pada lahan bukaan baru dengan tingkat kemasaman tanah ($\text{pH} < 5$) pemberian kapur dibutuhkan sekitar 1,0 sampai 1,5 t kapur/ha, sedangkan pada lahan yang sebelumnya telah dimanfaatkan untuk pertanaman padi dosis kapur diberikan 0,5 t/ha. Pemberian kapur dilakukan setelah pengolahan tanah dengan cara sebar merata di seluruh petakan sawah. Pada pertanaman kedua, pemberian kapur cukup dilakukan sebanyak 0,5 tha.

Dosis pemupukan disesuaikan dengan karakteristik lahannya atau status hara tanahnya. Pemberian pupuk dapat berdasarkan Decision Support System (DSS) Pemupukan Padi Rawa yang aplikasinya dapat dilihat pada internet. Atau menggunakan takaran dengan kisaran $67,5 - 90 \text{ kg N} + 70 - 90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 + 50 - 60 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$. Pupuk N diberikan bertahap dua atau tiga kali. Pemberian pertama satu minggu setelah tanam sebanyak sepertiga atau setengah takaran pupuk N yang bersumber dari urea, bersamaan dengan seluruh dosis pupuk P dan K. Sisa pupuk N diberikan saat umur tanaman 30 hari setelah tanam. Saat ini petani sering memberikan pupuk urea dan pupuk majemuk NPK. Takaran aplikatifnya sekitar 200 kg urea/ha dan 300 kg NPK/ha. Upaya peningkatan efisiensi penggunaan pupuk di lahan rawa pasang surut dilakukan melalui pemberian pupuk yang disesuaikan dengan ketersediaan hara tanah dan varietas tanaman yang ditanam. Beberapa hasil penelitian pengelolaan hara yang dilakukan oleh Balittra diperoleh takaran pupuk untuk tanaman padi seperti pada Tabel 2 (Alwi *et al.* 2014).

Tabel 2. Takaran amelioran dan pupuk pada tanaman padi di lahan pasang surut

Tipologi lahan	Takaran amelioran dan pupuk (kg/ha)					
	Kapur/abu gergajian	N	P_2O_5	K_2O	CuSO_4	ZnSO_4
Potensial	0	45-90	22,5-45	50	-	-
Sulfat masam	1000-3000	67,5-135	45-70	50-75	-	-
Gambut	1000-2000	45	60	50	5	10

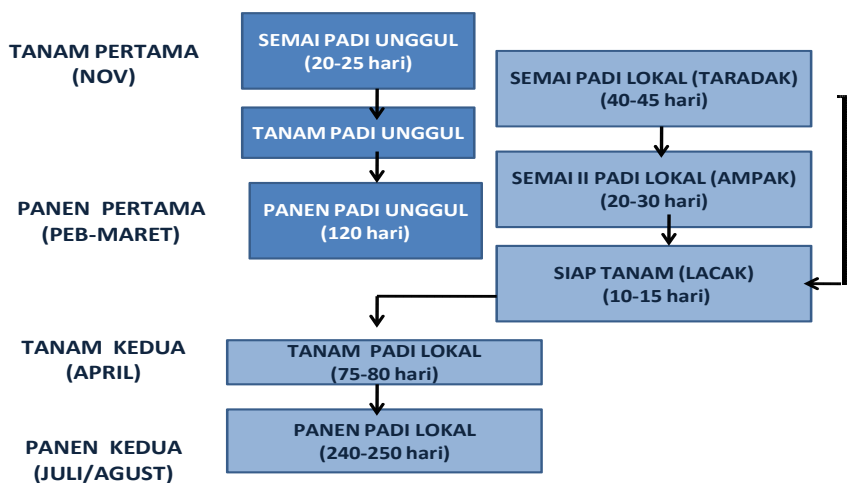
Sumber : Noor (2004).

(b) Pola Padi Unggul - Padi Lokal (Sawit Dupa)

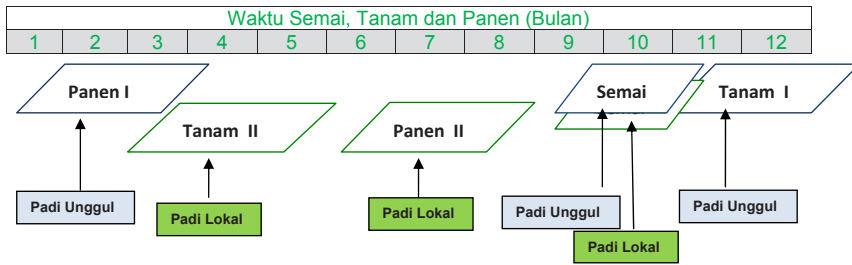
Hampir 90% lahan rawa pasang surut, khususnya di Kalimantan hanya ditanam sekali setahun dan umumnya dengan varietas lokal *photo*

periode yang mempunyai waktu semai sampai panen 8-11 bulan. Padahal beberapa wilayah dapat dikembangkan dengan pola tanam 2 (dua) kali tanam setahun dengan memadukan antara varietas padi lokal dengan padi varietas unggul yang berumur 3-4 bulan.

Pola Tanam Sawit Dupa diistilahkan dengan sekali mewiwit (semai) dua kali panen, yaitu sebuah pendekatan pola tanam di lahan rawa pasang surut yang memadukan antara sistem budidaya padi tradisional (IP 100 - varietas lokal) dengan sistem pertanian modern (IP 180 –varietas unggul + varietas lokal) dalam suatu hamparan sehingga pemanfaatan lahan dapat optimal dan hasil padi berlipat (Gambar 4 dan 5). Teknologi pola tanam sawit dupa ini dapat diterapkan pada lahan pasang surut tipe A dan B dengan penerapan tata air satu arah, penyiapan lahan dengan traktor, pemupukan berimbang, dan pengelolaan hama penyakit secara terpadu. Hasil analisis biaya dan keuntungan menunjukkan penerapan teknologi sawit dupa dapat memberikan keuntungan sebesar 43,8-48,4 % dengan nisbah penerimaan dan biaya (R/C ratio) 1,74-1,85 dan Nisbah Keuntungan dan Biaya Marjinal (MBCR) 1,58-1,77. Sekitar 90% lahan rawa di kawasan Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah hanya tanam sekali setahun (IP 100), sehingga dengan adanya pola tanam sawit dupa ini, indeks pertanaman dapat ditingkatkan dari IP 100 menjadi IP 170. Skema teknologi dan waktu tanam pada pola sawit dupa disajikan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Skema teknologi pola tanam sawit dupa di lahan rawa pasang surut



Gambar 5. Skema waktu semai, tanam, dan panen pada pola tanam sawit dupa

(c) Pola Padi Lokal

Teknologi budidaya varietas padi lokal di sini mencakup persemaian dilakukan beberapa tahap (teradak, ampak dan lacak atau pindah tanam), penyiapan lahan, tanam, pemupukan, pemeliharaan dan pengendalian OPT, panen dan prosesing hasil atau pascapanen yang dilakukan secara indigenous. Teknologi budidaya indigenous ini sampai sekarang di persawahan pasang surut seperti di Kalimantan Selatan masih banyak dilakukan petani, terutama untuk kepemilikan sawah yang sempit atau terbatas (Khairullah 2016).

Persemaian padi varietas lokal dilakukan dengan cara pindah tanam sampai dua-tiga kali. Persemaian benih dilakukan secara tugal atau teradak (persemaian kering) dan cara ini paling lazim dilakukan petani di lahan rawa pasang surut, selain persemaian basah (palai). Persemaian kering (tugal) dimulai pada bulan Oktober/November. Kira-kira 5 kg benih cukup untuk lahan teradakan seluas 150 m² dan cukup untuk 1 ha sawah. Biasanya petani memberikan abu dapur atau abu sekam di atas lubang-lubang tugal. Umur bibit sekitar 30-40 hari setelah tabur untuk siap dipindahtanamkan.

Pindah-tanam bibit pertama ditanam (diampak) pada sebagian kecil areal persawahan (20% dari areal sawah) yang dilaksanakan pada bulan Desember-Januari. Satu rumpun bibit teradakan dibagi menjadi 4-5 bagian yang kemudian ditanam di ampakan. Lama bibit di ampakan sekitar 40 hari untuk selanjutnya dipindahtanamkan lagi. Pindah-tanam kedua (dilacak) dilaksanakan pada bulan Januari-Pebruari. Sekitar sepertiga luas sawah diperlukan untuk lacakan ini, letaknya di tengah sawah. Umur bibit di lacakan untuk siap ditanam di areal sawah antara 55-60 hari.

Pembibitan dengan cara tanam-pindah ini memakan waktu sampai empat bulan. Hal ini tentu saja tidak efisien, mengingat periode tersebut dapat ditanami dengan satu musim tanam varietas unggul. Namun disisi lain, kondisi lahan secara alami masih tergenang cukup dalam yang tidak memungkinkan bibit dari teradakan ditanam langsung di sawah. Pemindah-tanaman bibit beberapa kali ini secara tidak langsung bertujuan pula untuk memperbesar, memperkuat, dan memperbanyak bibit. Kelebihan lainnya adalah jumlah benih yang digunakan lebih sedikit, yaitu kira-kira seperenam kali dibandingkan dengan bibit yang ditanam langsung. Untuk mengatasi waktu pembibitan yang lama ini diperlukan tata air yang sesuai dengan memanfaatkan air pasang dan surut, sehingga air di sawah dapat diatur. Namun hal ini juga masih menghadapi masalah apabila curah hujan tinggi dan air lagi pasang.

Persiapan lahan dilaksanakan kira-kira satu bulan setelah bibit berada di lacakan, yaitu bulan Februari. Gulma di sawah dibersihkan dengan menggunakan alat pemotong 'tajak' dan potongan gulma ini dibiarkan di air selama 10 – 15 hari. Gulma tersebut kemudian dipuntal berbentuk tukan-tukan bulat kecil. Secara periodik puntalan tersebut dibalik untuk mempercepat dekomposisi. Puntalan tersebut disebar merata pada permukaan sawah sambil menunggu air surut. Kadang-kadang pada periode tunggu tersebut tumbuh gulma baru sehingga dilakukan 'penjajaban' dengan menggunakan golok panjang yang tajam.

Persiapan lahan dengan menggunakan alat 'tajak' tidak mengganggu lapisan pirit, sehingga cukup aman bagi tanaman. Gulma yang telah dipotong secara tidak langsung dijadikan sebagai bahan organik yang dapat memperkaya hara. Meskipun demikian, proses dekomposisi bahan organik tersebut dianggap cukup lama. Diperlukan bahan dekomposer yang dapat mempercepat dekomposisi bahan organik tersebut dan aman bagi lingkungan. Penanaman dilakukan pada bulan Maret/April saat permukaan air telah surut dan cocok untuk ditanami bibit dari lacakan. Petani tidak teratur dalam hal jarak tanam, tetapi biasanya 5 rumpun tanaman untuk setiap depa (1 depa = 1,70 m) atau kira-kira 42,5 x 42,5 cm. Jumlah bibit per rumpun 2-3 bibit, di mana bibit ini telah besar dan kuat. Penanaman di bulan Maret/April ini secara tidak langsung lebih menguntungkan tanaman, mengingat pada saat itu periode kelarutan besi mengalami penurunan sehingga bibit yang ditanam dapat terhindar dari cekaman keracunan besi. Meskipun demikian jarak tanam yang tidak teratur cukup merugikan dilihat

dari sisi penyerapan sinar matahari. Kegiatan pertanaman varietas lokal ini dapat dilihat pada Gambar 6 (Khairullah 2007).



Gambar 6. a) Persemaian bibit dengan cara ‘ditugal’; b) Pindah tanam bibit (*transplanting*) dilakukan tiga kali : mampak, melacak, ditanam di persawahan; c) Persiapan lahan menggunakan alat tajak; dan d) Penanaman dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut tutujah. Bibit yang telah tua dan besar dibagi-bagi hingga jumlah bibit per lubang sekitar 2-3 batang.

Pada awalnya petani tidak melakukan pemupukan anorganik seperti urea, TSP/SP36, atau KCl. Hasil dekomposisi bahan organik dianggap cukup untuk pertumbuhan tanaman. Sebagian petani hanya memberikan garam dapur dengan takaran seadanya. Tetapi akhir-akhir ini sebagian petani melakukan pemupukan anorganik tersebut. Hal ini berkaitan dengan telah menipisnya bahan organik tersebut. Meskipun demikian pupuk yang diberikan kebanyakan hanya urea dan atau SP36 saja dengan takaran tidak menentu. Sangat jarang diperoleh informasi petani melakukan pemupukan dengan menggunakan pupuk KCl. Hal ini tentu saja merugikan tanaman. Beberapa informasi yang didapat dari petani menunjukkan bahwa dengan pemupukan hasil padi dapat meningkat. Pemberian garam dapur dalam

jangka pendek mungkin menguntungkan petani, tetapi dalam jangka panjang justru merugikan karena akan merusak struktur tanah. Untuk meningkatkan hasil padi lokal dapat dilakukan pemupukan 45 kg N, 60 kg P_2O_5 , dan 60 kg K_2O per ha.

Penyiangan rumput/gulma biasanya hanya dilakukan pada awal-awal pertumbuhan saja. Kebanyakan petani tidak melakukan penyiangan, hal ini karena bentuk tajuk padi yang panjang-menjuntai sehingga dapat menutup permukaan tanah. Dengan demikian pertumbuhan gulma dapat ditekan, akibat distribusi sinar matahari yang kurang di bagian bawah / permukaan tanah. Tetapi bagaimanapun penyiangan sangat diperlukan untuk meningkatkan hasil tanaman. Pengendalian hama dan penyakit tanaman minim dilakukan. Hama yang sering menyerang adalah tikus, penggerek batang, walang sangit, lembing batu atau kepinding tanah, hama putih palsu, dan wereng coklat. Sedangkan penyakit yang sering menyerang adalah blas leher, bercak coklat daun, dan hawar pelepah daun. Pengendalian yang sangat dianjurkan adalah pengendalian secara terpadu, seperti pengaturan pola tanam termasuk pergiliran varietas dan penggunaan musuh alamnya. Secara kimiawi, biasanya dilakukan penyemprotan terhadap hama yang menyerang. Tergantung jenis hamanya, pestisida yang diaplikasikan harus yang sudah direkomendasikan pemerintah.

Panen dilakukan pada bulan Juli-Agustus/September, tergantung jenis varietas dan waktu tanamnya. Secara tradisional petani memanen dengan ani-ani. Meskipun lambat tetapi hal ini dianggap dapat mengurangi kehilangan hasil. Panen dengan ani-ani ini juga cukup menguntungkan apabila padi matang tidak serempak. Panen dengan menggunakan sabit lebih cepat tetapi sering berasnya pecah saat digiling. Dikaitkan dengan kebutuhan tenaga kerja tentu panen dengan ani-ani memerlukan curahan tenaga kerja yang lebih banyak dan waktu yang lebih lama. Meskipun demikian sering terjadi interaksi yang positif antar pemanen pendatang sendiri. Prosesing hasil (perontokan) di tingkat petani kebanyakan dengan cara diirik. Biasanya dilakukan pada malam hari dan hal ini sering pula dianggap sebagai hiburan karena dilakukan secara bersama-sama. Diperlukan tenaga kerja yang cukup banyak dan waktu yang lebih lama untuk kegiatan perontokan ini.

Hasil varietas lokal padi pasang surut cukup bervariasi, tergantung varietas, kesuburan tanah, dan cara budidayanya. Sebagian besar hasil padi

antara 2-3 t/ha gabah kering giling. Hasil ini termasuk rendah dibandingkan dengan varietas unggul dan hal ini merupakan kekurangan utama untuk varietas lokal. Hasil yang rendah ini masih dapat dikompensasi dengan harga jual yang lebih mahal. Fluktuasi harga tergantung saat penjualan, di mana pada saat panen harga gabah turun dan akan naik lagi setelah tiga bulan. Kemampuan petani menahan penjualan gabah ini sampai saat harga naik merupakan permasalahan di tingkat petani. Kebanyakan petani menjual gabahnya pada saat panen untuk melunasi hutang mereka selama periode penanaman sampai panen (Khairullah 2007).

(d) Pola Padi Unggul - Palawija/Hortikultura

Untuk menerapkan pola padi unggul - palawija/hortikultura di lahan rawa pasang surut tidak bisa bersamaan dalam satu hamparan yang sama, tanpa dilakukan penataan lahan terlebih dahulu. Penataan lahan untuk penanaman bersama dalam satu hamparan melalui pembuatan surjan.

Surjan mengandung pengertian meninggikan sebagian tanah dengan menggali tanah disekitarnya. Dalam praktiknya, sebagian tanah atau lapisan atas diambil atau digali dan digunakan untuk meninggikan bidang tanah disampingnya secara memanjang sehingga terbentuk surjan (Gambar 7). Wilayah bagian lahan yang ditinggikan disebut tembokan (*raise bed*), sedangkan wilayah yang digali disebut tabukan (*sunken beds*). Lahan bagian bawah (tabukan) ditanami padi, sedangkan lahan bagian atas (tembokan) ditanami tanaman palawija (jagung, kedelai, kacang tanah, 3, ubi kayu dan ubi jalar), hortikultura, dan juga perkebunan (Ismail *et al.* 1993). Pembuatan surjan memerlukan tenaga kerja sekitar 500 HOK/ha sehingga diperlukan modal yang besar. Oleh karena itu sebagian petani membuat surjan secara bertahap dengan cara membuat tukang terlebih dahulu. Ruang kosong diantara tukang ditinggikan secara bertahap sehingga nantinya akan membentuk surjan. Arah surjan disarankan memanjang timur-barat agar tanaman padi pada bagian tabukan mendapat penyinaran matahari yang cukup.

Ananto *et al* (2000) menyebutkan bahwa luas surjan dan jarak antar surjan berkaitan dengan produktivitas lahan dan tanaman. Oleh karena itu, pembuatan surjan harus memperhatikan: (1) kedalaman pirit, (2) dimensi surjan (lebar 2-3 m, tinggi dan panjang surjan 50-100 m), (3) jarak antar surjan (10-12 m), sehingga perbandingan penggunaan lahan surjan dan

sawah sekitar 16-84 % atau 20-80 %, apabila pemanfaatan lahan tersebut untuk usahatani berbasis padi. Sistem surjan ini banyak dikembangkan pada lahan dengan tipe luapan air B dan antara B/C.

Bagian tembokan harus lebih tinggi dari permukaan air pada saat pasang besar atau tertinggi, sedangkan bagian tabukan tidak boleh lebih rendah atau menyentuh lapisan pirit agar pirit tidak teroksidasi yang bisa mengakibatkan keracunan besi. Tembokan biasanya ditanami petani dengan jeruk atau bisa juga ditanami dengan tanaman palawija, seperti jagung, kedelai, dan kacang tanah. Jika ditanami palawija, penanamannya dapat dilakukan pada awal dan akhir musim hujan.

Dalam satu hamparan lahan pasang surut dapat ditanami beragam komoditas sehingga terhindar dari “kerugian” karena hasil usaha tani tidak tergantung hanya pada satu komoditas saja seperti padi saja. Pendapatan usaha tani meningkat jauh dengan penerapan pola tanam jeruk berbasis padi (Gambar 7). Teknologi ini sudah diterapkan di wilayah rawa pasang surut seluruh Indonesia, terutama di Kalimantan dan Sumatera. Skematik dimensi surjan dan tukang disajikan pada Gambar 8.

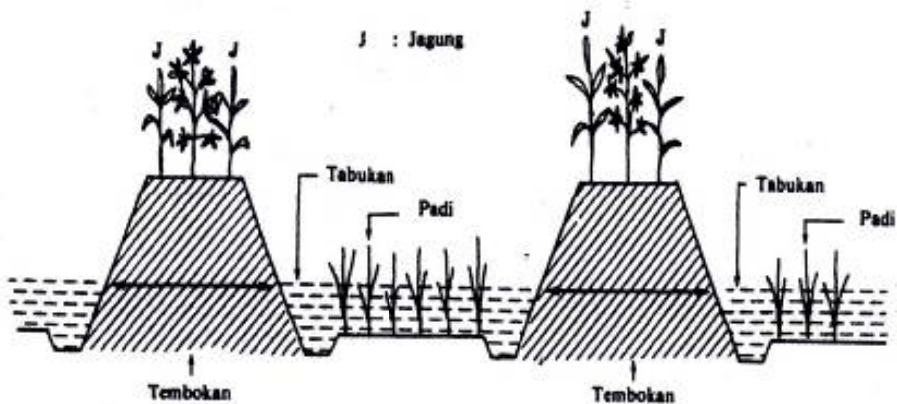
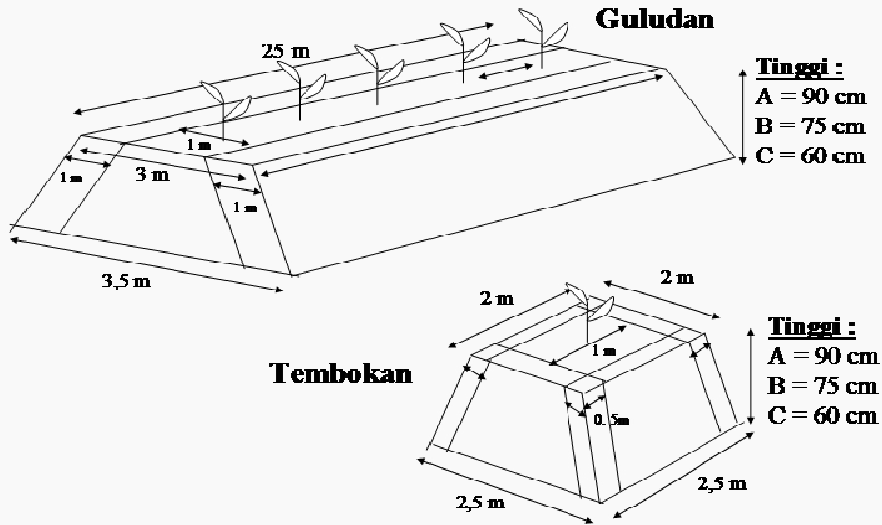
Sistem surjan memiliki beberapa keuntungan, antara lain; (1) meningkatkan intensitas penggunaan lahan, (2) menambah keragaman komoditas yang diusahakan, (3) menekan risiko kegagalan panen, dan (4) meningkatkan pendapatan (Balittra, 2011). Menurut Antarlina *et al.* (2005) pada lahan surjan terjadi penurunan kadar Fe dari bulan pertama sampai kelima, sedangkan sulfat meningkat pada bulan pertama dan kedua dan menurun setelah bulan ketiga.



Gambar 7. Tukangan dan surjan dengan pola tanaman tumpang sari padi-jeruk

Sumber: Nursyamsi, *et al.*, 2014

Penataan pada MK/MII 2006



Gambar 8. Sketsa bentuk surjan, tembokan (atas) dan tukangn (bawah)

Penerapan penataan lahan sistem surjan memerlukan investasi lebih besar, yang terdiri dari pembuatan surjan dan pembelian alat-alat. Investasi ini diperhitungkan untuk menentukan penyusutan yang akan menjadi komponen biaya untuk tahun berikutnya. Surjan yang dibuat mempunyai masa ekonomis lebih dari satu tahun. Surjan tersebut harus dipelihara (ditinggikan, diratakan, dirapihkan) setiap musim atau tahun. Berdasar asumsi tersebut maka penyusutan dapat dihitung dengan *discount factor*.

Nilai dari investasi yang diberikan dibagi dengan umur ekonomisnya menghasilkan nilai penyusutan surjan dan alat sebesar Rp297.288/th (Rina *et al.* 2006).

Pada sistem surjan dengan usahatani berbasis padi, produksi padi varietas IR 66 dapat mencapai 6 t/ha, tomat 17,8 t/ha, terung 42,8 t/ha dan kubis 28,5 t/ha. yang mengindikasikan produktivitas lahan dan tanaman cukup tinggi. Berdasarkan hasil analisis biaya dan pendapatan dengan memasukkan nilai penyusutan surjan dan alat-alat diperoleh nilai keuntungan sebesar Rp10.726.660,-/0,93 ha, tomat Rp1.721.904,-/0,028ha, terung Rp2.213.904,-/0,028ha dan kubis Rp943.904,-/0,028ha. Pengusahaan komoditas padi, tomat, terung dan kubis cukup efisien dengan nilai $R/C > 1$. Kebutuhan tenaga kerja sebesar 115,95 HOK/ha, dengan perincian untuk tanaman padi sebanyak 69 HOK, tomat 18,4 HOK, terung 19,7 HOK dan kubis 8,85 HOK. Terdapat peningkatan keperluan tenaga kerja 35,99 HOK/ha dibandingkan dengan usahatani padi di tingkat petani umumnya. Sistem surjan dengan usahatani padi + jeruk di lahan rawa pasang surut cukup layak dikembangkan karena dengan tingkat bunga 12%, 15%, dan 40%, diperoleh nilai $B/C > 1$, *Net Present Value Positive*, masa pengembalian investasi lebih kecil dari umur pengusahaan dan *Internal Rate Of Return* lebih besar dari tingkat bunga. Pengembangan sistem surjan dengan tanaman jeruk akan memberikan keuntungan yang cukup besar (Rina *et al.* 2006).

Penutup

Lahan rawa pasang surut berpotensi besar sebagai lahan pertanian untuk budidaya tanaman, khususnya padi. Lahan pasang surut memiliki karakteristik yang khas dilihat dari tipologi lahan dan tipe luapan. Produktivitas padi di lahan rawa pasang surut masih rendah karena adanya faktor pembatas lahan. Meskipun demikian, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas padi di lahan pasang surut dapat ditingkatkan dengan pengelolaan lahan dan tanaman yang baik.

Dari karakteristik lahan rawa pasang surut tersebut dapat ditentukan pola tanamnya yang sesuai dan efektif sehingga memberikan keuntungan bagi petani. Pola tanam dapat digunakan sebagai landasan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman sekaligus memberikan keuntungan. Di lahan rawa pasang surut, pola tanam dapat

beragam baik monokultur maupun polikultur. Pola tanam monokultur diterapkan pada sehamparan lahan sawah dengan waktu tanam yang berbeda atau berurutan. Pola tanam polikultur diterapkan dengan menanam dua jenis atau lebih tanaman yang berbeda dalam hamparan sawah yang sama pada waktu yang sama. Pola tanam monokultur padi di lahan pasang surut dengan menerapkan waktu berurutan (*sequential planting*) mencakup: (1) padi unggul - padi unggul, (2) padi unggul - padi lokal (sawit dupa), dan (3) padi lokal sekali setahun. Sedangkan penerapan pola tanam polikultur di lahan pasang surut harus didahului dengan melakukan penataan lahan dengan membuat surjan. Surjan terbentuk dengan membuat tembokan atau guludan (*raise bed*) dan tabukan (*sunken bed*) sehingga kondisi lahan dapat ditanami dengan jenis tanaman yang berbeda. Pola tanam sistem surjan dapat ditanami padi pada bagian bawah/tabukan sedangkan tanaman hortikultura seperti jeruk atau palawija (kacang-kacangan dan jagung) ditanam di bagian atas/tembokan. Berbagai jenis pola tanam ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, baik dilihat dari aspek teknis, ekonomis, maupun sosial. Petani akan menerapkan pola tanam yang dianggap memberikan keuntungan bagi mereka.

Daftar Pustaka

- Alihamсыyah, T., D. Nazemi, Mukhlis, I. Khairullah, H.D. Noor, M. Sarwani, H. Sutikno, Y. Rina, F.N. Saleh dan S. Abdussamad. 2000. Empat Puluh Tahun Balittra: Perkembangan dan Program Penelitian Ke Depan. Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian. Banjarbaru.
- Ananto, E.E., A. Supriyo, Soentoro, Hermanto, Y. Soelaeman, IW. Suastika, dan B. Nuryanto. 2000. Pengembangan Usaha Pertanian Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan: Mendukung Ketahanan Pangan dan Pengembangan Agribisnis. P2SLPS2. Badan Litbang Pertanian.
- Andriesse J. P. 1988. Nature and management of tropical peat soils. FAO Soil Bulletin 59. Rome.
- Antarlina, S.S., Hidayat D. Noor., I. Noor., dan S. Raihan. 2005. *Teknologi Peningkatan Produktivitas Lahan dan Kualitas Tanaman Jeruk di Lahan Rawa*. Laporan Hasil Penelitian 90 hlm. Banjarbaru: Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.
- Anwar, S. 2012. *Pola Tanam Tumpangsari*. Agroekoteknologi. Litbang: Deptan.

- Anwar, K., D. Subardja dan I.G. Made Subiksa. 2014. *Potensi dan Karakteristik Lahan Pasang Surut di Indonesia*. Bagian Buku Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional. Dedi Nursyamsi *et al.* (penyunting). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 29 hal.
- Ar_Riza, I. S. Saragih., dan Dakhyar Nazemi. 2007. Pengelolaan lahan dalam sistem budidaya padi di lahan rawa pasang surut. pp. 92 – 96 *Dalam* Prosiding Simposium dan Seminar PERAGI, Bandung, 15 – 17 November 2007.
- Balittra. 2011. *Setengah Abad Balittra: Rawa Lumbung Pangan Menghadapi Perubahan Iklim*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 71 hlm.
- Direktorat Jenderal Pengairan. 1998. Profil proyek pengembangan daerah rawa Sumatera Selatan. Departemen Pekerjaan Umum.
- Ismail, I.G., T. Alihamsyah, IPG Widjaja Adhi, Suwarno, T.Herawati, R. Thahir, dan DE, Sianturi. 1993. Sewindu Penelitian Pertanian di Lahan Rawa : Kontribusi dan Prospek Pengembangan. Proyek Swamps II. Puslitbang Tanaman Pangan, Bogor.
- Khairullah.I., 2007. Keunggulan dan kekurangan varietas lokal padi pasang surut ditinjau dari aspek budidaya dan genetik.*Dalam* Mukhlis, M. Noor, Agus Supriyo, Izzuddin Noor, R. Smith. Simatupang (Eds). Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa.
- Khairullah, I. 2016. Urgensi pemilihan varietas untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan rawa.Makalah diseminarkan pada Semnas BBP2TP di BPTP Kalimantan Selatan, Banjarbaru.
- Khairullah, I dan Nurita. 2017. Optimalisasi pemanfaatan lahan rawa pasang surut sulfat masam untuk meningkatkan produktivitas padi. Bagian Buku *Agroekologi Rawa*. Dalam Masganti *et al.* (penyunting). PT. RajaGrafindo Depok. 24 hal.
- Kustantini, D. 2012. *Peningkatan Produktifitas dan Pendapatan Petani Melalui Penggunaan Pola Tanam Tumpangsari pada Produksi Benih Kapas*. Surabaya: Balai Besar Perbanihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan (BBP2TP).
- Alwi, M., Arifin Fahmi, dan Yulia Raihana. 2014. Inovasi teknologi ameliorasi dan pemupukan padi lahan rawa pasang surut. Bagian Buku *Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. Dedi Nursyamsi *et al.* (penyunting). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 22 hlm.
- Mulyani, A., dan A. Hidayat. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan di lahan kering. Hlm 53-69. *Dalam* Sumarno dan Nata Suharta (Eds)

Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.

- Nazemi, D., A. Hairani., dan Nurita. 2012. Prospek pengembangan penataan lahan sistem surjan di lahan rawa pasang surut. Agovigor. Jurnal Agroteknologi. Vol. 5 No. 2.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. RajaGrafindo Persada. Jakarta. 241 hlm.
- Nugroho, K. Alkasuma, Paidi, Wahyu Wahdini, Abdurachman, H. Suhardjo, dan IPG. Widjaja Adhi. 1993. Peta areal potensial untuk pengembangan pertanian lahan rawa pasang surut, rawa dan pantai. Proyek Penelitian Sumber Daya Lahan. Pusat Penelitian Tanah. Bogor.
- Nugroho, K., dan D.A. Suriadikarta. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan lahan rawa. Hlm 71-87. *Dalam* Sumarno dan Nata Suharta (Eds.) *Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan*. l. 71-87. Badan Litbang Pertanian, Jakarta. ISBN 978-602-8977-06-7.
- Nursyamsi, D., M. Noor, dan Haryono. 2014. *Sistem Surjan: Model Pertanian Lahan Rawa Adaptif Perubahan Iklim*. Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. IAARD Press. 135 hlm.
- Simatupang, R.S., Nurita, dan Dakhyar Nazemi. 2014. Inovasi teknologi penataan dan penyiapan lahan rawa pasang surut. Bagian Buku *Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. Hlm. 49-72. *Dalam* Dedi Nursyamsi *et al.* (penyunting). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Rina, Y, Noorginayuwati dan S.S.Antarlina. 2006. *Analisis Finansial Usahatani Jeruk pada Sistem Surjan di Lahan Pasang Surut*. *Dalam* Setiadjit, Sulusi Prabawati, Yulianingsih dan T.M.Ibrahim (Penyunting). Prosiding Ekspose Nasional Agribisnis Jeruk Siam. Kerjasama BPTP KalBar, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat dan Pemerintah Kabupaten Sambas. Pontianak.
- Saragih, S., dan Ar_Riza, Isdijanto. 2002. Pengelolaan lahan dan hara di lahan pasang surut. *Dalam* Alihamsyah, et al. 2002 (ed). Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa, Banjarbaru.
- Saragih, S., dan S. Nurzakiah. 2011. Peluang meningkatkan indeks pertanaman padi dengan IP 300 di lahan rawa pasang surut. *Agroscientiae* Vol. 18 No. 3 April 2011. ISSN 0854-2333.
- Subagyo. 2006. Lahan rawa pasang surut. Hlm 23-98. *Dalam* *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Litbang Sumberdaya lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Ed.1.

- Subagyo, H. dan IPG. Widjaya-Adhi. 1998. Peluang dan kendala penggunaan lahan rawa untuk pengembangan pertanian di Indonesia, kasus : Sumatera Selatan dan Kalimantan Tengah. Makalah Utama Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Suriadikarta, D.A. dan M.T. Sutriadi. 2007. Jenis-jenis lahan berpotensi untuk pengembangan pertanian di lahan rawa. *Jurnal Litbang Pertanian*. No. 36(3), 2007. Hlm 115-122.
- Suyamto, dan Zulkifli Zaini. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan pada lahan sawah irigasi dan tadah hujan. Hlm 25-52. *Dalam Sumarno dan Nata Suharta (Eds.): Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan*. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Taher A., dan Zaini Z. 1989. Perbaikan produktivitas lahan gambut melalui pengendalian drainase. *Dalam Pros. Sem. Tanah Gambut untuk Perluasan Pertanian*. Fakultas Pertanian. Univ. Islam Sumatera Utara. Medan.
- Widjaya Adhi, I.P.G. Nugroho, K. Ardi, D.S. dan Karama, S.A. 1992. Sumberdaya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. *Dalam S. Partohardjono dan M. Syam (Eds.) Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak*. SWAMPS II- Puslitbangtan. Bogor.
- Widjaya-Adhi, I.P.G. 1995. Potensi, Peluang dan Kendala Perluasan Areal Pertanaman di Lahan Rawa Kalimantan dan Irian Jaya. Seminar Perluasan Areal Pertanian di KT I, PII, Serpong 7-8 November 1995.
- Widjaya-Adhi, I.P.G. dan T. Alihamsyah. 1998. Pengembangan lahan pasang surut : potensi, prospek, dan kendala, serta teknologi pengelolaannya untuk pertanian. hlm. 51-72. *Dalam Prosiding Semnas dan Pertemuan Tahunan Komda Himpunan Ilmu Tanah Indonesia*.
- Widjaya Adhi, I.P.G. D.A. Suriadikarta, M.T. Sutriadi, I.G.M. Subiksa, dan I.W. Suastika, 2000. *Pengelolaan, Pemanfaatan, dan Pengembangan Lahan Rawa*. *Dalam Adimihardja, A. dkk. (Eds.) Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. SWAMPS II- Puslitbangtan. Bogor.

INOVASI TEKNOLOGI BUDIDAYA KEDELAI DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

R. Smith Simatupang, Nurita, dan Koesrini

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru
Email: rsmith_simatupang@yahoo.co.id

Ringkasan

Kedelai (*Glycine max*) salah satu komoditas pangan strategis bagi bangsa Indonesia. Produksi kedelai nasional rata-rata sekitar 1,0 juta ton per tahun, sedangkan kebutuhan kedelai nasional mencapai 2,6-2,7 juta ton per tahun, hanya 30-40% per tahun produksi kedelai nasional yang dapat mencukupi kebutuhan kedelai nasional, dan untuk memenuhi kekurangannya dilakukan impor. Kementerian Pertanian melakukan Program Upaya Khusus (UPSUS) untuk meningkatkan produksi kedelai nasional. Hasil Focus Group Discussion (FGD) kedelai, salah satu cara untuk peningkatan produksi kedelai nasional dilakukan melalui pengembangan pertanaman kedelai di lahan rawa pasang surut, yang ditargetkan seluas 10.000 ha. Oleh karena itu, perlu dipersiapkan sarana dan prasarana serta kebijakan-kebijakan maupun regulasi sebagai alat untuk mendukung program tersebut. Secara teknis agronomis, pengembangan tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut tidak menjadi masalah, inovasi teknologi budidaya kedelai sudah tersedia dan siap dikembangkan di lahan rawa pasang surut. Namun demikian, untuk terlaksananya program peningkatan produksi tersebut diperlukan dukungan yang serius dari semua pihak khususnya dari pemerintah. Permasalahan yang dihadapi dalam pengembangan komoditas kedelai di lahan rawa pasang surut adalah masalah sosial ekonomi yang perlu mendapat perhatian khususnya oleh pemerintah. Kelembagaan desa yang sudah terbentuk umumnya belum berfungsi secara efektif dan maksimal. Untuk itu, diperlukan rekayasa sosial: pembentukan dan penguatan kelembagaan di desa, fasilitasi permodalan, pembentukan kelembagaan pemasaran serta kepastian dan jaminan harga yang lebih

berpihak kepada petani. Pemerintah sebagai regulator, dapat menyusun dan membuat kebijakan maupun peraturan yang diimplementasikan untuk mendukung program upaya khusus (UPSUS), sehingga upaya peningkatan produksi kedelai yang dilakukan di lahan rawa pasang surut dapat tercapai dan mendukung tercapainya swasembada kedelai nasional.

I. Pendahuluan

Lahan rawa didefinisikan sebagai lahan yang digenangi air atau lahan yang mengalami genangan secara alamiah baik terjadi terus menerus maupun musiman akibat drainase yang terhambat sehingga lahan rawa ini mempunyai ciri-ciri khusus secara fisika, kimiawi, dan biologis. Menurut Subagyo (2006^a) lahan rawa adalah lahan yang sepanjang tahun, atau selama waktu yang panjang dalam setahun selalu jenuh air (*saturated*) atau tergenang air dangkal (*shallow water logged*). Namun demikian, ada saatnya lahan rawa pasang surut dalam kondisi basah, tetapi pada saat tertentu dalam kondisi kering pada musim kemarau sehingga dibagi dalam tipe luapan A, B, C, dan D. Kebanyakan lahan rawa yang dimanfaatkan untuk tanaman palawija pada tipe luapan B, C dan D (Nursyamsi *et al.* 2014).

Ketika membahas atau membicarakan lahan rawa, maka setiap insan akan berpikir bahwa lahan rawa akan selalu tergenang dan tidaklah mungkin dikembangkan sebagai areal pertanaman kedelai. Pemikiran ini dapat dipahami disebabkan lahan rawa pasang surut tersebut hampir sepanjang tahun digenangi air. Namun, setelah mengenal karakteristik lahan rawa pasang surut dan sistem hidrologinya, maka pengembangan komoditas kedelai dapat diterima dan dimungkinkan di lahan rawa pasang surut. Pengembangan kedelai di lahan rawa merupakan salah satu solusi untuk memacu produksi kedelai dan swasembada kedelai nasional (Koesrini dan Nursyamsi 2012).

Fluktuasi pasang surutnya air laut memang mempengaruhi kondisi kebasahan tanah dan/atau kelembapan tanah serta pertumbuhan tanaman kedelai. Kondisi lahan seperti ini dengan mengatur kelembapan tanah dengan cara pengelolaan air tanah dapat mendukung pertumbuhan kedelai secara normal dan optimal. Penerapan sistem drainase dangkal atau pembuatan kemalir-kemalir merupakan salah satu cara untuk mengelola air dimana disaat keadaan air berlebih, air dapat dialirkan/dibuang keluar dari areal pertanaman dan disaat air berkurang maka air tanah dipertahankan

supaya kelembapan tanah dapat mendukung pertumbuhan tanaman kedelai (Anwar dan Noor 2014).

Lahan rawa pasang surut merupakan lahan suboptimal yang memiliki prospektif dan berpeluang untuk pengembangan komoditas kedelai, dan lahan ini merupakan salah satu alternatif lahan untuk pengembangan pembangunan pertanian disebabkan semakin luasnya alih fungsi lahan yang penggunaannya untuk pembangunan non pertanian, diperkirakan konversi lahan sekitar 96.512 ha per tahun (Mulyani *et al.* 2016). Selain komoditas padi, lahan rawa pasang surut dapat dikembangkan sebagai areal pengembangan komoditas palawija di antaranya tanaman kedelai (Balittra 2011). Kedelai di lahan rawa pasang surut umumnya diusahakan/ditanam di lahan tipe luapan C dan D. Pada lahan tipe luapan B kedelai dapat ditanam di musim kemarau pada bagian hamparan dan/atau ditanam di lahan pekarangan dengan pola tanam monokultur (kedelai-bero) dan tumpangsari padi-kedelai dengan sistem surjan (Rina *et al.* 2014). Pengembangan komoditas kedelai sangat dimungkinkan di lahan rawa pasang surut, dikatakan demikian karena inovasi teknologi budidaya kedelai sudah tersedia dan akan dijelaskan pada paragraph tersendiri.

Kebutuhan kedelai nasional rata-rata sekitar 2,7 juta ton per tahun, sedangkan produksi kedelai dalam negeri berkisar 1,0 juta ton per tahun. Produksi kedelai nasional hanya dapat mensuplai sekitar 30-40% dari kebutuhan kedelai nasional dilain pihak permintaan kedelai terus meningkat, sehingga untuk memenuhi permintaan kedelai ini dilakukan melalui impor. Angka impor-ekspor kedelai selama kurun waktu lima tahun (2006-2010) berbanding terbalik, ekspor cenderung menurun sedangkan impor terus meningkat (BPS 2011).

Rendahnya produksi kedelai nasional di atas tertekan oleh: (1) meningkatnya impor kedelai yang didukung adanya kemudahan tata niaga dan subsidi dari negara produsen, (2) harga kedelai impor lebih rendah dari harga kedelai lokal (produksi lokal), (3) rendahnya minat petani melakukan budidaya kedelai, karena rendahnya insentif yang diterima petani dibandingkan dengan insentif yang diterima dari komoditas lain, (4) rendahnya produktivitas petani dibandingkan potensi produksi, akibat belum berkembangnya penerapan teknologi anjuran (adopsi inovasi teknologi rendah), dan (5) persaingan penggunaan sumber daya lahan dengan komoditas lain (Ditjen Tanaman Pangan 2011). Meskipun

demikian, pemerintah tetap berupaya untuk meningkatkan produksi kedelai nasional melalui berbagai program untuk mengurangi impor.

Pada tahun 2007 telah digaungkan program peningkatan produksi pangan nasional (P2BN) yang diimplementasikan melalui penerapan program Sekolah Lapang-Pengelolaan Tanaman Terpadu (SL-PTT), salah satunya adalah upaya untuk meningkatkan produksi kedelai nasional (Ditjen Tanaman Pangan 2008). Melalui penerapan program SL-PT, upaya peningkatan produksi kedelai nasional dapat dikatakan masih belum tercapai sesuai dengan target disebabkan produktivitas dan luas panen kedelai sangat fluktuatif. Terkendalanya pencapaian target produksi kedelai nasional banyak masalah ditemukan yang menjadi faktor pembatas dalam pengembangan komoditas kedelai ini. Selain aspek teknis, masalah sosial ekonomi berkaitan dengan kedelai sangat menentukan sukses tidaknya upaya peningkatan produksi kedelai nasional.

Data luas panen kedelai secara nasional selama 14 tahun (2004 s/d 2017) sangat fluktuatif dan tidak konsisten. Tahun 2008-2009 luas panen kedelai meningkat signifikan, kemudian tahun 2010-2013 cenderung menurun, dan pada tahun 2014-2015 luas panen kembali meningkat. Begitu juga produktivitas kedelai mulai dari tahun 2012 produktivitas kedelai meningkat. Fluktuatifnya produksi kedelai nasional menyebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan kedelai secara nasional, maka untuk memenuhi kebutuhan kedelai nasional masih tergantung dengan kedelai impor. Nuryati *et al.* (2015) menyebutkan bahwa perkembangan produksi kedelai di Indonesia rata-rata tumbuh 2,52% per tahun selama periode 1980-2015, sehingga diperlukan upaya khusus untuk meningkatkan produksi kedelai nasional. Upaya peningkatan produksi pangan nasional salah satunya adalah komoditas kedelai dilakukan melalui program upaya khusus (UPSUS) yang diimplementasikan ke seluruh wilayah berdasarkan Permentan No. 03/Permentan/01.140/2/2015 (Simatupang dan Qomariah 2015).

Upaya khusus dimaksud, tidak saja dilakukan melalui intensifikasi tetapi melalui ekstensifikasi (perluasan areal tanam) serta percepatan tanam. Perluasan areal tanam dilakukan dengan cara memanfaatkan lahan-lahan bukan areal pertanaman kedelai dan/atau dengan cara pemanfaatan lahan-lahan baru (bukaan baru) diantaranya lahan-lahan suboptimal seperti lahan rawa pasang surut. Melalui FGD tanggal 15 Februari 2016, untuk mendukung pencapaian target produksi kedelai nasional pengembangan

areal tanaman kedelai diarahkan ke lahan rawa pasang surut yang ditargetkan mencapai sekitar 10.000 ha. Luasan lahan ini tidak sedikit, oleh karena itu diperlukan strategi dan kebijakan untuk mencapainya.

Pengelolaan lahan yang baik diperlukan untuk memperbaiki kemasaman tanah (pH) dan ketersediaan unsur-unsur hara, sistem hidrologi dapat dioptimalkan serta produktivitas kedelai di lahan rawa pasang surut dapat ditingkatkan mencapai 2 ton biji kering/ha (Anwar dan Alwi 2014). Pada tingkat produksi sebesar 2,0 ton biji kering/ha, usahatani kedelai dinilai mampu memberikan keuntungan ekonomi yang layak bagi petani (Sumarno 2014). Pengembangan komoditas kedelai di lahan rawa pasang surut (terutama pada lahan tipe luapan C) sangat dimungkinkan. Hal tersebut dikarenakan komoditas tanaman kedelai memiliki nilai kompetitif yang tinggi dan menempati urutan ke dua terhadap komoditas tanaman pangan lainnya setelah jagung manis, hanya saja perlu diperhatikan aspek sosial ekonomi pada proses pengembangannya (Rina 2011).

Tulisan ini merupakan salah satu cara untuk mendiseminasikan atau menyebarkan hasil-hasil penelitian dan salah satu cara untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), khususnya terkait dengan pengembangan tanaman kedelai di lahan rawa untuk dapat dimanfaatkan dalam mendukung pembangunan pertanian secara umum.

II. Potensi dan Kesesuaian Lahan

Lahan rawa pasang surut adalah lahan yang hidrotopografinya dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut dan berbentuk dataran datar (*flate*). Oleh karena lahan rawa pasang surut dapat dibedakan menjadi dua yaitu: (1) lahan rawa pasang surut langsung (*direct tidal swamps*): daerah rawa yang secara langsung dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut dan (2) lahan rawa pasang surut tidak langsung (*indirect tidal swamps*): daerah rawa yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut. Selanjutnya berdasarkan tipe luapan airnya, dapat dibagi atas 4 (empat) tipe luapan, yaitu: tipe luapan A, B, C, dan D. Berdasarkan tipologi lahannya, lahan rawa pasang surut dapat dibedakan atas beberapa tipologi, yaitu lahan potensial, lahan sulfat masam, lahan gambut/bergambut dan lahan salin. Lahan sulfat masam masih dipilah menjadi lahan sulfat masam potensial (SMP) dan lahan sulfat masam aktual (SMA) (Widjaya-Adhi *et al.* 1992: Nursyamsi *et al.* 2014).

2.1. Potensi Lahan

Lahan rawa pasang surut merupakan lahan suboptimal, dari total luas lahan yaitu 20,12 juta ha yang berpotensi untuk pengembangan komoditas tanaman pangan termasuk kedelai, meliputi sekitar 2,07 juta ha lahan potensial, 6,72 juta ha lahan sulfat masam, 10,89 juta ha lahan gambut, dan 0,44 juta ha lahan salin (Ritung *et al.* 2012). Luas lahan yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian berbeda-beda datanya tergantung dengan sumbernya. Secara umum, lahan yang berpotensi untuk pengembangan pertanian luasnya sekitar 9,54 juta ha, dan lebih rinci sekitar 6,11 juta ha tersebar di Kalimantan, Sumatera dan Papua (Widjaya-Adhi *et al.* 1992).

Reklamasi lahan rawa pasang surut dengan cara membangun saluran-saluran drainase dari tingkat primer sampai ke tingkat tersier telah dilakukan oleh pemerintah (Kementerian PU). Reklamasi lahan dikaitkan dengan program transmigrasi sebagai sarana pembukaan lahan dan/atau perluasan lahan untuk pengembangan pertanian serta pengembangan kawasan. Selain oleh perintah, pembukaan lahan juga dilakukan oleh masyarakat setempat secara swadaya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya.

Lahan rawa pasang surut yang sudah dibuka/direklamasi luasnya mencapai 5,27 juta ha, terdiri atas 2,27 juta ha oleh pemerintah dan sekitar 1,78 juta ha (data lain disebutkan 3,0 juta ha) oleh masyarakat secara swadaya. Peruntukannya adalah untuk sawah 830 ribu ha, kebun 358 ribu ha, tambak 437 ribu ha, dan sekitar 242 ribu ha untuk penggunaan lainnya: pemukiman, jalan dan fasilitas umum (Noor *et al.* 2014). Dari total luas yang direklamasi, baru sekitar 1,856 juta ha (+ 35,2%) yang sudah dimanfaatkan, artinya masih luas lahan sudah direklamasi tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Lahan yang belum dimanfaatkan ini menjadi sasaran pengembangan pertanian sehingga upaya peningkatan produksi kedelai dapat terealisasi.

Sesuai dengan hidrotopografi lahannya, pengembangan komoditas kedelai diarahkan ke lahan tipe luapan C dan D, meskipun demikian pada lahan tipe B masih dapat dikembangkan pada lahan sawah pada musim kemarau. Sebaran dan luas lahan yang sesuai dan berpotensi untuk pengembangan kedelai untuk mendukung peningkatan produksi kedelai nasional, yaitu lahan tipe luapan B di Kalimantan (Kalsel, Kalteng, Kaltim dan Kalbar) luasnya 445.782 ha, dan di Sumatera (Riau, Jambi, Lampung

dan Sumatera Selatan) luasnya 1.132.987 hektar; sedangkan tipe luapan C dan D di Kalimantan seluas 46.410 ha dan di Sumatera 2.570.318 ha (Cahyana *et al.* 2013). BPS (2013) melaporkan bahwa secara nasional luas panen kedelai rata-rata mencapai 594.120 ha per tahun, sementara luas panen di provinsi utama yang memiliki lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Sumatera Selatan, Lampung, Jambi, Riau, dan Papua berkisar 20.577 ha, hanya sekitar 3,46% dari total luas panen kedelai nasional. Artinya, ditinjau dari potensi luas dan kesesuaian lahan rawa pasang surut, maka pengembangan pertanian kedelai masih berpeluang ditingkatkan. Dengan demikian, upaya peningkatan produksi kedelai nasional dapat dicapai.

2.2. Kesesuaian Lahan

Karakteristik tanah rawa pasang surut yang menjadi faktor penghambat pertumbuhan tanaman kedelai adalah solum tanah yang dangkal, drainase jelek, toksisitas, retensi hara dan/atau status hara. Solum yang dangkal kurang sesuai bagi tanaman kedelai. Drainase jelek umumnya ditemukan pada lahan rawa pasang surut, sehingga memerlukan tingkat pengelolaan sedang hingga tinggi, antara lain pengelolaan air agar dapat mempertahankan muka air tanah yang sesuai bagi tanaman kedelai, pengelolaan hara, amelioran, pupuk dan pestisida (Noor *et al.* 2014).

Lahan rawa pasang surut memiliki sifat spesifik baik tanah, air, dan lingkungan serta tanaman yang dibudidayakan harus memiliki daya adaptasi yang baik. Beberapa kendala yang dihadapi dalam pengembangan lahan rawa pasang surut bertanah sulfat masam untuk pertanian kedelai, antara lain : (1) kemasaman tanah ($\text{pH tanah} < 4,0$), (2) kelarutan ion aluminium (Al^{3+}) tinggi, dan (3) ketersediaan hara P dan K rendah. Sedangkan untuk lahan gambut meliputi antara lain: (1) kemasaman tanah dan (2) ketersediaan hara makro dan mikro P, K, Zn, Cu dan Bo rendah. Berdasarkan karakteristik lahannya, maka kelas kesesuaian S3 (sesuai bersyarat atau sesuai marjinal) (Noor *et al.* 2014; Subagyo 2006^b). Artinya pada lahan rawa pasang surut ini ditemukan beberapa kendala dan faktor pembatas produksi apabila lahan ini dikembangkan untuk areal pertanian kedelai.

Dengan cara meniadakan faktor pembatas tersebut melalui penerapan teknologi inovatif antara lain pengelolaan hara, ameliorasi tanah, pemberian pupuk organik dan/atau anorganik maka karakter kimia tanah dapat

diperbaiki dan produktivitas lahan dapat ditingkatkan. Hampir sepanjang tahun kecuali saat musim kemarau, tanah-tanah di kawasan lahan rawa pasang surut kondisinya basah, dilain pihak tanah yang basah merupakan media yang kurang sesuai bagi tanaman kedelai. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan air (tingkat mikro) untuk menciptakan kondisi yang sesuai bagi tanaman kedelai. Selain itu, pemilihan dan penanaman varietas kedelai yang adaptif pada budidaya basah dan memperbaiki tekni budidayanya makan akan mendorong pertumbuhan kedelai secara optimal sehingga dapat memberikan hasil yang tinggi.

III. Kendala dan Faktor Pembatas Produksi Kedelai

Secara umum, pengembangan lahan rawa pasang surut untuk tanaman pertanian (tanaman pangan) dihadapkan dengan banyak masalah yang harus diatasi melalui penerapan teknologi inovatif. Secara garis besar masalah yang menjadi kendala dan faktor pembatas tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (1) masalah biofisik lahan, yakni masalah fisik dan kimia tanah, air, serta biologi tanah, dan (2) masalah sosial ekonomi diantaranya: modal, tenaga kerja, dan kelembagaan desa. Kelembagaan desa merupakan prasarana dan sarana sangat krusial dan memegang peranan penting dalam pengembangan tanaman kedelai terutama mengenai kelembagaan keuangan, pemasaran, penyuluhan, dan kelompok tani atau gapoktan (Anwar dan Noor 2014: Rina *et al.* 2014).

3.1. Masalah Biofisik Tanah

Lahan rawa pasang surut memiliki sifat yang sangat spesifik baik tanah, air, dan lingkungan serta tanaman yang dibudidayakan harus memiliki adaptasi yang baik. Beberapa kendala yang dihadapi dalam pengembangan lahan rawa pasang surut bertanah sulfat masam untuk pertanaman kedelai meliputi: (1) kemasaman tanah yang tinggi (pH tanah rendah < 4,0), (2) kelarutan ion aluminium (Al^{3+}) tinggi, dan (3) ketersediaan hara P dan K rendah. Sedangkan untuk lahan gambut meliputi antara lain: (1) kemasaman tanah (pH tanah rendah < 4,0) dan (2) ketersediaan hara makro dan mikro seperti hara P, K, Zn, Cu dan Bo rendah. Sifat dan kendala lahan rawa pasang surut tersebut sangat dipengaruhi oleh tipe luapan dan tipologi lahannya. Keracunan aluminium biasanya terjadi pada kondisi tanah kering disertai dengan kahat hara P, karena P diikat oleh Al menjadi

Al-P, sehingga P menjadi tidak tersedia bagi tanaman kedelai (Noor *et al.* 2014).

Berdasarkan data dari beberapa publikasi bahwa hasil analisis kimia tanah di lahan rawa pasang surut (lahan sulfat masam dan lahan gambut) terhadap ketersediaan hara P, K, Ca, dan Mg tergolong rendah (Tabel 1). Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas lahan dan daya dukungnya terhadap tanaman diperlukan pemberian bahan amelioran (ameliorasi tanah) untuk membenahi sifat kimia tanah. Pemberian pupuk baik pupuk organik maupun anorganik agar lahan dapat memberikan daya dukung yang optimal terhadap tanaman (kedelai) yang dibudidayakan. Tanpa perlakuan ameliorasi tanah dan pemupukan yakni unsur-unsur hara N, P, dan K, tanaman kedelai tidak akan tumbuh maksimal dan memberikan hasil yang tinggi (Anwar dan Alwi 2014).

Tabel 1. Sifat kimia tanah pada berbagai tipologi lahan, tipe luapan, dan pola tanam di lahan rawa pasang surut di Kalimantan Selatan dan Tengah

Tipologi Lahan	Tipe Luapan	Pola Tanam	pH H ₂ O	C-Org. (%)	Al-dd (me/100g)	P-Bray1 (ppm P)	P-total (mg P ₂ O ₅ /100g)
Sulfat masam	B	Padi lokal	3,65	7,21	11,00	5,81	52,7
Sulfat masam	B/C	Padi lokal	3,63	7,46	11,83	12,29	50,0
Sulfat masam	C	Padi lokal	3,87	9,71	9,08	12,75	80,9
Sulfat masam	C	Kedelai-Padi	3,70	8,77	7,69	9,63	262,3
Sulfat masam	C	Terlantar	3,40	8,72	13,44	3,46	38,9
Bergambut	C	Kedelai-Padi	4,31	15,34	5,23	6,99	254,3
Bergambut	C	Padi lokal	3,60	16,34	6,56	2,85	68,4
Gambut dangkal	C	Padi lokal	4,00	43,07	5,76	8,26	108,2
Gambut dangkal	C	Kedelai	4,17	13,79	3,11	15,74	64,8
Gambut sedang	C	Kedelai	3,95	63,75	6,03	14,52	130,2
Gambut dalam	C	Kedelai	4,01	51,93	0,46	14,72	59,5

Sumber: Anwar *et al.* (1995)

Terkait dengan biofisik lahan, faktor pembatas lain yang tidak kalah penting adalah adanya gangguan dari organisme pengganggu tanaman (OPT) diantaranya tumbuhan pengganggu (gulma) menjadi pesaing utama bagi tanaman dalam hal keperluan unsur hara, hama dan penyakit tanaman. Gulma di lahan rawa pasang surut tumbuhnya sangat cepat dan

subur, apabila gulma tidak dikendalikan maka sebagian besar unsur-unsur hara yang ada di dalam tanah akan diserap oleh gulma, dan menyebabkan produktivitas tanaman menjadi turun/rendah. Tanaman yang kekurangan unsur hara, pertumbuhannya tidak maksimal dan produktivitasnya akan menjadi rendah. Begitu juga serangan hama dan penyakit tanaman akan menyebabkan kehilangan hasil tanaman.

3.2. Masalah Sosial Ekonomi

Di lahan rawa pasang surut, masalah sosial ekonomi menjadi kendala dalam pengembangan tanaman pertanian, diantaranya permodalan petani, kelembagaan petani dan terbatasnya ketersediaan tenaga kerja. Permodalan petani umumnya lemah, yakni hanya sekitar 28,9% (Rp.1.312.657,-/KK/tahun) terhadap modal yang harus dikeluarkan untuk pengusahaan tanaman kedelai seluas 1,0 ha. Ketersediaan tenaga kerja terbatas dan upah kerja yang mahal menyebabkan ketidakmampuan petani untuk menggarap lahan yang luas. Kelembagaan keuangan, pemasaran, penyuluhan, dan kelompok tani umumnya fungsinya belum efektif. Selain itu, pasar atau lembaga ekonomi yang dapat menampung hasil pertanian (produksi kedelai) belum tercipta menyebabkan daya saing rendah (Rina *et al.* 2014). Salah satu masalah yang perlu ditangani secara baik dan tepat, adalah pasar. Pasar dalam hal ini diartikan sebagai lembaga/instansi/swasta yang dapat membeli hasil kedelai ketika panen berlimpah dengan jaminan harga yang jelas serta berpihak kepada petani. Masalah lain yang sangat *krusial* adalah ketersediaan benih kedelai bermutu, benih unggul (bersertifikat) dan berproduktivitas tinggi. Dalam mendukung program SL-PTT kedelai, pengadaan benih selalu menjadi masalah, diantaranya ketepatan waktu, varietas (mutu/kualitas dan jumlah) yang digunakan.

IV. Inovasi Teknologi Budidaya Kedelai

Budidaya kedelai di lahan pasang surut dikenal melalui para transmigran berasal dari Pulau Jawa yang ditempatkan di kawasan lahan rawa pasang surut Kalimantan, Sumatera, maupun Sulawesi pada era tahun 1980-1990 (Noor *et al.* 2014). Tetapi budidaya kedelai di lahan rawa pasang surut ini tidak berkelanjutan seiring dengan merosotnya harga kedelai. Upaya untuk mendukung perluasan tanam dan peningkatan produksi kedelai nasional diperlukan areal yang cukup luas, dilain pihak semakin

menyusutnya lahan-lahan subur akibat terjadinya alih fungsi lahan yang tidak bisa dihentikan, maka lahan rawa pasang surut menjadi sasaran dalam mendukung program pengembangan tanaman kedelai di masa datang, khususnya untuk merealisasikan target produksi kedelai nasional dan tercapainya swasembada kedelai yang berkelanjutan.

Selain areal yang sudah tersedia untuk perluasan tanam kedelai, dukungan teknologi adalah hal yang paling penting dalam mendukung pengembangan dan usaha peningkatan produksi kedelai. Aspek yang tidak kalah penting dalam pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut adalah kebijakan atau regulasi yang dapat mendukung pengembangan komoditas kedelai dan dukungan infra struktur berupa sarana dan prasarana.

Dalam rangka pengembangan dan perluasan areal tanam kedelai di lahan rawa pasang surut, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) Kementerian Pertanian telah menyediakan inovasi teknologi budidaya kedelai, yakni mulai dari teknologi sistem penyiapan lahan, teknik budidaya sampai dengan teknologi pascapanen yang dapat diimplementasikan untuk mendukung pengembangan komoditas kedelai dan upaya peningkatan produksi kedelai nasional. Teknologi-teknologi tersebut akan dijelaskan satu persatu secara detail, antara lain:

4.1. Penyiapan Lahan

Pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut diarahkan pada tipe luapan C dan D, baik pada tanah mineral maupun tanah gambut/bergambut. Oleh karena itu, sistem penyiapan lahan yang diterapkan harus memperhatikan sifat dan jenis tanahnya, hal ini disebabkan cara olah tanah pada tanah mineral berbeda dengan cara olah tanah pada tanah gambut/bergambut (Simatupang dan Alwi 2014). Penyiapan lahan dapat dilakukan dengan cara olah tanah minimum (*OTM-minimum tillage*) dan/atau olah tanah sempurna (*OTS-full tillage*). Penyiapan lahan dengan cara olah tanah sempurna, biasanya mengolah tanahnya dilakukan bersamaan dengan pembuatan saluran-saluran. Saluran dibuat sebagai sarana pengelolaan air untuk menghindari genangan air yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem penyiapan lahan untuk pertanaman kedelai di lahan sulfat masam

Sumber: Simatupang dan Alwi 2014

Penyiapan lahan untuk pertanaman kedelai dapat dilakukan dengan sistem mekanisasi yakni menggunakan mesin-mesin pertanian seperti traktor tangan (*hand tractor*) atau traktor mini roda empat dapat diterapkan terutama pada lahan-lahan yang sudah intensif dimanfaatkan atau lahan yang sudah bersih dari tunggul-tunggul. Penerapan alsintan sangat berarti dalam mengatasi kesulitan tenaga kerja yang langka atau terbatas untuk penyiapan lahan di kawasan lahan rawa pasang surut (Umar dan Alihamsyah 2014). Namun demikian, penerapan alsintan harus disesuaikan dengan jenis lahannya.

4.1.1. Tanah Mineral

Tanah mineral dicirikan dengan terdapatnya lapisan pirit di dalam tanah, kandungan liatnya $> 50\%$, kompak dan padat sehingga diperlukan pengolahan tanah yang lebih intensif. Olah tanah sempurna/intensif dapat dilakukan menggunakan cangkul, bajak singkal atau bajak rotari dengan traktor asalkan kedalaman olah tanahnya tidak lebih dari 20 cm, idealnya kedalaman olah tanah berkisar 10–15 cm tujuannya untuk menghindari pirit terangkat ke permukaan tanah. Namun demikian, pada tanah-tanah yang relatif sudah gembur struktur tanahnya sistem penyiapan lahan cukup

dengan sistem olah tanah konservasi diantaranya olah tanah minimum (OTM) atau tanpa olah tanah (TOT). Selain itu, untuk menghindari genangan karena tanaman kedelai tidak dapat terendam air maka diterapkan sistem saluran dangkal (*shallow drainage*). Olah tanah intensif dengan alsintan (menggunakan bajak singkal atau rotari) sangat membantu untuk menggemburkan tanah-tanah mineral.

4.1.2. Tanah Gambut/Bergambut

Karakteristik spesifik dari lahan gambut adalah sangat rapuh (fragil), sarang (porus), rentan kebakaran dan apabila mengalami kekeringan membentuk gambut kering tak balik yang bersifat menolak air (*hydrophobic*), sehingga fungsi lahan menurun dan produktivitasnya menjadi rendah (Widjaya-Adhi *et al.* 1992; Maas 2013). Kesalahan dalam melakukan penyiapan lahan dapat mendorong semakin cepat proses kehilangan air karena sifat porusnya lahan gambut dan mempercepat proses subsidensi permukaan tanah. Pengolahan tanah di lahan gambut/bergambut tidak dianjurkan dilakukan secara intensif karena dapat mempercepat penurunan muka tanah (*subsidence*) akibat pemampatan dan pelapukan. Pada lahan gambut/bergambut, cara penyiapan lahannya berbeda dengan tanah mineral oleh karena itu lebih diarahkan kepada sistem konservasi tanah, diantaranya adalah dilakukan dengan sistem tanpa olah tanah (TOT) menggunakan herbisida dan olah tanah minimum atau bermulsa (OTM/OTB). Teknologi olah tanah konservasi tersebut dapat menghemat tenaga kerja, biaya dan lebih efisien dan secara ekonomi layak dan memberikan keuntungan bagi petani (Simatupang *et al.* 2000; Simatupang dan Alwi 2014). Penggunaan alat dan mesin pertanian dalam mengolah tanah pada lahan gambut/bergambut perlu dipertimbangkan disebabkan mudahnya lahan gambut mengalami degradasi.

4.2. Pengelolaan Air

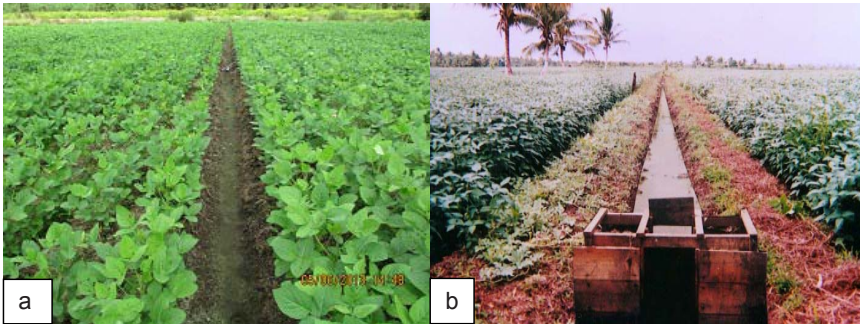
Kedelai menginginkan kondisi tanah yang lembab selama pertumbuhannya. Di lahan rawa pasang surut, pada musim hujan air berlebih dan sebaliknya pada musim kemarau dapat kekeringan terutama pada lahan tipe luapan C dan D, sedangkan tanaman kedelai menghendaki kondisi tanah yang lembab. Oleh karena itu, untuk menciptakan kondisi yang sesuai untuk tanaman kedelai perlu dilakukan pengelolaan air

sehingga kebutuhan air dapat terpenuhi mendukung pertumbuhan tanaman kedelai (Anwar dan Noor 2014).

Pengelolaan air salah satu teknologi yang diperlukan dalam budidaya basa atau jenuh air tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut. Pengelolaan air dimaksud bertujuan untuk mengatur ketersediaan air sesuai keperluan selama pertumbuhan tanaman kedelai. Pengelolaan air pada lahan tipe luapan B berbeda dengan pada lahan tipe luapan C dan D, disebabkan adanya perbedaan permukaan air tanah. Permukaan air tanah pada lahan tipe C kurang dari 50 cm dan pada lahan tipe D lebih besar dari 50 cm di bawah permukaan tanah, permasalahan yang dihadapi pada ke dua tipe luapan ini adalah genangan air pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau.

Kekeringan air maupun kelebihan air dapat menghambat pertumbuhan kedelai, karena tanaman kedelai tidak tahan terhadap genangan atau pada tanah yang kondisinya basah dan/atau aerasi tanahnya kurang baik (Anwar dan Noor 2014). Oleh karena itu, untuk menciptakan kondisi yang sesuai bagi tanaman kedelai perlu dilakukan pengelolaan air agar air dapat tersedia atau setidaknya-tidaknya air tanah secara minimal dapat tersedia untuk mendukung pertumbuhan kedelai. Pada lahan rawa pasang surut tipe C maupun tipe B selalu kelebihan air pada musim hujan, sebaliknya pada musim kemarau lahan mengalami kekeringan. Pada lahan tipe B, kedelai ditanam pada lahan surjan (*rice bed*/lahan atas) dan apabila pada hamparan sawah (lahan bawah) kedelai ditanam pada musim kemarau setelah panen padi.

Pertanaman kedelai di musim hujan diperlukan pembuatan saluran drainase dangkal (*shallow drainage-caren*) berdimensi dalam: 25-30 cm dan lebar 30 cm pada hamparan lahan (Gambar 2a). Tujuannya untuk mengalirkan kelebihan air agar tidak menggenangi areal pertanaman dan dapat menciptakan kondisi yang sesuai bagi tanaman kedelai. Pertanaman kedelai di musim kemarau pada saluran tersier dibangun tabat konservasi, tujuannya untuk mempertahankan permukaan air tanah agar air dapat tetap tersedia selama pertumbuhan tanaman kedelai (Gambar 2b). Bagian ujung saluran pembuangan (*outlet*) dibangun pintu tabat (*stoplog*) tujuannya agar dapat mempertahankan tinggi muka air.



Gambar 2. Pertanaman kedelai dengan pengelolaan air (a) menggunakan sistem saluran drainase dangkal dan (b) dengan sistem tabat (Dok. Balittra)

4.3. Ameliorasi dan Pemupukan

Karakteristik lahan rawa pasang surut sangat khas dan spesifik, yakni kemasaman tanah sangat tinggi ($\text{pH tanah} < 4,0$), kesuburan tanah alami rendah, dan kahat unsur-unsur hara (Subagyo 2006^b). Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas lahan diperlukan ameliorasi tanah dan pemupukan. Tanaman kedelai sebaiknya ditanam pada tanah-tanah yang ber-pH $> 4,5$ dan kejenuhan Al $< 20\%$, pada tanah yang pH-nya 3,5–4,5 masih dapat ditanami tetapi membutuhkan kapur dalam jumlah yang besar seperti kalsit (CaCO_3) atau dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) sebagai bahan ameliorasi tanah dan sumber Ca. Kebutuhan kapur untuk tanah ber-pH 3,5–4,0 sebesar 3,0 t/ha pada awal pertanaman, dan 2 t/ha pada musim tanam berikutnya selama empat musim tanam di lahan sulfat masam. Pada tanah yang ber-pH $> 4,0$ sampai 4,5, kapur diberikan 1 t/ha. Pada tanah gambut dosis kapur 2,0 t/ha dolomit, pupuk 22,5 kg/ha N, 67,5 kg/ha P_2O_5 , dan 30 kg/ha K_2O , dengan perlakuan ini tanaman kedelai memberikan hasil 2,74 ton/ha (Anwar dan Susilawati 2011; Anwar dan Alwi 2014).

Unsur-unsur hara seperti N, P, dan K dalam jumlah yang cukup diperlukan tanaman kedelai untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lahan sulfat masam pemberian pupuk cukup 45 kg N/ha pada tanah-tanah ber-pH $< 4,0$ dan 22,5 kg N/ha pada tanah yang ber-pH $> 4,0$, sedangkan pada lahan gambut diperlukan 11,25 kg N/ha dengan disertai perlakuan rhizobium, dan apabila tanpa rhizobium diperlukan pupuk N dengan takaran 2 kali lipat (Anwar dan Alwi 2014).

4.4. Benih dan Varietas Toleran

Benih merupakan salah satu komponen teknologi penentu keberhasilan usahatani dalam upaya meningkatkan produktivitas dan produksi kedelai di lahan rawa pasang surut (Koesrini *et al.* 2014^b). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) telah banyak menghasilkan varietas kedelai, namun jarang digunakan petani disebabkan masih belum tersedianya benih varietas unggul tersebut di lokasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sekitar 41,6% petani menggunakan benih berasal dari tanaman sebelumnya atau seleksi dari kedelai konsumsi dibeli dari pasar. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa petani umumnya masih menggunakan benih kedelai asal-asalan (benih tidak bermutu). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan varietas kedelai yang sesuai diikuti dengan pengelolaan lahan dan hara yang tepat, hasil kedelai di lahan rawa pasang surut mencapai 2,0 t/ha, dan penggunaan varietas Anjasmoro yang berbiji besar mampu menghasilkan hampir 3,0 t/ha (Koesrini dan Nursayamsi 2012).

Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut, adalah melalui penggunaan varietas unggul adaptif terutama terhadap kemasaman tanah dan memiliki potensi hasil yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian adaptasi varietas kedelai tersebut, diperoleh 8 (delapan) varietas kedelai adaptif yang dapat menghasilkan kedelai diatas 2,0 t /ha (Tabel 2). Adaptasi yang diperlihatkan varietas kedelai menggambarkan bahwa varietas kedelai tersebut memiliki daya adaptasi yang baik dan daya toleransi terhadap keracunan Al dan kemasaman tanah (Koesrini *et al.* 2014). Penelitian lain dilaporkan bahwa varietas Lawit, Menyapa, dan Anjasmoro adaptasinya cukup baik di kawasan lahan rawa pasang surut pasang surut tipe B eks PLG menunjukkan hasil 2-2,5 t/ha (Anwar dan Alwi 2014).

Tabel 2. Keragaan sifat agronomis penting 15 varietas kedelai di lahan rawa pasang surut

Varietas	Hasil (t/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Umur (hari)
1. Kipas Putih	2,80	64,0	77
2. Sindoro	2,56	74,5	82
3. Wilis	2,52	71,6	81
4. Petek	2,37	69,3	75
5. Lompobatang	2,21	97,6	80

	Varietas	Hasil (t/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Umur (hari)
6.	Merbabu	2,16	63,3	80
7.	Tidar	2,12	68,3	75
8.	Jayawijaya	2,08	80,5	78
9.	Krakatau	1,99	73,8	82
10.	Pangrango	1,80	61,1	82
11.	Kerinci	1,72	71,3	81
12.	Dieng	1,77	70,4	75
13.	Muria	1,57	38,2	77
14.	Tampomas	1,09	95,2	81
15.	Slamet	1,00	66,3	80

Sumber : Koesrini *et al.* 2014^a

Pemilihan varietas kedelai merupakan hal yang penting dan perlu dipertimbangkan bagi pengembang dan petani di lahan rawa pasang surut. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan varietas kedelai, adalah: (1) varietas yang dikembangkan harus sesuai dan adaptif terhadap agro-ecosistem lahan rawa pasang surut, (2) varietas memiliki potensi hasil yang tinggi (> 2 t/ha), (3) memiliki rendeman yang tinggi untuk pembuatan tahu dan tempe agar posisinya dapat menggantikan kedelai impor. Tidak kalah penting adalah adanya lembaga (pengelola gudang) yang dapat menerima/menampung hasil kedelai (panen melimpah) dari petani sebagai terminal sebelum kedelai didistribusikan kepada pihak pembeli atau industri yang bahan bakunya dari kedelai.

4.5. Jarak Tanam dan Populasi Tanaman

Populasi tanaman erat hubungannya dengan tingkat hasil yang akan didapat pada setiap jenis tanaman. Jumlah populasi optimum tanaman kedelai yang dianjurkan sekitar 400.000-500.000 tanaman/ha, dengan menggunakan jarak tanam 40 cm jarak antar baris dan 15-20 cm jarak di dalam barisan. Benih kedelai ditugalkan 2-3 biji per lubang, untuk itu dibutuhkan benih 40-60 kg/ha tergantung ukuran biji (Koesrini dan William 2010; David dan Antarlina 2013). Hasil penelitian di lahan rawa pasang surut di Kabupaten Barito Kuala menunjukkan bahwa dengan jarak tanam 40 cm x 10 cm (populasi 500.000 tanaman/ha), rata-rata hasil varietas Anjasmoro, Lawit dan Argomulyo berturut-turut adalah 2,9 t/ha, 2,7 t/ha, dan 1,6 t/ha. Hasil tersebut dicapai hanya dengan memberi pupuk NPK dan kapur, tanpa penambahan pupuk daun cair (Koesrini *et al.* 2011).

Manyu (2016) melaporkan bahwa hasil varietas Anjasmoro yang ditanam dengan menggunakan jarak tanam 25 cm x 20 cm (populasi 400.000 tanaman/ha) dapat mencapai 3,5 t/ha, sedangkan bila menggunakan jarak tanam 40 cm x 12,5 cm (populasi 400.000 tanaman/ha) hasil yang dicapai 2,7 t/ha di lahan rawa pasang surut di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Pada penelitian ini ada penambahan pupuk daun cair. Berdasarkan kedua hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemilihan jarak tanam yang tepat akan berpengaruh terhadap hasil tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut. Ke depan kedelai akan dikembangkan pada lahan perkebunan yang akan replanting seperti karet, kelapa sawit dengan melebarkan jarak tanam pada tanaman perkebunan menjadi 14-18 m antar baris sehingga tanaman pangan bisa ditanam diantara baris tanaman perkebunan.

4.6. Pemeliharaan Tanaman

Selama pertumbuhan fase vegetatif maupun generatif, tanaman kedelai mendapat gangguan dari organisme pengganggu tanaman (OPT). Gangguan OPT dapat menurunkan produktivitas dan hasil tanaman. OPT yang dimaksud adalah (1) persaingan tanaman dengan gulma terhadap keperluan unsur-unsur hara, dan (2) gangguan dari hama dan penyakit tanaman. Untuk mengurangi persaingan dan gangguan dari OPT tersebut dilakukan pemeliharaan tanaman dengan cara : melakukan pengendalian gulma dan pengendalian hama dan penyakit tanaman.

4.6.1. Pengendalian Gulma

Tumbuhan pengganggu (gulma), adalah saingan utama bagi tanaman kedelai selama pertumbuhan vegetatif terutama dalam hal keperluan unsur hara. Persaingan dalam penyerapan unsur hara, umumnya tanaman budidaya sering dikalahkan oleh gulma dan menyebabkan produktivitasnya menjadi rendah. Oleh karena itu, gulma harus dikendalikan pertumbuhannya untuk mengurangi persaingan sehingga unsur hara yang tersedia dapat diserap oleh tanaman secara maksimal untuk mendukung pertumbuhannya. Ada empat cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan gulma: kultur teknis, mekanik, herbisida dan gabungan berbagai cara (Nazemi 2014). Pengendalian gulma dengan cara penyiangan sangat efektif, dilakukan pada 21-30 hari setelah tanam sekaligus melakukan pembumbunan tanaman memberikan pengaruh baik bagi pertumbuhan tanaman kedelai. Selain itu,

pengendalian dengan cara kimia menggunakan herbisida sangat efektif dan biayanya lebih murah sehingga lebih efisien.

4.6.2. Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

Keamanan tanaman dari gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT) perlu diperhatikan untuk menghindari kehilangan hasil. Hama utama yang menyerang tanaman kedelai adalah lalat bibit (*Ophiomyia phaseoli* Tr.), ulat grayak (*Spodoptera litura*), ulat helicoverpa, ulat penggulung daun (*Lamprosema indicata* F.), penggerek polong (*Etiella zinckenella* dan *E. habsoni*), dan kepik polong (*Riptortus linearis* F.).

Di antara hama utama ini, ulat grayak dan penggerek polong yang menyebabkan kerusakan atau kerugian yang lebih dominan (Thamrin dan Willis 2014). Kehilangan hasil akibat serangan ulat grayak pada umur 30 hari mencapai 28,8% dan pada umur 79 hari mencapai 60,2%. Kerusakan kedelai yang disebabkan oleh ulat grayak di lahan rawa pasang surut berkisar 20%–60%, bahkan mencapai 80% bila tidak dikendalikan (Willis *et al.* 2003). Ulat grayak merupakan hama serangga dan sangat sulit dikendalikan karena perkembangbiakannya yang cepat. Ambang ekonomi penggunaan insektisida untuk mengendalikan ulat grayak apabila kerusakan daun mencapai 12,5%-20% pada umur tanaman sebelum dan sesudah 20 hari. Ambang ekonomi serangan hama penggerek polong apabila ditemukan populasi hama 2 ekor/tanaman sudah perlu pengendalian menggunakan insektisida.

Penyakit utama yang menyerang tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut umumnya disebabkan oleh jamur/fungi adalah: penyakit busuk akar dan batang, penyakit layu semai kedelai, dan penyakit karat kedelai, yang disebabkan oleh bakteri adalah: bakteri hawar dan bakteri pustule, serta oleh virus penyakit belang samar kacang panjang. Teknologi inovasi pengendalian antara lain penggunaan varietas tahan/toleran, pengelolaan air, mekanis, kultur teknis, fungisida nabati dan fungisida sintetik (Asikin dan Prayogo 2014).

4.7. Panen dan Pascapanen

Penanganan panen dan pascapanen kedelai merupakan bagian penting dalam proses produksi kedelai. Penentuan waktu panen dilakukan dengan melihat penampilan fisik tanaman saat panen dan kadar air biji. Pemanenan kedelai dapat dilakukan secara manual dengan cara dicabut atau dipotong

dan secara mekanis dengan alat pemanen kedelai. Penanganan pascapanen kedelai dilakukan beberapa tahapan, yaitu (1) pengeringan brangkasan, (2) perontokan biji, (3) pembersihan biji, (4) pengeringan biji, (5) pengemasan biji dan (6) penyimpanan biji. Tahap akhir penanganan pasaca panen adalah penyimpanan, kedelai dalam kemasan wadah yang kedap udara dan disimpan pada ruang simpan suhu gudang (untuk konsumsi) dan ruang simpan suhu dingin (untuk benih) dengan kisaran suhu 18°–20°C (Koesrini *et al.* 2014^b).

4.8. Rekayasa Sosial

Kesalahan *krusial* pada program pengembangan suatu komoditas pertanian pangan meskipun dari aspek teknis agronomis cukup berhasil, tetapi apabila tidak didukung dengan aspek sosial ekonomi yang baik, diantaranya dukungan kelembagaan ekonomi dan/atau pasar maka pengembangan komoditas tersebut akan menghadapi ketidakberhasilan, dengan kata lain belum berhasil disebabkan hasil panen tidak bisa dipasarkan. Pengalaman: pengembangan komoditas kedelai melalui program SL-PTT (tahun 2008) di salah satu desa di wilayah Kalimantan Selatan. Pertanaman kedelai secara teknis agronomis cukup berhasil sampai panen, tetapi hasil panen yang berlimpah tidak dapat dipasarkan karena tidak ada pasar dan pihak pembeli akibatnya petani yang menanggung kerugian secara ekonomi. Kondisi seperti ini akan menimbulkan efek jera bagi petani dalam mendukung program pengembangan tanaman menuju swasembada kedelai yang berkelanjutan.

Kelembagaan ekonomi desa di kawasan lahan rawa pasang surut walaupun sudah terbentuk pada umumnya masih belum berfungsi secara efektif. Oleh karena itu, diperlukan rekayasa kelembagaan di desa yang belum memiliki kelembagaan ekonomi dan/atau melakukan penguatan kelembagaan ekonomi yang sudah dibentuk agar dapat berfungsi secara efektif (Rina *et al.* 2014). Rekayasa dan/atau penguatan kelembagaan ekonomi ini akan berfungsi secara efektif apabila didukung dengan regulasi/kebijakan, antara lain sebagai berikut.

4.8.1. Revitalisasi Kelembagaan

Dukungan sistem kelembagaan yang memadai sangat berpengaruh terhadap suatu teknologi yang akan diadopsi secara penuh oleh petani.

Kegiatan usahatani mulai dari proses produksi, distribusi, dan pemasaran memerlukan ketersediaan prasarana dan sarana penunjang. Keberadaan dan kinerja sarana penunjang di lokasi sangat mempengaruhi kelancaran usahatani kedelai. Fasilitas pembiayaan usahatani yang disediakan melalui Kredit Ketahanan Pangan-Energi (KKP-E), Skim Pelayanan Pembiayaan Pertanian (SP3), Lembaga Mandiri yang mengakar di masyarakat (LM3), Lembaga Usaha Ekonomi Pedesaan (LUEP), Kredit Usaha Rakyat (KUR) dan Pengembangan Usaha Agribisnis Pedesaan (PUAP). Namun dalam pelaksanaannya, kegiatan pengawasan dan bimbingan dari instansi terkait sangat diperlukan agar kredit yang diberikan kepada petani tepat sasaran dan bermanfaat untuk usahatani (Rina *et al.* 2014).

Program peningkatan produksi kedelai akan lebih efektif jika dilakukan secara berkelompok, oleh kelompok tani dan gapoktan yang memiliki status madya. Kenyataan di lapangan kelompok tani yang tergabung dalam gapoktan, memiliki status pemula. Untuk itu, kelompok tani yang statusnya pemula perlu penguatan melalui beberapa cara, antara lain: (1) mendorong dan membimbing petani agar mampu bekerjasama di bidang ekonomi secara berkelompok, (2) menumbuhkembangkan kelompok tani melalui peningkatan fasilitas bantuan dan akses permodalan, peningkatan posisi tawar, peningkatan fasilitas, dan pembinaan organisasi kelompok dan peningkatan efisiensi dan efektivitas usahatani serta (3) meningkatkan kapasitas sumberdaya manusia petani melalui berbagai kegiatan pendampingan dan latihan yang dirancang secara khusus bagi pengurus dan anggota.

4.8.2. Dukungan Permodalan

Modal dalam berusahatani kedelai per hektar cukup besar, sehingga petani tidak mampu melaksanakan usahatani secara intensif untuk mencapai produksi yang tinggi, untuk itu perlu dukungan permodalan yang dapat digunakan petani membiayai usahatani kedelai di lahan rawa pasang surut. Lembaga permodalan seperti Kredit Ketahanan Pangan dan Energi (KKP-E), Skim Pelayanan Pembiayaan Pertanian (SP3), Lembaga Mandiri yang mengakar di masyarakat (LM3), Kredit Usaha Rakyat (KUR), Pengembangan Usaha Agribisnis Pedesaan (PUAP) dapat dimanfaatkan oleh petani. Untuk efektivitas dalam pemanfaatan permodalan tersebut, pemberian kredit (modal) akan lebih baik diikuti dengan bimbingan dan pengawasan dalam pelaksanaannya (Rina *et al.* 2014).

4.8.3. Kebijakan Harga

Penurunan harga riil kedelai diduga menjadi penyebab terjadinya penurunan areal tanam kedelai. Di lahan rawa pasang surut tipe luapan C pada awalnya petani banyak menanam kedelai, namun beralih dari kedelai ke jagung karena lebih menguntungkan. Dari segi harga, ternyata harga kedelai impor lebih murah dari harga kedelai dalam negeri. Usahatani kedelai dengan menggunakan varietas unggul cukup menguntungkan namun di beberapa lokasi petani selain harga rendah juga sulit memasarkan. Keuntungan dari pemasaran lebih banyak bagi pedagang perantara dibanding petani. Atas kenyataan ini, maka perlu kebijakan pemerintah untuk melindungi harga kedelai dalam negeri, dan memperbaiki/menciptakan pasar sehingga petani termotivasi untuk menanam lebih luas.

V. Penutup

Lahan rawa pasang surut yang berpotensi untuk pengembangan komoditas kedelai adalah pada lahan tipe luapan C dan D termasuk tipe B pada musim kemarau. Luasnya mencapai 4,19 juta ha, akan tetapi baru sekitar 20.577 ha yang sudah dikembangkan tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Artinya, lahan yang dapat dijadikan target pengembangan kedelai ini masih untuk mendukung UPSUS peningkatan produksi kedelai nasional. Pada Focus Group Discussion (FGD) kedelai tanggal 16 Februari 2016, membahas tentang pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut seluas 10.000 ha, lahan seluas ini apabila ditinjau dari sisi peluang dan potensi lahannya 10.000 ha adalah merupakan jumlah yang sedikit. Artinya, pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut masih dapat ditingkatkan luasnya yang dilakukan secara bertahap selama sumberdaya seperti dana dan tenaga masih memungkinkan untuk tujuan tersebut.

Inovasi teknologi pengembangan budidaya kedelai di lahan rawa pasang surut sudah tersedia dan siap untuk diimplementasikan ke lapangan dalam skala luas. Untuk ini diperlukan regulasi, perundang-undangan dan/atau arah dan kebijakan Pemerintah Pusat maupun Daerah terkait dengan upaya khusus ini program pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut menjadi jelas dan mudah dilaksanakan. Tampaknya, arah dan kebijakan yang jelas menjadi modal utama bagi para pelaku, stake holder maupun petani untuk mengimplementasikan program tersebut.

Dalam mendukung upaya khusus (UPSUS) peningkatan produksi kedelai nasional untuk mencapai swasembada berkelanjutan, ada beberapa konsep strategi (skenario) yang perlu dipenuhi dan dilakukan oleh pihak-pihak yang terkait terutama oleh Pemerintah Pusat, Pemerintah Provinsi/Kabupaten/Kota pemilik wilayah pengembangan sebagai motor pembangunan pertanian, diantaranya adalah:

1. Penetapan wilayah pengembangan. Data luasan lahan rawa pasang surut yang sesuai dan berpotensi untuk pengembangan komoditas kedelai pada masing-masing Provinsi/Kabupaten/Kota yang sudah jelas jumlahnya. Oleh karena itu, perlu ditetapkan atau dipetakan luas lahan disetiap Provinsi//Kabupaten/Kota yang menjadi kawasan fokus pengembangan komoditas kedelai.
2. Regulasi dan/atau perundang-undangan terkait dengan program pengembangan kedelai, kelembagaan desa yang mendukung program, pasar serta jaminan harga menjadi hal yang paling penting diperhatikan. Kepastian pasar dan jaminan harga merupakan modal utama bagi petani, sehingga keinginan, semangat dan motivasi untuk bertanam kedelai menjadi baik.
3. Pembangunan infra struktur pada daerah/wilayah yang menjadi fokus pengembangan kedelai sangat diperlukan. Lahan rawa pasang surut adalah lahan yang relatif kelebihan air, oleh karena itu tata kelola airnya melalui pembuatan saluran-saluran perlu dilakukan sedemikian rupa agar air dapat dikelola dan tidak menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman kedelai.
4. Pengawasan dan pendampingan serta fasilitasi merupakan hal yang penting untuk menumbuhkan semangat dan dorongan bagi petani. Pengawasan dan pendampingan secara terstruktur dinilai cukup baik, tetapi kadang-kadang ada kekakuan sehingga pelaksanaan pengawasan dan pendampingan belum sesuai dengan yang diharapkan. Untuk itu perlu dirumuskan cara pengawasan dan pendampingan yang tepat dan efektif.
5. Fasilitasi dari Pemerintah Provinsi dan Kabupaten/Kota berupa: (a) bantuan sosial (BANSOS) di antaranya benih, pupuk (organik dan anorganik), obat-obatan dipandang masih diperlukan karena pada umumnya petani masih sangat lemah dibidang permodalan dan (b) kemudahan perijinan dan kemudahan dibidang perbankan dan

lainnya yang relevan kepada pihak *stakeholder* dinilai dapat mendorong percepatan realisasi program pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut.

Daftar Pustaka

- Anwar K., M. Sarwani, dan M. Noor. 1995. Status unsur P di lahan sawah pasang surut. Makalah penunjang pada Prosiding Simposium Nasional dan Kongres VI Peragi, Jakarta 25–27 Juni 1996.
- Anwar, K. dan A. Susilawati. 2011. Paket pemupukan dan ameliorasi untuk meningkatkan produktivitas kedelai pada tanah bergambut tipe luapan C di kawasan PLG sejuta hektar. Hlm. 208–212. *Dalam* A. Widjono *et al.* (Penyunting). Akselerasi Inovasi Teknologi untuk Mendukung Peningkatan Produksi Aneka Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman pangan. Bogor.
- Anwar. K. dan M. Noor. 2014. Pengelolaan air untuk tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. 80-92. *Dalam* Anwar. K., M. Noor., M. Alwi., M. Thamrin., dan H. Subagio (Penyunting). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Anwar, K. dan M. Alwi. 2014. Ameliorasi dan pemupukan tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. 93-111. *Dalam* Anwar. K., M. Noor., M. Alwi., M. Thamrin., dan H. Subagio (Penyunting). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Asikin, S., dan Y. Prayogo. 2014. Penyakit utama kedelai di lahan rawa pasang surut dan teknologi pengendaliannya. Hlm. 143-166. *Dalam* Anwar. K., M. Noor., M. Alwi., M. Thamrin., dan H. Subagio (Penyunting). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2011. *Statistik Indonesia*. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2013. *Statistik Indonesia*. Jakarta.
- Balittra. 2011. 50 tahun Balittra 1961-2011. Rawa lumbung pangan menghadapi perubahan iklim. *Dalam* Izhar Khairullah, M. Alwi, M. Noor, Mukhlis, I. Ar-Riza, dan A. Budiman (Penyunting). Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 75 hlm.

- Cahyana, D., Mawardi, dan I. Khairullah. 2013. Pemetaan lahan rawa dengan metode digital soil mapping. *Laporan Hasil Penelitian Tahun Anggaran 2013*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- David, J. H., dan S.S. Antarina. 2013. Pengelolaan tanaman terpadu kedelai di Kabupaten Sintang Kalimantan Barat. Hlm. 315-322. *Dalam A. A. Rahmania et al (Penyunting) Peningkatan Daya Saing dan Implementasi Pengembangan Komoditas Kacang dan Umbi Mendukung Pencapaian Empat Sukses Pembangunan Pertanian*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Puslitbang Pertanian, Balitbangtan. 5 Juli 2012. Malang.
- Ditjen Tanaman Pangan. 2008. *Pedoman Umum Peningkatan Produksi dan Produktivitas Padi, Jagung dan Kedelai melalui Pelaksanaan Sekolah Lapang Pengelolaan Tanaman dan Sumberdaya terpadu (SL-PTT)*. Departemen Pertanian. 72 Hlm.
- Ditjen Tanaman Pangan. 2011. Kebijakan dan program pengembangan kedelai mendukung swasembada kedelai tahun 2014. Hlm. 1-10. *Dalam M.M. Adie et al. (Penyunting)*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Puslitbangtan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Kementan, 2015. Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2015-2019. Kementerian Pertanian. Jakarta. 364 Hm.
- Koesrini dan E. William. 2010. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. 59-76. *Dalam Nazemi et al., (Penyunting) Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak*. Kementerian Pertanian, Badan Litbang Pertanian, BBSDLP, Balittra. Banjarbaru.
- Koesrini, K. Anwar, dan Nurita. 2011. Perbaikan kualitas lahan untuk meningkatkan produktivitas kedelai di lahan rawa pasang surut sulfat masam potensial. Hlm. 55-62. *Jurnal Tanah dan Iklim*, edisi khusus Juli 2011.
- Koesrini., dan D. Nursyamsi. 2012. Lahan rawa, solusi krisis kedelai. Hlm. 3-5. *Dalam Hermawanto et al, (Penyunting) Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol. 34 Nomor 3 Tahun 2012*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Koesrini, E. William, M. Saleh, dan Suhartina. 2014a. Varietas kedelai adaptif lahan rawa pasang surut. Hlm. 60-79. *Dalam Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (Penyunting). Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.

- Koesrini, Nurita, dan S.S. Antarlina. 2014b. Teknologi panen dan pascapanen kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. 184-203. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Maas, A. 2013. Peluang dan konsekuensi pemanfaatan lahan gambut masa mendatang. *Dalam* M. Noor, M. Alwi, Mukhlis, D. Nursyamsi, dan M. Thamrin (*Penyunting*) *Lahan Gambut: Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Manyu, B.A. 2016. Pengaruh Pupuk Daun Jarak Tanam terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kedelai pada Budidaya Jenuh Air di Lahan Pasang Surut. Skripsi S1 di IPB, Bogor. 35 Hlm.
- Mulyani. A., D. Kuncoro, D. Nursyamsi., dan Fahmuddin Agus. 2016. Analisis Konversi Lahan Sawah: Penggunaan Data Spasial Resolusi Tinggi Memperlihatkan Laju Konversi yang Mengkhawatirkan. *Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Jurnal Tanah dan Iklim*. Vol. 40 No. 2 ; 121-133
- Nazemi, D. 2014. Gulma dominan pada tanaman kedelai di lahan rawa pasang surut dan teknologi pengendaliannya. Hlm. 167-178. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Noorsyamsi, H., H. Anwarhan, S. Sulaiman, dan H.H. Bechel. 1984. Rice cultivation in tidal swamp rice. Workshop on Res. Priorities in Tidal Swamp Rice. Philippines IRRI.
- Noor, M., H. Subagio, dan D. Nursyamsi. 2014. Karakteristik dan kesesuaian lahan rawa pasang surut untuk tanaman kedelai. Hlm. 18-27. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftuah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorginayuwati, dan Y. Rina. 2014^a. Buku *Pedoman Pengelolaan Lahan Sulfat Masam untuk Pertanian Berkelanjutan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 58 Hlm.
- Nuryati, L., B. Waryanto., Noviati., dan R. Widaningsih. 2015. *Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan*. Pusat Data dan Sistem Informasi

- Pertanian Kementerian Pertanian. Diterbitkan Oleh: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian. Jakarta. 73 Hlm.
- Rina, Y. 2011. Kontribusi usaha tani kedelai terhadap pendapatan petani di lahan rawa pasang surut tipe luapan C. Hlm.371–381. *Dalam* M.M. Adie *et al* (*Penyunting*). Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Puslitbangtan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Rina, D., F. Rozi, dan H. Subagio. 2014. Peluang pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. 1-15. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Ritung, S. Wahyunto, dan K. Nugroho, 2012. Karakteristik dan sebaran lahan gambut di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Hlm. 47-62. *Dalam*. Edi Husen, M. Anda, M. Noor, Mamat H. S., Maswar, A. Fahmi dan Y. Sulaiman (ed.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Bogor: Balai Besar Litbang SDLP.
- Simatupang, R. S., L. Indrayati, dan Sardjijo. 2000. Teknologi olah tanah konservasi mendukung peningkatan produksi padi di lahan pasang surut. Hlm. 290–300. *Dalam* prosiding Simposium Nasional Perhimpunan Agronomi Indonesia, Bogor.
- Simatupang, R.S. dan R. Qomariah. 2015. Upaya khusus peningkatan produksi padi, jagung dan kedelai berkelanjutan di Kalimantan Selatan. Makalah dipresentasikan pada Ekpose Tim Kelompok Kerja Ahli Dewan Ketahanan Pangan Kalimantan Selatan. Tanggal 1 September 2015. 23 Hlm.
- Simatupang, R. S. dan M. Alwi. 2014. Pembukaan dan penyiapan lahan untuk budidaya kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm 1-22. *Dalam* Anwar. K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta. Hlm. 44-59.
- Subagyo, H. 2006a. Subagyo, H. 2006^a. Klasifikasi dan penyebaran lahan rawa. *Dalam* Suriadikarta, D. A., Undang, K., Mamat. H.S., W. Hartatik., dan A. Setyorini. (Eds.) *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Deptan.
- Subagyo, H. 2006^b. Lahan rawa pasang surut. Hlm 23-98. *Dalam* Suriadikarta, D. A., Undang, K., Mamat. H.S., W. Hartatik., dan A. Setyorini. (Eds.)

Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Deptan.

- Sumarno., dan M. M. Adie. 2011. Strategi pengembangan produksi menuju swasembada kedelai berkelanjutan. Hlm. 17-28. *Dalam* M. M. Adie *et al* (Eds.) Prosiding seminar Nasional i. Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Puslitbang Pertanian, Balitbangtan.
- Suswono, 2014. Kebijakan pembangunan pertanian untuk mewujudkan kedaulatan pangan dan energi dalam menyongsong era Asia. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Pertanian Berkelanjutan untuk Mewujudkan Kedaulatan Pangan dan Energi Dalam Menyongsong era Asia. Fakultas Pertanian Sebelas Maret-Surakarta.
- Sumarno. 2014. Memacu pengembangan kedelai di lahan rawa pasang surut. Hlm. ix-x. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Thamrin, M. dan M. Willis. 2014. Hama utama kedelai di lahan rawa pasang surut dan pengendaliannya. Hlm. 112-143. *Dalam* Anwar, K., M. Noor, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (*Penyunting*). *Kedelai Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Swasembada dan Bioindustri*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Umar, S., dan T. Alihamsyah. 2014. *Mekanisasi Pertanian Untuk Produksi Padi di Lahan Rawa Pasang Surut*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. IAARD Press Jakarta, Gadjah Mada University Press. 176 Hlm.
- Widjaja-Adhi, I.P.G., Nugroho, D. Ardi, dan A.S. Karama, 1992. Sumber daya lahan pasang surut, rawa dan pantai: Potensi, Keterbatasan dan Pemanfaatan. *Dalam* S. Partohardjono dan M. Syam (*Penyunting*). *Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Pasang Surut dan Lebak*. Risalah Pertemuan Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa. Puslitbangtan. Bogor.
- Willis, M., M. Najib, dan B. Prayudi. 2003. *Hama Utama Kedelai dan Alternatif Pengendaliannya di Lahan Pasang Surut*. Hlm. 18-32. *Dalam* Willis, M. dan M.A. Susanti (*Penyunting*). *Hama dan Penyakit Utama Palawija di Lahan Pasang Surut*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.
- www.pertanian.go.id>indikator>tabel (diunduh tgl 20 Pebruari 2018)

PRODUKSI BENIH SUMBER PADI DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Koesrini, Muhammad Saleh, dan Arthanur Rifqi Hidayat

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara Banjarbaru, Kalsel
Email: rinirhido@yahoo.com

Ringkasan

Benih padi rawa bermutu merupakan salah satu komponen teknologi yang memegang peranan penting dalam menunjang keberhasilan pertanaman padi di lahan rawa pasang surut. Pada prinsipnya tahapan kegiatan untuk memproduksi benih hampir sama dengan tahapan yang dilakukan untuk memproduksi gabah konsumsi. Ada tiga hal penting yang harus dilakukan dalam memproduksi benih, tetapi tidak dilakukan di kegiatan produksi gabah konsumsi, yaitu benih yang digunakan harus berlabel, ada sertifikasi benih dan seleksi tanaman (*roguing*) untuk menjaga kemurnian benih. Beberapa persyaratan penting dalam produksi benih sumber padi rawa adalah lokasi strategis, benih sumber jelas asal-usulnya, ada isolasi jarak untuk pertanaman beda varietas, pengelolaan budidaya yang baik dan sertifikasi benih. Peningkatan produktivitas benih dapat dilakukan melalui pengelolaan hara dan tanaman. Perbaikan kualitas lahan melalui ameliorasi, pemupukan berimbang dan pemupukan hayati dapat meningkatkan produktivitas benih di lahan rawa pasang surut. Peningkatan produktivitas benih dapat dilakukan melalui penggunaan varietas adaptif, penanaman sistem legowo 2:1, pengendalian HPT dan gulma, penanganan panen dan pascapanen yang tepat. Varietas yang disarankan untuk dibudidayakan di lahan rawa pasang surut dengan tipe luapan air B adalah varietas Inpara 3, 4, 6, 8, 9, sedangkan varietas Inpara 1 dan Inpara 4 adaptif untuk lahan rawa pasang surut dengan tipe luapan air C. Karya tulis ilmiah ini bermanfaat dan dapat digunakan sebagai acuan dalam memproduksi benih sumber padi rawa bagi produsen benih dan bahan diseminasi bagi petugas penyuluh lapang.

Pendahuluan

Peran Lahan Rawa Pasang Surut

Padi merupakan salah satu komoditas strategis yang perlu terus ditingkatkan ketersediaannya untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk Indonesia yang pada tahun 2016 diperkirakan telah mencapai 255 juta jiwa. Produksi padi di Indonesia sebagian besar berasal dari lahan sawah irigasi (60,3%) dan sawah tadah hujan (26,5%). Kedua sawah tersebut 41%-nya terdapat di Pulau Jawa. Pulau Jawa sebagai pemasok pangan utama terutama beras, akan semakin mendapat tekanan konversi lahan untuk kepentingan non pertanian terutama untuk perumahan, industri, dan prasarana umum lainnya. Dengan demikian, terlihat adanya ketergantungan produksi padi dari lahan sawah terutama sawah irigasi ke Pulau Jawa (Jawa menyumbangkan sekitar 60% dari produksi padi nasional) (Wahyunto 2009). Penyusutan lahan subur di Pulau Jawa diperkirakan mencapai 100.000-110.000 hektar per tahun (Irawan 2008) dan akan terus bertambah, seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk. Untuk itu perlu diantisipasi dengan mencari sumber pertumbuhan lahan sawah baru terutama ke lahan suboptimal.

Lahan rawa pasang surut merupakan lahan suboptimal yang memiliki potensi untuk pengembangan padi. Luas lahan rawa pasang surut di Indonesia diperkirakan mencapai 20,14 juta hektar, 9,53 juta hektar diantaranya sesuai untuk pertanian. Dari luasan tersebut, yang tersedia di sepuluh provinsi sebagai luas baku lahan rawa pasang surut sebesar 1,1 juta hektar (Nursyamsi dan Noor 2014). Permasalahan utama yang dihadapi di lahan rawa pasang surut adalah kondisi biofisik lahan (kesuburan tanah rendah, kemasaman tanah tinggi, dan kandungan besi umumnya tinggi), jaringan tata air tidak ada/belum sempurna, serta prasarana transportasi masih terbatas. Kondisi inilah yang menyebabkan lahan rawa pasang surut belum berkembang optimal dan hasil padi umumnya masih rendah, yaitu 1-2 t/ha (Wirosudarmo dan Apriadi 2008). Diperlukan pengelolaan lahan, hara, dan tanaman agar hasil tanaman padi meningkat. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penerapan teknologi budidaya yang tepat, pemilihan varietas adaptif, pengelolaan panen dan pascapanen yang tepat, hasil padi di lahan rawa pasang surut dapat mencapai 4-5 t/ha (Indrayati *et al.* 2011).

Pentingnya Produksi Benih Padi Rawa

Benih padi rawa bermutu merupakan salah satu komponen teknologi yang memegang peranan penting dalam menunjang keberhasilan pertanaman padi di lahan rawa pasang surut. Benih bermutu diartikan sebagai benih yang memiliki mutu genetik, fisiologis dan fisik (BPSBTPH 2016). Benih bermutu adalah benih yang memenuhi standar pengujian di laboratorium sesuai kelas benih. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor: 39/Permentan/OT.140/8/2006 benih dibagi atas beberapa kelas, antara lain: (1) Benih Penjenis (*Breeder Seeds*/BS, label kuning), (2) Benih Dasar/BD (*Foundation Seeds*/FS, label putih), (3) Benih Pokok/BP (*Stock Seed*/SS, label ungu) dan (4) Benih Sebar/BR (*Extension Seeds*/ES, label biru) dapat diproduksi dari benih sumber yang memenuhi standar mutu bina (Pinem 2007).

Mutu genetik dicerminkan dari kemurnian benih untuk kelas benih penjenis dan benih dasar minimal 99%, sedangkan benih pokok dan benih sebar minimal 98%. Mutu fisiologik dicerminkan dari daya tumbuh benih minimal 80% untuk semua kelas benih, dan mutu fisik dari tingkat kebersihan benih, yaitu kotoran benih maksimal 1-2%, biji gulma 0% dan biji tanaman lain 0-2% (BPSBTPH 2016). Untuk mendukung keberhasilan pengembangan padi di lahan rawa pasang surut, perlu dukungan ketersediaan benih sumber. Untuk itu perlu adanya upaya dari pemerintah dalam meningkatkan produksi benih padi rawa melalui pengembangan mandiri benih di lahan rawa. Balittra sebagai salah satu Unit Pelaksana Teknis Kementerian Pertanian mendapat mandat memproduksi benih sumber padi rawa, khususnya varietas Inpara dan Margasari.

Berdasarkan luas baku lahan sawah pasang surut yang sebesar 1,1 juta hektar, kebutuhan benih untuk mendukung pengembangan padi di lahan tersebut cukup besar, yaitu 33 ribu ton dengan asumsi kebutuhan benih 30 kg per hektar. Kondisi saat ini, 90% lahan rawa pasang surut ditanami padi Lokal dan sekitar 10% ditanami padi unggul. Jadi kebutuhan benih padi unggul diperkirakan sekitar 3.300 ton. Kebutuhan benih tersebut masih belum tercukupi, karena produksi benih padi rawa masih terbatas, belum banyak penangkar mandiri yang memproduksi benih padi rawa. BPSBTPH (2016) melaporkan bahwa penangkar yang ada saat ini, pada umumnya memproduksi varietas Ciherang dan Mekongga yang banyak diminati petani untuk ditanam baik di lahan irigasi, tadah hujan maupun lahan rawa lebak.

Pada prinsipnya tahapan kegiatan untuk memproduksi benih hampir sama dengan tahapan untuk memproduksi gabah konsumsi, yaitu dari persiapan lahan, persemaian, penanaman, pemeliharaan, panen, dan prosesing. Ada tiga hal penting yang harus dilakukan dalam memproduksi benih, tetapi tidak dilakukan di kegiatan produksi gabah konsumsi, yaitu benih yang digunakan harus berlabel, ada sertifikasi benih dan seleksi tanaman (*roguing*) untuk menjaga kemurnian benih. Sertifikasi benih adalah kegiatan pengawasan benih yang dilakukan oleh petugas pengawas benih dari Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura (BPSBTPH), yang dimulai dari tahapan pemeriksaan pendahuluan, pemeriksaan lapang dan uji mutu benih di laboratorium. Benih yang dinyatakan lulus pemeriksaan, baik lapang maupun laboratorium baru dianggap sebagai benih bersertifikat yang memiliki label benih sesuai kelas benih.

Pengembangan padi ke lahan rawa pasang surut memerlukan varietas yang adaptif terhadap kondisi lahan yang memiliki kendala kemasaman tanah, keracunan besi dan cekaman air baik kekeringan maupun genangan. Penurunan hasil padi akibat keracunan besi pada varietas peka dapat mencapai 75% dan varietas toleran 30%, seperti dilaporkan oleh Virmani (1977). Oleh karena itu penggunaan varietas toleran mutlak diperlukan untuk penanaman padi di lahan rawa pasang surut. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (BALITBANGTAN) telah menghasilkan varietas padi adaptif untuk lahan rawa pasang surut, yaitu varietas Inpara. Ada sembilan varietas Inpara yang telah dilepas oleh BALITBANGTAN, yaitu Inpara 1 sampai Inpara 9 yang memiliki karakteristik morfologi spesifik (BB Padi 2014). Selain varietas adaptif, dukungan ketersediaan benihnya juga menjadi faktor penting untuk mendukung program Upaya Khusus (UPSUS) yang saat ini gencar dilaksanakan secara nasional.

Tujuan penulisan karya tulis ilmiah ini adalah sebagai acuan dalam memproduksi benih sumber padi rawa bagi produsen benih dan bahan diseminasi bagi petugas penyuluh lapang.

Persyaratan untuk Produksi Benih Sumber

Produksi benih sumber padi rawa berperan penting dalam mendukung program pemerintah UPSUS padi mencapai swasembada pangan nasional, khususnya beras. Tujuan produksi benih sumber padi rawa untuk

memproduksi benih sumber bermutu dan bersertifikat. Benih sumber bermutu disyaratkan untuk memiliki mutu genetik, fisiologik, dan fisik. Mutu genetik dapat dilihat dari tingkat kemurnian benih dan rendahnya campuran varietas lain. Mutu fisiologik dinilai dari tingginya daya berkecambah benih, sedangkan mutu fisik dapat dilihat dari rendahnya kadar air dan kotoran benih serta campuran biji gulma dan biji tanaman lain. Persyaratan penting dalam produksi benih sumber padi rawa sebagai berikut (Pinem 2007; Wahyuni 2012):

Pemilihan Lokasi

Lokasi produksi benih sumber dipilih dengan mempertimbangkan kesuburan lahan, ketersediaan air dan kemudahan akses jalan. Lahan yang akan digunakan untuk produksi sebaiknya lahan yang sudah dikelola dengan baik, bukan lahan bukaan baru sehingga tanahnya tergolong subur. Lahan bukaan baru biasanya masih banyak kendala diantaranya kemasaman tanah dan risiko keracunan besi sangat tinggi. Ketersediaan air menjadi faktor penentu pemilihan lokasi produksi. Adanya jaringan tata air memudahkan pengaturan air di lahan rawa pasang surut. Kemudahan akses transportasi (jalan, jembatan) juga menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan lokasi produksi. Hal ini untuk memudahkan mengangkut sarana produksi (benih, kapur, pupuk, pestisida, dll) dan hasil panen. Persyaratan lain untuk produksi benih adalah sebaiknya lahan yang dipilih adalah lahan bera minimal satu musim tanam atau lahan yang ditanami dengan varietas yang sama pada musim tanam sebelumnya. Bila lahan bukan "lahan bera", maka perlu dilakukan aplikasi herbisida pra tumbuh 5 hari sebelum tanam. Hal ini untuk menghindari percampuran varietas dari pertanaman sebelumnya.

Benih Sumber

Benih sumber yang digunakan harus jelas asal usulnya, bersertifikat dan memiliki kelas benih satu tingkat di atasnya. Penggunaan benih sumber berlabel yang belum habis masa kadaluarsanya menjadi syarat utama dalam produksi benih. Urutan kelas benih adalah BS (*breeder seed*, benih penjenis, label kuning), FS/BD (*foundation seed*, benih dasar, label putih), SS/BP (*stock seed*, benih pokok, label ungu), ES/BR (*extension seed*, benih sebar, label biru). Pada kondisi optimum penurunan kelas benih adalah satu tingkat

tanaman, roguing/seleksi tanaman, penanganan panen dan Pascapanen. Seleksi tanaman merupakan kegiatan untuk mencabut tanaman simpang yang tidak sesuai dengan deskripsi varietas. Tanaman simpang adalah tanaman varietas lain dan/atau varietas yang sama tetapi sudah menyimpang dari deskripsi varietasnya. Seleksi dilakukan pada saat fase vegetatif, menjelang berbunga, fase generatif dan menjelang panen.

Tujuan dari seleksi adalah memurnikan varietas dari campuran varietas lain, sehingga kemurnian genetik tanaman dapat terjaga. Panen disesuaikan dengan penampilan tanaman di lapang. Panen dapat dilakukan apabila 90% malai telah terisi penuh dan berwarna kuning rata. Penanganan panen dan Pascapanen sangat menentukan mutu benih yang dihasilkan, oleh karena itu penanganannya perlu ketepatan waktu dan hati-hati.



Gambar 2. Pengelolaan budidaya yang baik akan menghasilkan tanaman yang subur
Sumber: Dok. Balittra 2014

Sertifikasi Benih

Sertifikasi benih adalah kegiatan untuk mendapatkan sertifikat benih yang diproduksi. Instansi yang berwenang melakukan sertifikasi benih adalah Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura. Dalam pelaksanaan sertifikasi benih, petugas pengawas benih di setiap kabupaten bertugas membantu proses sertifikasi mulai dari persiapan dan pemeriksaan lapang serta pengambilan sampel benih untuk uji mutu benih. Pengujian mutu benih dilakukan oleh BPSBTPH provinsi.

Tahapan produksi benih pada dasarnya sama dengan tahapan budidaya tanaman padi untuk produksi gabah konsumsi, yang membedakan adalah adanya kegiatan *roguing* atau seleksi tanaman dalam kegiatan produksi benih

dan adanya proses sertifikasi. Perbedaan persyaratan antara pertanaman untuk produksi benih dan konsumsi tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan persyaratan antara pertanaman untuk produksi benih dan konsumsi

No.	Uraian	Produksi Benih	Konsumsi
1.	Sumber benih	Berlabel	Berlabel, tidak berlabel
2.	Isolasi jarak atau waktu	Ada	Tidak ada
3.	Roguing/seleksi tanaman	Ada	Tidak ada
4.	Sertifikasi	Ada	Tidak ada

Sumber: Koesrini 2017b

Kegiatan *roguing* harus dilakukan dalam produksi benih untuk membuang semua tipe simpang, yaitu tanaman yang menampilkan pertumbuhan tanaman tidak sesuai deskripsi varietas. Proses seleksi perlu dilakukan agar pertumbuhan tanaman seragam dan dapat memenuhi persyaratan standar lapang yang sudah ditentukan oleh BPSBTPH. (Tabel 2). Pertanaman yang sudah dinyatakan lulus standar pengujian lapang dapat dilanjutkan proses sertifikasinya. Setelah tanaman dipanen dan diprosesing sampai kondisi calon benih bersih (tidak ada korotan benih, biji tanaman lain, kotoran fisik) dan sudah kering dengan kadar air <13%, maka dilakukan pengambilan sampel benih oleh petugas BPSBTPH. Benih yang memenuhi standar uji laboratorium (Tabel 3) dinyatakan lulus sertifikasi dan mendapatkan label sertifikat sesuai dengan kelas benih yang dihasilkan.

Tabel 2. Standar pengujian lapangan

Kelas Benih	Isolasi Jarak (m)	Varietas lain & tipe simpang (max,%)	Isolasi waktu (±) hari
Benih Penjenis	2	0,0	21
Benih Dasar	2	0,0	21
Benih Pokok	2	0,5	21
Benih Sebar	2	0,5	21

Sumber: Kepmentan No:355/HK.130/C/05/2015 (BPSBTPH 2015)

Tabel 3. Standar pengujian di laboratorium

Kelas Benih	Kadar Air (max,%)	Benih Murni (%)	Kotoran Benih (%)	Biji Gulma (max,%)	Biji Tanaman Lain (%)	Daya Tumbuh (%)
Benih Penjenis	13,0	99,0	1,0	0,0	0,0	80
Benih Dasar	13,0	99,0	1,0	0,0	0,0	80
Benih Pokok	13,0	98,0	2,0	0,0	0,2	80
Benih Sebar	13,0	98,0	2,0	0,0	0,2	80

Sumber: Kepmentan No:355/HK.130/C/05/2015 (BPSBTPH 2015)

Pengelolaan Hara untuk Produksi Benih Sumber

Ameliorasi Lahan

Permasalahan utama yang dihadapi dalam pengembangan lahan rawa pasang surut untuk pertanian adalah kondisi biofisik lahan yang didominasi oleh kemasaman tanah dan air sangat tinggi, miskin unsur hara makro (P, K) dan mikro (Zn, Cu, Bo) serta tingginya kandungan besi (Fe), sulfat (SO_4) dan hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat racun bagi tanaman, oleh karena itu diperlukan ameliorasi lahan (Alihamsyah dan Noor 2003). Ameliorasi lahan bertujuan untuk memperbaiki sifat kimia tanah dan meningkatkan produktivitas lahan.

Keracunan besi merupakan salah satu kendala utama yang sering dijumpai di lahan rawa pasang surut dan dapat menurunkan produktivitas lahan dan hasil tanaman padi 30-60% (Majerus *et al.* 2007; Khairullah *et al.* 2011; Anwar dan Nursyamsi 2014). Kondisi inilah yang menyebabkan produktivitas benih di lahan rawa pasang surut masih rendah, yaitu 3-4 t/ha (Koesrini *et al.* 2014), lebih rendah dibandingkan dengan potensi hasilnya yang mencapai 5-7,6 t/ha (Suprihatno *et al.* 2010).

Koesrini (2016 dan 2017a) melaporkan bahwa produktivitas benih sumber sangat dipengaruhi oleh kesuburan tanah di lokasi kegiatan produksi dilakukan. Sebagai contoh produktivitas benih sumber di KP Belandean dengan kondisi kemasaman tanah awal pH <4,5 (sangat masam) produktivitasnya hanya 1,5-2,0 t/ha, sedangkan di Desa Karang Bunga, Kecamatan Mandastana, Kabupaten Barito Kuala dengan kondisi kemasaman tanah awal pH 4,62 (masam) produktivitasnya meningkat menjadi rata-rata 3,09 t/ha, meskipun masih dibawah potensi hasilnya. Kesuburan tanah sangat berpengaruh terhadap produktivitas benih.

Strategi yang dilakukan untuk meningkatkan produktivitas benih di lahan rawa pasang surut melalui: (1) perbaikan kualitas lahan melalui pengelolaan air, hara dan budidaya yang tepat, (2) penggunaan varietas adaptif dan (3) integrasi antara keduanya. Perbaikan kualitas lahan dapat dilakukan melalui ameliorasi. Kapur merupakan bahan amelioran yang cukup efektif mengurangi kemasaman tanah dan menurunkan pengaruh keracunan besi di lahan rawa pasang surut. Takaran bahan amelioran disesuaikan dengan tingkat kemasaman tanah dan tipologi lahan. Aplikasi kapur 1,0-2,0 t/ha biasa dilakukan pada lahan sulfat masam potensial (Subiksa dan Basa 1990), sedangkan pada lahan sulfat masam aktual diperlukan aplikasi kapur lebih banyak, yaitu 4,0 t/ha (Suriadikarta dan Sjamsidi 2001). Saat ini sudah ada perangkat lunak Decision Support System (DSS) padi rawa yang bisa diakses di website Balittra (www.balittra.litbang.pertanian.com) untuk menentukan takaran kapur. Selain pemberian kapur, penggunaan bahan organik yang sudah dikomposkan (jerami padi, purun tikus, kotoran hewan) dapat mengurangi keracunan besi, karena bahan organik dapat berfungsi sebagai pengkelat besi. Proses pengkelatan besi berbanding lurus dengan bahan organik yang terdekomposisi (Khairullah *et al.* 2005; Annisa *et al.* 2011).

Pemupukan Berimbang

Pertumbuhan tanaman yang optimal perlu didukung dengan pemberian pupuk yang berimbang. Takaran pupuk disesuaikan dengan tipologi lahan dan kesuburan tanah. Sebagai acuan bisa menggunakan software DSS padi rawa atau menggunakan takaran pupuk seperti tercantum pada Tabel 4. Pengalaman pemupukan pada kegiatan produksi padi di lahan rawa pasang surut di Barito Kuala dengan takaran 100 kg SP36/ha diberikan saat pengolahan tanah, 250 kg NPK/ha pada pemupukan pertama dan 150 kg NPK/ha pada pemupukan kedua, serta aplikasi pupuk cair sebanyak dua kali, sudah memberikan hasil cukup baik antara 3-4 t/ha benih. Pemupukan padi dilakukan dua-tiga kali, yaitu pupuk pertama pada 7 hari setelah tanam (HST), pupuk kedua pada 30 HST dan pupuk ketiga apabila kondisi pertanaman masih kurang optimal (Koesrini 2017a).

Tabel 4. Takaran pupuk pada pertanaman padi di lahan rawa pasang surut

Tipologi lahan	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CuSO ₄	ZnSO ₄
	kg/ha.....				
Potensial	45-90	22,5-45	50	-	-
Sulfat masam	67,5-135	45-70	50-75	-	-
Gambut	45	60	50	5	10

Sumber: Noor (2004)

Penggunaan Pupuk Hayati

Penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dapat berdampak negatif terhadap kesuburan tanah. Untuk itu perlu dilakukan kombinasi penggunaan pupuk anorganik (N, P, dan K) dengan pupuk organik. Selain pupuk anorganik dan pupuk organik, pupuk hayati dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanaman untuk menghasilkan benih. Pupuk hayati biotara merupakan pupuk hayati yang adaptif di lahan rawa dan efektif meningkatkan produktivitas tanaman. Komposisi terdiri dari konsorsia mikroba dekomposer (*Trichoderma sp.*), pelarut P (*Bacillus sp.*) dan penambat N (*Azospirillum sp.*). Penggunaan pupuk hayati Biotara 25 kg/ha yang dikombinasikan dengan pupuk Pelangi 150-300 kg/ha mampu meningkatkan hasil padi sampai 9,92% dan menghemat penggunaan Urea 100 kg/ha (100%) (Mukhlis *et al.* 2014). Selain itu penggunaan pupuk bokashi dari kotoran hewan (ayam, sapi, kambing) yang sudah dikomposkan, juga dapat memperbaiki kesuburan tanah. Ningsih dan Nafisah (2012) melaporkan bahwa pemberian pupuk organik kotoran sapi dan kompos jerami padi dapat meningkatkan hasil padi masing-masing 32,6% dan 19,3% lebih tinggi dibandingkan kontrol (tanpa pupuk organik). Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Marpaung dan Ratmini (2015) bahwa pemberian kombinasi pupuk anorganik (Phonska 40 kg/ha dan SP36 50 kg/ha) + pupuk bokashi 500 kg/ha meningkatkan hasil padi 28 % dibandingkan penggunaan pupuk anorganik takaran 200 kg Urea/ha dan SP36 100 kg/ha di lahan rawa pasang surut di Banyuasin, Sumatera Selatan. Hasil padi pada perlakuan kombinasi mencapai 5,940 t/ha, sedangkan pada perlakuan pupuk anorganik hanya 4,221 t/ha.

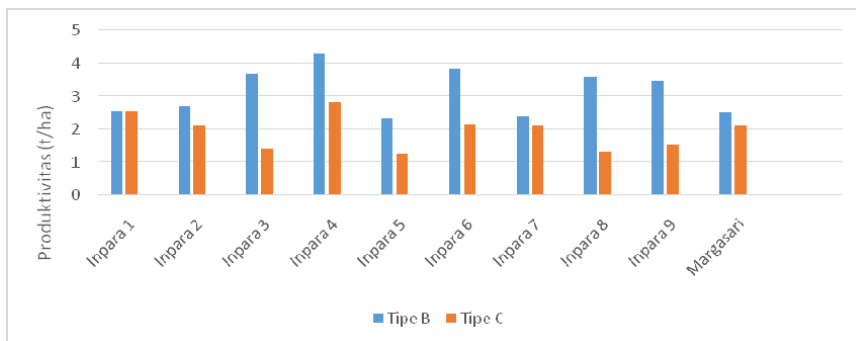
Pengelolaan Tanaman untuk Produksi Benih Sumber

Pemilihan Varietas Adaptif dalam Produksi Benih Sumber Padi

Inpara (Inbrida Padi Rawa) merupakan varietas padi yang dilepas untuk adaptasi di lahan rawa. Ada sembilan varietas Inpara yang telah dilepas oleh BALITBANGTAN, yaitu Inpara 1 hingga Inpara 9. Varietas Inpara dikembangkan dari galur atau varietas padi yang memiliki toleransi terhadap kemasaman tanah dan keracunan besi, karena kedua masalah tersebut menjadi masalah utama dalam pengembangan padi di lahan rawa pasang surut. Adaptasi kesembilan varietas tersebut bervariasi, hal ini tercermin dari pengujian yang dilakukan di lahan rawa pasang surut tipe luapan air B dan C di Kabupaten Barito Kuala. Varietas Margasari digunakan sebagai cek varietas (Koesrini 2016; Koesrini *et al.* 2017).

Hasil pengujian di tipe luapan air B menunjukkan bahwa ada lima varietas yang berproduksi lebih dari 3,5 t/ha, yaitu varietas Inpara 3, 4, 6, 8 dan 9, sedangkan varietas Inpara lainnya dan Margasari berproduksi < 3,0 t/ha, sedangkan di tipe luapan air C menunjukkan bahwa ada dua varietas yang berproduksi lebih dari 2,5 t/ha, yaitu varietas Inpara 1 dan Inpara 4, sedangkan varietas Inpara lainnya dan Margasari berproduksi < 2,5 t/ha (Gambar 3). Keragaan hasil varietas Inpara di tipe luapan air B lebih tinggi dibandingkan dengan hasilnya di tipe luapan air C. Kondisi ini berhubungan dengan kesuburan tanah di tipe luapan air B lebih baik dibandingkan dengan di tipe luapan air C.

Varietas Inpara 4 berproduksi tertinggi, yaitu 4,3 t/ha di tipe luapan air B dan 2,82 t/ha di tipe luapan air C. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Ningsih dan Nafisah (2012), yaitu varietas Inpara 4 lebih adaptif dan berproduksi lebih tinggi 66,3% lebih tinggi dibandingkan dengan hasil varietas Ciherang. Varietas ini memiliki umur 2 minggu lebih lama daripada varietas Inpara 2 dan 3, sehingga di Kabupaten Barito Kuala kurang berkembang. Dalam penelitian ini varietas Inpara 5 berproduksi terendah, yaitu 2,3 t/ha di tipe luapan air B dan 1,26 t/ha di tipe luapan air C. Varietas Inpara 5 tidak tahan keracunan besi dan rentan terhadap penyakit blas yang disebabkan oleh jamur patogen *Pyricularia grisea*. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Koesrini *et al.* (2014) bahwa varietas Inpara 5 tidak tahan keracunan besi dan rentan terhadap penyakit blas. Oleh karena itu varietas ini tidak disarankan untuk dikembangkan di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan.



Gambar 3. Keragaan hasil sembilan varietas Inpara dan Margasari di lahan rawa pasang surut tipe luapan air B dan C di Kabupaten Barito Kuala

(Sumber: Koesrini 2016)

Keragaan hasil kesembilan varietas Inpara di lahan rawa pasang surut di Kabupaten Barito Kuala, masih lebih rendah dibandingkan potensi hasilnya (Tabel 5). Rata-rata keragaan hasil kesembilan varietas tersebut baru mencapai 51,2 % di lahan tipe luapan air B dan 32,97% di lahan tipe luapan air C dibandingkan potensi hasil pada deskripsi varietas. Keragaan hasil varietas yang diuji di kedua tipe luapan air masih rendah dibandingkan dengan potensi hasilnya. Kondisi ini disebabkan kesuburan tanah masih belum optimum, yaitu pH tanah masih tergolong masam (pH 4,62) dengan kandungan besi sangat tinggi di lahan tipe luapan air B dan pH tanah tergolong sangat masam (pH 3,99) dan kandungan besi sangat tinggi (181,99 ppm) di lahan tipe luapan air C (Koesrini 2016). Tanaman padi akan berproduksi optimum pada pH tanah 5-7 dan kandungan besi < 200 ppm (Noor *et al.* 2012).

Varietas Inpara 3 menunjukkan persen hasil terhadap potensi hasil tertinggi, yaitu 66,1%, sedangkan varietas Inpara 5 terendah, yaitu 32,5% lahan tipe luapan air B. Varietas Inpara 3 lebih sesuai ditanam di lahan rawa pasang surut dibandingkan dengan varietas Inpara 5. Varietas Inpara 3 memiliki adaptasi yang luas, yaitu dapat ditanam di lahan rawa pasang surut, lahan rawa lebak, lahan irigasi dan tadah hujan. Varietas Margasari menunjukkan persen hasil terhadap potensi hasil tertinggi, yaitu 47,78%, sedangkan varietas Inpara 5 terendah, yaitu 17,50% lahan tipe luapan air C. Varietas Margasari memiliki adaptasi yang masih baik pada kondisi lahan suboptimal seperti di lahan tipe luapan air C.

Tabel 5. Keragaan dan potensi hasil sembilan varietas Inpara dan Margasari

Varietas	Tipe Luapan Air B			Tipe Luapan Air C		
	Hasil (t/ha)	Potensi hasil (t/ha)	% hasil terhadap potensi hasil	Hasil (t/ha)	Potensi hasil (t/ha)	% hasil terhadap potensi hasil
Inpara 1	2,54	6,47	39,22	2,53	6,47	39,10
Inpara 2	2,73	6,08	44,84	2,12	6,08	34,87
Inpara 3	3,70	5,60	66,14	1,43	5,60	25,54
Inpara 4	4,30	7,60	56,57	2,82	7,60	37,11
Inpara 5	2,34	7,20	32,46	1,26	7,20	17,50
Inpara 6	3,83	6,00	63,82	2,18	6,00	36,33
Inpara 7	2,40	5,10	46,96	2,15	5,10	42,16
Inpara 8	3,60	6,00	60,02	1,33	6,00	22,17
Inpara 9	3,48	5,60	62,05	1,52	5,60	27,14
Margasari	2,51	4,50	55,78	2,15	4,50	47,78
Rataan	3,09	6,10	51,19	1,949	6,10	32,97

Sumber: Koesrini (2016) dan Koesrini *et al.* (2017)

Pada saat ini varietas Inpara 2 dan Inpara 3 sudah cukup berkembang di Kabupaten Barito Kuala, terutama di Kecamatan Mandastana. Petani mulai mengenal varietas tersebut pada tahun 2012 lewat program bantuan benih yang dilakukan oleh BALITBANGTAN melalui UPT di Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA). Perkembangan luas tanam cukup meningkat dalam lima tahun terakhir, yaitu dari 86 ha pada tahun 2011 menjadi 4.800 ha pada tahun 2016 (Diperta Barito Kuala 2016). Adaptasi yang baik dan pemasaran hasil gabah cukup mudah, menjadikan kedua varietas tersebut berkembang di Kabupaten Barito Kuala. Dampak positif dari pengembangan kedua varietas Inpara di kabupaten tersebut adalah turut mendukung peningkatan produksi padi, tetapi mulai timbul permasalahan baru, yaitu adanya penanaman varietas yang sama secara terus menerus dalam 4-5 tahun terakhir ini, menimbulkan kerentanan terhadap penyakit. Varietas Inpara 2 dan Inpara 3 yang semula rendah serangan hama penyakitnya, saat ini mulai rentan terutama terhadap penyakit blas dan hama penggerek batang. Oleh karena itu perlu mulai diintroduksi varietas Inpara yang baru, yang nantinya dapat dijadikan varietas alternatif selain varietas Inpara 2 dan Inpara 3 (Koesrini *et al.* 2017).

Hasil pengujian yang dilakukan di atas juga menunjukkan bahwa varietas Inpara 8 dan Inpara 9 dapat beradaptasi baik di lahan rawa pasang surut dengan hasil 3,60 t/ha dan 3,48 t/ha. Varietas Inpara 8 merupakan hasil persilangan antara galur B10597F-KN-18 dengan galur B10600F-KN-7. Tanaman dapat dipanen pada umur 115 HSS dan tergolong berumur genjah (104-124 HSS). Bentuk tanaman tegak dengan tinggi tanaman 107 cm tergolong rendah (<110 cm) (Gambar 4).



Gambar 4. Pertumbuhan tanaman, bentuk gabah dan beras varietas Inpara 8

Sumber:Dok. Balittra 2016

Daun bendera tegak sehingga dapat melindungi malai dari serangan burung. Kerebahan tergolong tahan dan kerontokkan gabah tergolong sedang. Bentuk gabah tergolong sedang dengan rasa nasi pera dan kadar amilosa 28,5%. Berat 1000 butir 27,2 g dengan rata-rata hasil 4,7 t/ha dan potensi hasil dapat mencapai 6,0 t/ha. Varietas ini toleran terhadap keracunan besi dianjurkan untuk ditanam di lahan rawa pasang surut dan lahan rawa lebak dangkal dan tengahan. Pemulia yang melepas adalah Suwarno, Supartopo, Aris Hairmansis, Yudistira Nugroho, MJ.Mejana berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pertanian No 1244/Kpts/SR.120/12/2014 pada tahun 2014 (BB Padi 2014).

Varietas Inpara 9 merupakan hasil persilangan antara varietas Mesir dengan galur IR 60080-23. Tanaman dapat dipanen pada umur 114 HSS dan tergolong berumur genjah (104-124 HSS). Bentuk tanaman tegak dengan tinggi tanaman 107 cm tergolong rendah (<110 cm) (Gambar 5). Kerebahan tergolong tahan dan kerontokan gabah tergolong sedang. Bentuk gabah tergolong ramping dengan rasa nasi pera dan kadar amilosa 25,2%. Berat 1000 butir 25,2 g dengan rata-rata hasil 4,2 t/ha dan potensi hasil dapat mencapai 5,6 t/ha. Varietas ini toleran terhadap keracunan besi dianjurkan untuk ditanam di lahan rawa pasang surut dan lahan rawa lebak. Dangkal dan tengahan. Pemulia yang melepas adalah Suwarno, Supartopo, Aris Hairmansis, Yudistira Nugroho, Made J. Mejana berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pertanian No 1245/Kpts/SR.120/12/2014 pada tahun 2014 (BB Padi 2014).



Gambar 5. Pertumbuhan tanaman, bentuk gabah dan beras varietas Inpara 9

Sumber:Dok. Balittra 2016

Sistem Tanam Jarwo 2:1

Sistem tanam merupakan salah satu cara untuk meningkatkan populasi dan produksi tanaman. Penggunaan jarak tanam yang tepat akan berpengaruh terhadap populasi tanaman. Petani padi lokal pada umumnya

menanam dengan jarak tanam tidak beraturan, sehingga populasi tidak optimum. Sebagian petani ada yang menanam dengan sistem tanam tegel 25 cm x 25 cm, sistem legowo 2:1 (setiap dua baris tanaman ada satu jalur yang kosong) dengan jarak tanam 50 cm x 25 cm x 12,5 cm atau 40 cm x 25 cm x 12,5 cm). Perbandingan populasi tanaman padi per hektar dengan menggunakan cara tanam tegel dan legowo tercantum pada Tabel 6. Sistem tanam legowo memang memerlukan tenaga kerja lebih banyak dibandingkan sistem tanam tegel, tetapi kelebihan sistem ini adalah memudahkan pemeliharaan tanaman (pemupukan, penyemprotan dan *roguing*), karena ada ruang satu jalur kosong diantara barisan tanaman. Selain itu dengan sistem legowo 2:1 memberikan efek border, yaitu setiap tanaman mendapat ruang dan sirkulasi udara yang cukup luas, sehingga memaksimalkan pertumbuhannya. Penanaman dilakukan dengan satu batang bibit per lubang tanam untuk benih sumber BS dan dua batang per lubang tanam untuk benih sumber FS/BD.

Tabel 6. Perbandingan populasi tanaman padi dengan menggunakan cara tanam tegel dan legowo

Cara Tanam	Jarak Tanam (cm)	Populasi Tanaman/ha
Tegel	25 x 25	160.000
Legowo 2:1	50 x 25 x 12,5	213.330
Legowo 2:1	40 x 25 x 12,5	246.150

Sumber : Pangeran (2016)



Gambar 6. Sistem tanam legowo 2:1 meningkatkan populasi tanaman
 Sumber: Dok.Balittra 2014

Seleksi Tanaman (*Roguing*)

Seleksi tanaman (*roguing*) adalah salah satu cara untuk meningkatkan mutu benih sumber padi. Seleksi tanaman pada dasarnya dilakukan untuk membuang rumpun-rumpun tanaman yang ciri-ciri morfologinya menyimpang dari ciri-ciri varietas tanaman yang diproduksi benihnya. Tanaman yang menyimpang, dicabut, kemudian ditanam ke lahan. Pedoman pelaksanaan *roguing* (Wahyuni 2012).

a. Stadia vegetatif awal (35 – 45 HSS)

Tanaman yang *diroguing* adalah tanaman yang tumbuh di luar jalur/barisan, tanaman/rumpun yang tipe pertunasan awalnya menyimpang dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman yang bentuk dan ukuran daunnya berbeda dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman yang warna kaki atau daun pelepahnya berbeda dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman/rumpun yang tingginya sangat berbeda (mencolok).

b. Stadia vegetatif akhir/anakan maksimum (50 – 60 HSS)

Tanaman yang *diroguing* adalah tanaman yang tumbuh di luar jalur/barisan, tanaman/rumpun yang tipe pertunasan menyimpang dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman yang bentuk dan ukuran daunnya berbeda dari sebagian besar rumpun lain, tanaman yang warna kaki atau daun pelepahnya berbeda dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman/rumpun yang tingginya sangat berbeda (mencolok)

c. Stadia generatif awal/berbunga (85 – 100 HSS)

Tanaman yang *diroguing* adalah tanaman yang bentuk dan ukuran daun benderanya berbeda dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman yang berbunga terlalu cepat atau terlalu lambat dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman/rumpun yang memiliki eksersi malai berbeda, tanaman/rumpun yang memiliki bentuk dan ukuran gabah berbeda.

d. Stadia generatif akhir/masak (>100 HSS)

Tanaman yang *diroguing* adalah tanaman/rumpun yang tipe tumbuhnya menyimpang dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman yang bentuk dan ukuran daun benderanya berbeda dari sebagian besar rumpun-rumpun lain, tanaman/rumpun yang terlalu cepat matang, tanaman/rumpun yang memiliki eksersi malai berbeda, tanaman/rumpun yang memiliki bentuk dan ukuran gabah berbeda (Gambar 7 dan 8).



Gambar 7. Roguing atau seleksi tanaman pada empat fase tanaman

Keterangan: Fase vegetatif awal (kiri atas), fase vegetatif akhir (kanan atas), fase generatif (kiri bawah), fase menjelang panen (kanan bawah)

Sumber: BB Padi (2012) dan dokumen Balittra (2016)



Gambar 8. Beberapa karakter penciri pada tanaman padi

Sumber: BB Padi (2012) dan dokumen Balittra (2016)

Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman

Organisme pengganggu tanaman (OPT) seperti hama dan penyakit serta pertumbuhan gulma merupakan salah satu permasalahan dalam proses produksi benih sumber padi. Pengendalian hama dan penyakit tanaman di lahan rawa pasang surut dapat dilakukan melalui pendekatan hama/penyakit terpadu dengan sanitasi lingkungan, tanam serempak, penggunaan varietas tahan dan pengelolaan budidaya yang tepat, serta penggunaan pestisida secara bijak. Hama utama yang sering ditemui adalah tikus, penggerek batang padi putih, hama pelipat daun, wereng coklat, wereng hijau dan walang sangit, sedangkan penyakit utama yang banyak menyerang pertanaman padi di lahan rawa pasang surut adalah penyakit blas dan tungro, sedangkan penyakit bercak coklat, bercak coklat bergaris, hawar daun bakteri dan busuk pelepah daun muncul pada kondisi tertentu (Thamrin *et al.* 2014). Tingkat serangan hama/penyakit sangat tergantung dengan kondisi cuaca terutama curah hujan. Cara pengendalian hama/penyakit disajikan pada Tabel 7. Pengendalian gulma dilakukan secara manual atau menggunakan herbisida. Gulma perlu dikendalikan untuk menghindari persaingan hara dengan tanaman padi.

Tabel 7. Jenis hama/penyakit utama padi dan cara pengendaliannya di lahan rawa pasang surut

Jenis Hama/Penyakit HAMA	Cara Pengendalian
Tikus sawah (<i>Rattus argentiventer</i>)	Sanitasi, tanam serempak, menggunakan predator anjing, fumigasi, perangkap bambu, rodentisida nabati dan sintetis
Penggerek batang padi putih (<i>Scirpophaga innotata Walker</i>)	Penggunaan abu sekam, tanaman perangkap purun tikus, musuh alami laba-laba, insektisida nabati dari kepayang, gelam, kiriyu, insektisida sintetis jenis karbofuran, karbosulfan, dimehipo, bisultap, bensultap dan tiakloprid
Wereng batang coklat (<i>Nilaparvata lugens Stal.</i>)	Varietas tahan, pergiliran varietas, sanitasi, tanam serempak, pemanfaatan musuh alami, penggunaan lampu perangkap, insektisida nabati dan sintetis jenis buproferin, BPMC, fipronil dan imidakloprid
Pelipat daun/ putih palsu (<i>Cnaphalocrosis medinalis</i>)	Pemanfaatan musuh alami <i>Lycosa pseudoannolata</i> , <i>Paderus fucefes</i> dan <i>Ophionea ishii-ishii</i>

Jenis Hama/Penyakit HAMA	Cara Pengendalian
Walang sangit (<i>Leptocoris spp</i>)	Tanaman perangkap, perangkap bau, insektisida nabati (mercon dan cambai karuk) dan sintetis (dimehipo, BPMC, anda sihalotrin)
PENYAKIT	
Blas (<i>Pyricularia oryzae</i> Cav.)	Perlakuan benih dengan pyroquilon, cara tanam dan pemupukan, fungisida nabati (ekstrak daun sirih, daun jambu, rimpang lengkuas) dan sintetis (bahan aktif edifenphos, tetraclorophthalide, pyroquilon)
Tungro (Rice tungro baciliform virus, Rice tungro spherical virus)	Sanitasi dan cara tanam, varietas tahan, musuh alami wereng hijau, entomophatogen, insektisida nabati (sambiata) dan sintetik
Bercak coklat (<i>Heminthosporium oryzae</i>)	Varietas tahan, perlakuan benih, cara tanam dan pemupukan
Bercak coklat bergaris (<i>Cercospora oryzae</i> Miyake)	Sanitasi, varietas tahan, pemupukan dan fungisida
Hawar daun bakteri/kresek (<i>Xanthomonas campestris pv oryzae</i>)	Varietas tahan, perlakuan benih, cara tanam dan pemupukan
Hawar pelepah daun (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Varietas tahan, sanitasi, cara tanam, pemupukan, bakteri antagonis

Sumber : Thamrin *et al.*(2014)

Penanganan Panen dan Pascapanen

Tahapan panen merupakan bagian penting dalam kegiatan produksi benih, karena penentuan saat panen yang tepat dan penanganan panen akan menentukan mutu benih. Beberapa hal yang perlu diperhatikan agar mutu benih terjaga: (1) pemeriksaan peralatan panen yang akan digunakan harus dalam kondisi layak pakai dan bersih dari sisa-sisa gabah varietas lain; (2) panen dilakukan pada saat yang tepat, yaitu apabila 90% gabah telah berwarna kuning rata, tanaman telah berumur 30-35 hari setelah tanaman berbunga merata, kadar air gabah 22-26% dan berdasarkan deskripsi varietas; (3) cara panen dapat dilakukan secara manual menggunakan sabit bergerigi atau secara mekanis menggunakan combine harvester. Sebelum panen dimulai harus dipastikan di areal yang akan dipanen tidak ada sisa malai/malai yang tertinggal dari pertanaman yang dibuang selama proses *rouging*. Penggunaan alat panen combine harvester dapat mempercepat proses panen dan pascapanen benih, menekan biaya dan meningkatkan

mutu gabah, dan (4) malai yang sudah dipanen segera dikumpulkan untuk diproses lebih lanjut dalam penanganan pascapanen benih.



Gambar 9. Proses panen benih

Sumber:Dokumen Balittra 2014

Pascapanen calon benih pada dasarnya adalah 'memisahkan/membuang' semua benda lain/kotoran benih varietas lain, sisa-sisa tanaman, tanah, kerikil dari benih varietas yang sebenarnya. Pada waktu pengolahan benih, harus dihindarkan jangan sampai terjadi pencampuran dengan varietas lain. Untuk itu proses pengolahan varietas yang berbeda dilakukan pada waktu dan tempat pengolahan yang berbeda. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam hal pengolahan benih antara lain: (1) gabah yang telah dipanen dengan sabit segera dirontok dengan thresher agar warna gabah tidak berubah kecoklatan. Bila panen menggunakan combine harvester, gabah sudah dalam kondisi dirontok; (2) gabah yang sudah dirontok dibersihkan dengan alat pembersih gabah (gumbean, air screen cleaner), sehingga semua kotoran benih dapat dibersihkan; (3) bila dilakukan penjemuran perlu diperhatikan hal-hal berikut: gunakan lantai jemur yang bersih, dan beri jarak yang cukup antar varietas yang berbeda, Penjemuran hanya dilakukan pada pagi hari selama 4–5 jam/per hari. Lakukan pembalikan benih secara berkala dan hati-hati. Gabah yang sudah

bersih dikeringkan secara alami dengan panas matahari atau dengan alat pengering benih (*bed dryer*) dengan suhu 40-42°C sampai kadar air benih 11-12%; (4) gabah dibersihkan kembali, sehingga sisa-sisa kotoran benih dapat dibersihkan kembali, benih yang sudah kering dan bersih dimasukkan ke dalam karung siap diambil sampel oleh petugas BPSBTPH untuk uji mutu benih; (5) petugas BPSBTPH akan mengambil sampel benih secara acak per lot benih, kemudian diberi nama varietas dan kelas benih serta nomor lot benih. Benih akan diuji di laboratorium yang meliputi kadar air benih, daya berkecambah, benih murni, kotoran benih, campuran varietas lain; (6) benih yang dinyatakan lulus uji, selanjutnya dikemas dan diberi label sertifikasi yang meliputi data hasil uji laboratorium sesuai varietas dan kelas benih. Sebelum benih dipasarkan, benih perlu ditempatkan pada gudang penyimpanan dengan suhu kamar untuk penyimpanan jangka pendek (3-6 bulan) atau dalam ruangan berAC suhu 22-24°C untuk penyimpanan jangka menengah 6 bulan-1 tahun.



Gambar 10. Proses pascapanen benih

Sumber: Dokumen Balittra, 2014

Penutup

Benih padi rawa bermutu merupakan salah satu komponen teknologi yang memegang peranan penting dalam menunjang keberhasilan pertanaman padi di lahan rawa pasang surut. Pada prinsipnya tahapan kegiatan untuk memproduksi benih hampir sama dengan tahapan yang

dilakukan untuk memproduksi gabah konsumsi. Ada tiga hal penting yang harus dilakukan dalam memproduksi benih, tetapi tidak dilakukan di kegiatan produksi gabah konsumsi, yaitu benih yang digunakan harus berlabel, ada sertifikasi benih dan seleksi tanaman (*roguing*) untuk menjaga kemurnian benih.

Produktivitas benih di lahan rawa pasang surut relatif masih rendah, yaitu 2-3 t/ha, masih dibawah potensi produksi dalam deskripsi varietas. Peningkatan produktivitas benih dapat dilakukan melalui pengelolaan hara dan tanaman. Pengelolaan hara melalui ameliorasi, pemupukan berimbang dan pemupukan hayati serta pengelolaan tanaman melalui penanaman varietas adaptif, penggunaan sistem tanam legowo 2:1, pengendalian HPT dan gulma, penanganan panen dan pascapanen yang tepat, dapat meningkatkan produktivitas dan mutu benih sumber di lahan rawa pasang surut.

Daftar Pustaka

- Alihamsyah, T dan I. Noor. 2003. *Lahan Rawa Pasang Surut Pendukung Ketahanan Pangan dan Sumber Pertumbuhan Agribisnis*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 53 hlm.
- Annisa, W., B.H. Purwanto, dan D. Shiddieq. 2011. Pengaruh pemberian jerami padi dan purun tikus pada berbagai tingkat dekomposisi terhadap konsentrasi besi di tanah sulfat masam. *Jurnal Tanah dan Iklim* edisi Khusus Rawa, Juli 2011.
- Anwar, K. Dan D. Nursyamsi. 2014. Teknologi Pengendalian Pencemaran Akibat Oksidasi Pirit di Lahan Rawa Pasang Surut. Hal:301-323. Dalam: D. Nursyamsi *et al.* (Eds). *Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan*. IAARD Press Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura (BPSBTPH). 2015. *Sosialisasi Peraturan Perbenihan Tanaman Pangan*. Banjarbaru, BPSBTPH Provinsi Kalimantan Selatan.
- Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura (BPSBTPH). 2016. *Informasi Benih Bersertifikat dari Penangkar di Kalimantan Selatan*. Laporan Bulanan BPSBTPH Provinsi Kalimantan Selatan.

- Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi). 2014. Deskripsi Varietas. <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id> [28 September 2016].
- Diperta Barito Kuala. 2016. Perkembangan Luas Tanam Padi di Kabupaten Barito Kuala. Laporan Diperta Barito Kuala.
- Indrayati, L., A. Supriyo dan S. Umar. 2011. Integrasi teknologi tata air, amelioran dan pupuk dalam budidaya padi pada tanah sulfat masam Kalimantan Selatan. *Jurnal Tanah dan Iklim*, Edisi Khusus Rawa, Juli 2011.
- Irawan, B. 2008. Konvesri lahan sawah menimbulkan dampak negatif bagi ketahanan pangan dan lingkungan. *Warta Penelitian & Pengembangan Pertanian* 27(6):1-3.
- Khairullah, I., R. Wardah, A. Jumberi dan S. Sulaiman. 2005. Mekanisme toleransi keracunan besi pada varietas lokal padi (*Oryza sativa* L.) pasang surut di Kalimantan Selatan. *Agroscientiae* 47:38-50.
- Khairullah, I. L. Indrayati, A. Hairani dan A. Susilawati. 2011. Pengaturan waktu tanam dan tata air untuk mengendalikan keracunan besi pada tanaman padi di lahan rawa pasang surut sulfat masam potensial tipe B. *Jurnal Tanah dan Iklim*, Edisi Khusus Rawa, Juli 2011.
- Koesrini, Eddy William dan I. Khairullah. 2014. Varietas padi adaptif lahan rawa pasang surut. Hal: 97-118. *Dalam: D. Nursyamsi et al. (Eds). Dalam buku: Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian.
- Koesrini. 2016. Analisis kesesuaian varietas dan perbanyakan benih lahan rawa mendukung swasembada pangan. Laporan Akhir Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 48 hlm.
- Koesrini. 2017a. Perbanyakan Benih Sumber Padi Lahan Rawa. Laporan Akhir Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 28 hlm.
- Koesrini. 2017b. Seleksi Tanaman (*Roguing*) Dalam Produksi Benih Sumber Padi. *Info Teknologi Pertanian Rawa* 6(3):3.
- Koesrini, M. Saleh, dan S. Nurzakiah. 2017. Adaptabilitas varietas Inpara di lahan rawa pasang surut tipe luapan air B pada musim kemarau. *J. Agron. Indonesia* 45(2):117-123.
- Majerus, V., P. Bertin and S. Lutts. 2007. Effects of iron toxicity on osmotic potential, osmolytes and polyamines concentration in the Africa rice (*Oryza glaberrima* Steud). *Plant Science* 173:96-105.
- Marpaung, I.S. dan N.P.S. Ratmini. 2015. Efektivitas pupuk organik untuk meningkatkan produktivitas padi lahan pasang surut. *Prosiding Seminar Lahan Suboptimal*, Palembang, 26-27 September 2014. Hal:90-97.

- Mukhlis, Y. Lestari, dan M. Saleh. 2014. Efektivitas mikroba asal lahan rawa sebagai komponen pupuk hayati dalam meningkatkan produktivitas padi di lahan pasang surut. Hlm: 155-172. *Dalam: D. Nursyamsi et al. (Eds). Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian.
- Ningsih, R.N. dan K. Nafisah. 2013. Preferensi konsumen terhadap padi Inpara dan penampilan pertumbuhan di lahan rawa Kabupaten Barito Kuala. Prosiding Seminar Nasional Menggagas Kebangkitan Komoditas Unggulan Lokal Pertanian dan Kelautan. Madura, Juni 2013. Faperta Universitas Trunojoyo. P172-177.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah*. Jakarta: RajaGrafindo Persada. 241 hlm.
- Noor, A., I. Lubis, M. Ghulamahdi, M.A. Chozin, K. Anwar, dan D. Wirnas. 2012. Pengaruh konsentrasi besi dalam larutan hara terhadap gejala keracunan besi dan pertumbuhan tanaman padi. J. Agron. Indonesia 15(2):91-98.
- Nursyamsi, D. dan M. Noor. 2014. Prospek dan Strategi Pengembangan Padi Rawa Pasang Surut. Hlm: 1-21. *Dalam: D. Nursyamsi et al. (Eds). Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian.
- Pangeran. 2016. Rumus ubinan sistem tanam jajar legowo padi sawah. www.agronomi.pertanian.blogspot.com/.../rumus-ubinan-sistem-tanam-jajar-legowo.
- Pinem, R. 2007. Peraturan Menteri Pertanian dalam Rangka Sosialisasi Peraturan Perundang-undangan dan Apresiasi Hukum-Humas. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 24 hlm.
- Suprihatno, B., A.A. Daradjat, Satoto, Baehaki.... 2010. Deskripsi Varietas Padi. Balai Besar Penelitian tanaman Padi. Sukamandi. 113 hal.
- Suriadikarta, D.A. dan G. Sjamsidi. 2001. Teknologi peningkatan produktivitas tanah sulfat masam. Laporan Akhir Sumber Daya Lahan Tanah dan Iklim, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Hlm: 6-12.
- Thamrin, M., S. Asikin, dan D. Nazemi. 2014. Inovasi teknologi pengelolaan organisme pengganggu tanaman padi di lahan rawa pasang surut. Hlm: 173-219. *Dalam: D. Nursyamsi et al. (Eds). Varietas padi adaptif lahan rawa pasang surut. Dalam buku: Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian.

- Virmani, S.S. 1977. Varietal tolerance of rice to iron toxicity in Liberia. *International Rice Research News* 2(1):4-5.
- Wahyuni, S. 2012. Teknik produksi benih sumber padi. Bahan disajikan pada Workshop Perbenihan, 10 Juli 2012 di Sukamandi.
- Wahyunto. 2009. Lahan sawah di Indonesia sebagai pendukung ketahanan pangan nasional. *Informatika Pertanian* 18(2):133-152.
- Wirosudarmo, R. Dan U. Apriadi. 2008. Studi perencanaan poa tanam dan poa operasi pintu air jaringan rekamasi rawa Puau Rimau di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Pertanian* 3(1):56-66.

HAMA DAN PENYAKIT UTAMA TANAMAN JAGUNG DAN PENGENDALIANNYA DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Syaiful Asikin dan Maulia Aries Susanti

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru, Kalsel
syaifulasikin1958@gmail.com

Ringkasan

Dalam usaha memperluas areal pertanian di Indonesia terdapat beberapa jenis lahan yang dapat dimanfaatkan salah satunya adalah lahan rawa pasang surut. Di lahan rawa pasang surut, umumnya jagung ditanam pada lahan-lahan tipe luapan C dan D baik pada surjan maupun tabukan, secara monokultur atau tumpangsari dengan kedelai atau kacang tanah. Salah satu masalah bertanam jagung di lahan pasang surut selain faktor kesuburan tanah adalah gangguan hama dan penyakit. Gangguan hama penyakit dapat menyebabkan kerugian akibat berkurangnya hasil jagung, menurunnya kualitas hasil dan bahkan kegagalan panen. Adapun jenis hama penyakit jagung yang sering menyerang adalah, hama lalat bibit (*Atherigona oryzae*), belalang (*Locusta migratoria*), penggerek batang (*Ostrinia furnacalis*), penggerek tongkol (*Helicoverpa armigera*), dan ulat grayak (*Spodoptera litura*). Sedangkan penyakit antaranya bulai (*Peronosclerospora maydis*), busuk pelepah (*Rhizoctonia zeae*), bercak daun (*Bipolaris maydis*) dan karat (*Puccinia polysora*). Konsep pengendalian hama terpadu (PHT) dapat diterapkan untuk mengatasi gangguan hama dan penyakit tersebut. Alternatif pengendalian dapat dilakukan dengan varietas tahan untuk hama lalat bibit, penggerek batang jagung dan penyakit bulai, pengaturan waktu tanam, teknik bercocok tanam, pestisida nabati, pemanfaatan musuh alami hama serangga dan penggunaan pestisida kimiawi sebagai alternatif terakhir.

Pendahuluan

Pembangunan pertanian diutamakan untuk meningkatkan produksi pertanian terutama bahan pangan dengan tujuan memenuhi kebutuhan dalam negeri, hal ini dapat dilakukan dengan cara intensifikasi dan ekstensifikasi. Dalam usaha memperluas areal pertanian di Indonesia terdapat beberapa jenis lahan yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah lahan rawa pasang surut.

Lahan rawa pasang surut mempunyai sifat yang spesifik, diantaranya macam tipologi, jenis tanah, dan tipe genangan yang berbeda, spesifikasi tersebut mengandung makna bahwa potensinya sebagai lahan pertanian berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis tingkat kesesuaiannya berdasarkan besarnya faktor pembatas yang ada bagi sistem usaha pertanian yang akan dikembangkan. Lahan rawa pasang surut terletak di daerah datar, sehingga luapan dan genangan air secara periodik merupakan ciri khas yang dimilikinya. Sesuai karakteristik dan potensinya serta dikaitkan dengan kesiapan teknologinya, lahan rawa pasang surut sangat potensial untuk dijadikan lahan pertanian maju, walaupun masih banyak kendala dan permasalahan yang harus dicarikan solusinya (Rachmawati dan Retnaningrum 2013).

Menurut Widjaja-Adhi *et al* (1992 dalam Ar-Riza dan Alkasuma 2008), pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk pertanian akan menghadapi berbagai masalah diantaranya adalah kondisi luapan dan genangan air yang sangat variatif dari satu wilayah ke wilayah lain, jenis tanah yang sangat beragam dengan tingkat kesuburan yang rendah dan variatif, kemasaman tanah dan potensi racun pirit yang tinggi yang dapat mematikan tanaman, ketebalan dan tingkat kematangan gambut yang berbeda, serta kondisi petani yang masih lemah baik dari segi keterampilan maupun permodalan. Melihat karakteristik lahan dan kondisi sosial tersebut maka pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk pertanian memerlukan kecermatan dan kehati-hatian dalam perencanaan dan kesungguhan pelaksanaan pengembangannya.

Pada tahun 2015 target produksi padi ditetapkan 73 juta ton GKG, jagung 20 juta ton, dan kedelai 1,2 juta ton (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2015). Strategi utama untuk mencapai target tersebut ditempuh melalui peningkatan produktivitas dan perluasan area tanam.

Dalam mencapai kedaulatan pangan tersebut, berbagai tantangan dan kendala dihadapi, antara lain menurunnya kapasitas dan kualitas infrastruktur pertanian, konversi lahan sawah subur, degradasi lahan dan air, perubahan iklim, kerusakan lingkungan, dan lemahnya kapasitas sumberdaya manusia. Pemanfaatan sumberdaya pertanian yang ada perlu dioptimalkan melalui perbaikan infrastruktur dan peningkatan kapasitas sumberdaya manusia, serta penerapan inovasi teknologi yang dihasilkan lembaga-lembaga penelitian.

Salah satu sumberdaya lahan (agroekologi) yang tersedia dan belum dimanfaatkan secara optimal ialah lahan rawa pasang surut. Lahan rawa pasang surut merupakan salah satu tipe agroekologi yang mempunyai potensi cukup luas bagi pembangunan pertanian, khususnya tanaman pangan (Haryono 2013). Pengembangan pertanian lahan rawa pasang surut merupakan salah satu upaya dalam menjawab tantangan peningkatan produksi pertanian yang makin kompleks. Dengan pengelolaan yang tepat melalui penerapan inovasi teknologi yang sesuai, lahan rawa pasang surut memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian yang produktif.

Pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk mendukung program peningkatan produksi pangan nasional dapat dilakukan karena sudah tersedia berbagai inovasi teknologi (Suriadikarta 2011), seperti: (1) teknologi pengelolaan air dan tanah, meliputi tata air mikro, penataan lahan, ameliorasi dan pemupukan; (2) varietas unggul baru yang lebih adaptif dan produktif; dan (3) alat dan mesin pertanian yang sesuai untuk tipologi lahan tersebut.

Pengembangan dan optimalisasi pemanfaatan lahan rawa pasang surut juga menghadapi hambatan nonteknis, antara lain permodalan, ketersediaan tenaga kerja, dan penguasaan teknologi oleh petani.

Salah satu masalah bertanam jagung di lahan rawa pasang surut selain faktor kesuburan tanah adalah gangguan hama dan penyakit. Gangguan hama penyakit dapat menyebabkan kerugian akibat berkurangnya hasil jagung, menurunnya kualitas hasil dan bahkan kegagalan panen (Darman *et al.* 2014).

Peran pengendalian hama dan penyakit tanaman dalam kaitannya dengan kehidupan manusia, khususnya sistem pertanian dirasa semakin penting. Pengendalian hama dan penyakit telah berevolusi dari waktu ke

waktu sesuai dengan perkembangan pertanian itu sendiri. Sekarang ini pengendalian hama telah mencapai suatu tingkat yang cukup kompleks dalam suatu sistem manajemen pertanian terutama penggunaan insektisida yang tidak hanya mempengaruhi kehidupan serangga, tetapi juga sistem dan flora, lingkungan fisik dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif pengendalian yang bersifat ramah lingkungan yaitu penggunaan varietas tahan, pengendalian biologis, kultur teknis dan pemberian pestisida secara bijaksana kultur teknis, dan pemberian pestisida secara bijaksana (Susanto 2010; Asikin 2012)

Tanaman yang berkembang pesat dan mempunyai peran yang sangat strategis, baik dalam sistem ketahanan pangan maupun perannya sebagai penggerak roda ekonomi nasional. Tanaman jagung merupakan salah satu komoditas tanaman pangan penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Kebutuhan jagung nasional terus meningkat, terutama untuk pakan industri. Untuk pakan permintaan jagung sudah mencapai lebih dari 50% kebutuhan nasional. Hal ini menuntut perlunya upaya peningkatan produksi secara berkelanjutan (Kementan 2017). Pertanaman jagung di lahan pasang surut diusahakan petani diberbagai tipologi lahan diantaranya lahan potensial, sulfat masam dan bergambut. Teknologi budidaya tanaman jagung yang dilakukan petani belum berdasarkan budidaya sesuai anjuran dan pemupukan tidak sesuai rekomendasi serta tanpa penambahan bahan amelioran. Usaha peningkatan produksi tanaman tidak akan mampu meningkatkan pendapatan petani apabila tidak dibarengi perbaikan teknologinya. Keadaan ini tentunya memerlukan dukungan teknologi spesifik lokasi (Erdi dan Rubiah 2016).

Makalah bertujuan memberikan informasi mengenai jenis serangga hama dan serangga musuh alaminya, penyakit tanaman jagung utama dan teknik pengendaliannya di lahan rawa pasang surut.

Masalah dan Produksi di Lahan Rawa Pasang Surut

Potensi lahan rawa untuk pertanian lahan basah mencakup sekitar 14,18 juta hektar, namun sebagian besar sudah digunakan untuk pertanian lahan basah dan tanaman tahunan. Menurut BBSDLP (2014) lahan rawa pasang surut dan lebak yang berpotensi untuk perluasan lahan pertanian khususnya lahan sawah adalah sekitar 5,12 juta hektar. Dari luasan tersebut 1,19 juta hektar berada di kawasan APL, sekitar 1,18 juta hektar di

kawasan HPK, dan 2,75 juta hektar berada di kawasan HP. Lahan berpotensi tersebut tersebar terutama di 3 pulau besar, yakni Kalimantan, Papua, dan Sumatera, serta beberapa di Sulawesi. Lahan rawa pasang surut maupun rawa lebak seluas 5,12 juta hektar, berpotensi untuk dioptimalkan jadi persawahan. Untuk pengembangan rawa menjadi lahan sawah khususnya untuk pengembangan usaha tani padi di rawa melalui (1) peningkatan intensitas pertanaman/IP; (2) membuka areal baru di lahan rawa; dan (3) peningkatan produktivitas padi rawa melalui perbaikan kesuburan dan infrastruktur lahan.

Pengembangan dan pemanfaatan lahan rawa/gambut terpadu, merupakan upaya optimalisasi lahan rawa *existing* untuk dapat dijadikan lahan sawah produktif untuk mendukung ketahanan pangan nasional. Kebijakan Kementerian Pertanian pada kegiatan pengembangan dan pemanfaatan lahan rawa/gambut terpadu difokuskan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas hasil serta sekaligus dapat meningkatkan indeks pertanamannya (IP), melalui perbaikan/penyempurnaan infrastruktur sawah.

Produktivitas tanaman jagung masih rendah yaitu 2,21 t/ha, namun potensi tanaman jagung di lahan pasang surut cukup baik dan sebagai sumber pendapatan petani. Permasalahan petani jagung di lahan rawa pasang surut diantaranya (1) sebagian masih menggunakan benih lokal; (2) tidak melakukan pemupukan sesuai teknologi anjuran dan tanpa penambahan amelioran; (3) hama (setelah tanam umur 7-10 hari) dan babi (menjelang panen).

Serangga Hama dan Penyakit Utama Jagung

Hama utama tanaman jagung adalah lalat bibit (*Atherigona oryzae*), penggerek batang (*Ostrinia furnacalis*), penggerek tongkol (*Helicoverpa armigera*) dan ulat grayak (*Spodoptera litura*) (Abdullah dan Rauf 2011). Penyakit utama adalah bulai (*Peronosclerospora maydis*) dan busuk pelepah (*Rhizoctonia zeae*). Pada fase pertama pertumbuhan jagung, tidak banyak hama yang menyerang kecuali semut yang kadang-kadang mengurangi jumlah benih yang tumbuh. Fase pertumbuhan kedua dan ketiga banyak diserang berbagai hama ataupun penyakit, kemudian jumlahnya menurun pada fase keempat (Tabel 1).

Tabel 1. Hama dan penyakit jagung utama di lahan rawa pasang surut

Jenis	Fase Pertumbuhan Jagung ^{a)}					Keterangan
	1	2	3	4	5	
Hama						
Semut Merah	+	-	-	-	-	Hama Kedua
Ulat tanah	+	-	-	-	-	Hama Kedua
Lundi/uret) (<i>Phyllophaga hellen</i>)	+	+	-	-	-	Hama Kedua
<i>Atherigona oryzae</i>	++	-	-	-	-	Hama Utama
<i>Spodoptera litura</i>	-	+++	+	-	-	Hama Utama
<i>Mythimna separta</i>	-	++	-	-	-	Hama Kedua
<i>Chrysodeixia chalcites</i>	-	++	+	-	-	Hama Kedua
<i>Valanga</i> sp.	+	++	+	-	-	Hama Kedua
<i>Ostrinia furnacalis</i>	-	+	+++	++	-	Hama Utama
<i>Helicoverpa armigera</i> ^{b)}	-	+	+	++	-	Hama Utama
Lundi/Uret (<i>Phyllophaga hellen</i>)	-	+	+	-	-	Hama Kedua
Ulat tanah (<i>Agrotis ipsilon</i>)	+	+	-	-	-	Hama Kedua
<i>Rhopalosiphum maydis</i>	-	-	+	++	-	Hama Kedua
<i>Stenocranus bakeri</i>	-	+	++	++	+	Hama Kedua
Penyakit						
<i>Peronosclerospora maydis</i>	+	++	+++	++	+	Penyakit Utama
<i>Rhizoctonia solani</i>	-	+	+	-	-	Penyakit Kedua
<i>Helminthosporium maydis</i>	-	+	+	+	-	Penyakit Kedua
<i>Ustilago maydis</i>	-	-	++	+	-	Penyakit Kedua
Karat Daun Jagung (<i>Puccinia</i> sp)	-	-	+	+	+	Penyakit Kedua

a) 1=tanam sampai tumbuh;2=tumbuh hingga berbunga; 3=penyerbukan dan pembuahan; 4=pembentukan biji;

5=pemasakan hingga pengeringan biji dan batang; +=serangan ringan; ++=serangan sedang; +++=serangan berat.

b) bergeser ke hama utama.

Sumber: Asikin (2015)

Bioekologi Serangga Hama Utama Jagung

Lalat Bibit (*Atherigona Oryzae*)

Diketahui bahwa jagung varietas lokal asal Kalimantan Selatan sangat disenangi oleh lalat bibit untuk meletakkan telurnya. Lalat bibit meletakkan telur di permukaan daun pada saat sore hari. Panjang telur rata-rata 1,2` mm dengan lebar 0,3mm. Telur menetas 44-66 jam setelah diletakkan. Waktu penetasan telur berkisar antara pukul 16.00-03.00. Selama periode ini, kelembapan permukaan daun jagung relatif tinggi (Aditya *et al.* 2013). Setelah menetas menjadi larva, maka larva masuk ke dalam tanaman melalui pelepah atau gulungan daun sambil memakan jaringan tanaman. Lapisan air pada permukaan daun akan mempermudah masuknya larva ke dalam pelepah (Aditya *et al.* 2013). Kematian tanaman dapat terjadi akibat kerusakan pada titik tumbuh. Stadium larva berlangsung selama rata-rata 17 hari, kemudian masuk ke dalam tanah untuk membentuk pupa (Kalshoven 1981).

Pupa serangga ini terbentuk di dalam tanah, sekitar perakaran pertanaman jagung. Stadium pupa berlangsung rata-rata 8 hari. Imago lalat bibit berwarna kelabu yang panjangnya rata-rata 3 mm. Stadium imago berlangsung rata-rata 7 hari (Aditya *et al.* 2013)

Lalat bibit menyerang jagung pada masa pertumbuhan vegetatif awal dan serangan menurun jika tanaman sudah berumur 30 hari. Larva muda yang makan pada pangkal daun menimbulkan gejala seperti daun berlubang-lubang, pertumbuhan terhambat (Gambar 1), menguning, jaringan membusuk atau seperti gelaja sundep. Tanaman inang selain jagung dapat juga menyerang padi gogo dan rumput-rumputan seperti *Cynodon dactylon*, *Panicum repens* dan *Paspalum* sp (Gabriel 1971)



Gambar 1. Hama lalat bibit dan gejala serangannya

Sumber : <https://www.google.com/search?q=Foto>

Penggerek Batang Jagung (*Ostrinia Furnacalis*)

Imago penggerek batang mulai meletakkan telur pada tanaman yang berumur 2 minggu. Puncak peletakan telur terjadi pada saat pembentukan malai sampai keluar bunga jantan (Nafus *et al.* 1987 dalam John 2012; Aditya *et al.* 2013) Telur diletakkan secara berkelompok pada permukaan bawah daun dekat tulang daun, terutama pada daun muda yakni 3 daun teratas. Jumlah telur tiap kelompok sangat bervariasi antara 30-50 butir atau bahkan dapat lebih dari 90 butir. Pada stadia pembentukan malai, larva instar I hingga III memakan daun muda yang masih menggulung, kemudian pada stadia lanjut berada pada bunga jantan sekitar 60-100%. Larva instar IV hingga VI mulai membuat lubang pada bagian buku dan masuk ke dalam batang. Dalam satu lubang biasanya ditemukan lebih dari satu larva. Lama stadium larva 18-27 hari. Larva yang akan membentuk pupa membuat lubang yang ditutupi lapisan epidermis sebagai jalan keluar apabila dewasa. Pupa terbentuk dalam batang dengan panjang waktu stadium 5-10 hari.

Serangga dewasa atau ngengat dari penggerek batang jagung ini sangat menyenangi bunga jantan jagung. Menurut Gabriel (1971), puncak peletakan telur terjadi pada stadia pembentukan bunga jantan.

Hama penggerek batang dapat menyerang pada setiap fase pertumbuhan tanaman jagung, namun sejak akhir fase kedua sampai awal fase keempat merupakan fase yang paling rentan. Pada awal fase kedua (sebelum membentuk bunga) serangan penggerek batang cukup rendah, karena pada saat tersebut tanaman banyak membentuk enzim Dimboa yang dapat mempengaruhi tingkat serangan penggerek batang. Pada saat tanaman membentuk bunga, pembentukan enzim Dimboa berkurang, sehingga serangan penggerek batang meningkat. Disamping itu, penggerek batang juga tertarik dan menyenangi adanya bunga jantan jagung.

Salberd *et al.* (2016) mengemukakan bahwa larva yang menyerang tanaman jagung umur 2 hingga 4 minggu menyebabkan kerusakan pada daun, pucuk dan batang (Gambar 2), larva yang menyerang tanaman jagung umur 6 minggu menyebabkan kerusakan pada daun, batang, bunga jantan dan bunga betina (tongkol). Larva yang menyerang tanaman jagung umur 8 minggu menyebabkan kerusakan pada daun dan batang. Akibat serangan penggerek batang ini, batang tanaman banyak yang patah sehingga tanaman tidak menghasilkan tongkol yang sempurna.

Sebagian larva ditemukan makan pada sorgum, Coix, *Panicum viride*, *Amaranthus sp* dan berbagai jenis tumbuhan lain apabila tanaman jagung sudah dipanen (Kalshoven 1981).



Gambar 2. Penggerek batang jagung dan gejala serangannya

Sumber : <https://www.google.com/search?q=Foto>

Penggerek Tongkol (*Helicoverpa Armigera*)

Imago meletakkan telur pada jambul tongkol jagung pada malam hari. Seekor betina mampu bertelur 1000 butir. Stadium telur 2-5 hari hingga menjadi larva (Kalshoven 1981). Larva yang baru menetas akan memakan jambul tongkol, kemudian membuat lubang masuk ke tongkol. Larva akan meninggalkan kotoran pada tongkol dan tercipta iklim yang cocok untuk pertumbuhan jamur yang menghasilkan mikotoksin sehingga tongkol rusak. Penggerek ini juga dapat menyerang tanaman muda terutama pada pucuk atau malai yang dapat mengakibatkan tidak terbentuknya bunga jantan, berkurangnya hasil bahkan tanaman dapat mati (Khasanah 2008). Larva muda berwarna putih kekuning-kuningan dengan kepala hitam. Stadium larva yang berkisar antara 17-24 hari terdiri dari enam instar. Larva bersifat kanibal sehingga jarang dijumpai lebih dari 2 larva dalam satu tongkol. Larva instar terakhir akan meninggalkan tongkol dan membentuk pupa dalam tanah. Stadium pupa berkisar antara 12-14 hari. Perkembangan telur sampai menjadi imago sekitar 35 hari. Imago akan meletakkan telur

pada saat tanaman berbunga, sehingga larva mendapatkan tongkol yang cocok untuk perkembangannya. Imago tertarik terhadap sinar ultra violet, tidak tertarik terhadap lampu minyak biasa.

Helicoverpa sp terutama merusak tongkol jagung, sehingga kualitas jagung kalau dijual muda menjadi murah (Gambar 3). Tongkol dapat rusak secara keseluruhan kalau serangannya diikuti oleh tumbuhnya cendawan yang menghasilkan mikotoksin. Ulat penggerek tongkol bersifat polifag, akan tetapi lebih menyukai tongkol walaupun kadang-kadang dijumpai juga pada daun tanaman. Ulat ini juga menyerang tembakau, sorgum, kapas, tomat dan kacang-kacangan.



Gambar 3. Gejala serangan hama penggerek tongkol

Sumber: <https://www.google.com/search?q=Foto>

Ulat Grayak (*Spodoptera Litura*)

Imago meletakkan kelompok telur yang ditutupi dengan bulu-bulu berwarna coklat muda pada daun. Seekor betina *Spodoptera* sp dapat meletakkan telur sampai 1500 butir. Tiap kelompok telur terdapat 50-400 butir. Stadium telur berlangsung 3-5 hari. Kemampuan meletakkan telur meningkat dengan adanya kanibalisme diantara larva betina. Kanibalisme ini merupakan kompensasi dari miskinnya kualitas makanan dan merupakan faktor yang penting dalam dinamika populasi (Marwoto dan Suharsono 2008; Ramadhan *et al.* 2016)

Larva muda untuk sementara tinggal pada tempat peletakan telur dan menyerang secara berkelompok (Gambar 4). Pada siang hari, larva bersembunyi di dalam tanah dan aktif menyerang pada malam hari. Pola warna larva berbeda tergantung perilakunya. Pada kondisi berdesakan yaitu fase gregarious, larva berwarna gelap dan berperilaku aktif, sedang pada fase solitary, larva berwarna lebih terang dan berperilaku pasif. Larva dapat mencapai panjang 4-4,5 cm dengan stadium larva 13-18 hari (Kalshoven 1981).

Pupa terbentuk dalam tanah dengan panjang stadium sekitar 9 hari. Perkembangan dari telur sampai dewasa pada *Spodoptera sp* berkisar antara 29-31 hari. Serangga dewasa hidupnya pendek, namun dapat kawin beberapa kali dan meletakkan telur selama 2-6 hari.

Peledakan populasi ulat grayak dapat terjadi secara tiba-tiba dan juga cepat hilang. Peledakan populasi hama tersebut dikarenakan adanya perubahan iklim, terutama periode kering yang diikuti curah hujan dan kelembapan yang tinggi disertai dengan makanan yang melimpah. Seringkali ledakan populasi didahului oleh kondisi yang kurang menguntungkan bagi perkembangan parasitoid dan predator (Lestari *et al.* 2013).

Ada beberapa spesies dari genus *Spodoptera* yang merusak antara lain *S. mauritia*, *S. exempta* dan *S. litura*. Menurut Asikin (2015), jenis ulat grayak yang sering menyerang dan menimbulkan kerusakan pada tanaman jagung di daerah pasang surut pada umumnya dari genus *S. litura*. Hama ini merupakan hama yang polifag dapat menyerang tanaman padi, jagung, sorgum dan kacang-kacangan. Daun tanaman dapat dimakan habis sampai hanya tersisa tulang daunnya.



Gambar 4. Ulat grayak dan serangannya

Sumber: <https://www.google.com/search?biw>

Belalang (*Locusta Migratoria*)

Seekor betina mampu menghasilkan telur sekitar 270 butir. Telur ini berwarna keputih-putihan dan berbentuk buah pisang, tersusun rapi dalam tanah pada kedalaman sekitar 10 cm. Pada tahun 1998 terjadi ledakan populasi hama belalang di beberapa wilayah Indonesia. Selama tahun 1998 Provinsi Lampung mengalami kerusakan yang paling serius. Salah satu komoditas utama yang diserang oleh belalang kembara adalah tanaman tebu (John 2012).

Siklus hidup belalang kembara rata-rata 76 hari, sehingga dalam setahun dapat menghasilkan 4-5 generasi di daerah tropis, terutama di Asia Tenggara (Gambar 5). Di daerah subtropis, serangga ini hanya menghasilkan satu generasi per tahun. Belalang kembara (Gambar 5) mengalami tiga fase pertumbuhan populasi yaitu fase soliter, fase transien, dan fase gregaria. Pada fase soliter, belalang hidup sendiri-sendiri dan tidak menimbulkan kerusakan bagi tanaman. Pada fase gregaria, belalang kembara hidup bergerombol dalam kelompok-kelompok besar, berpindah-pindah tempat dan merusak tanaman secara besar-besaran. Perubahan fase dari soliter ke gregaria dan dari gregaria kembali ke soliter dipengaruhi oleh iklim, melalui fase yang disebut transien (Mawardi 2015). Pada fase soliter bentuk belalang kembara pronotumnya menonjol, dan ukuran tubuh cenderung lebih besar. Sedangkan fase gregarius, pronotum berbentuk datar dan ukuran tubuhnya lebih kecil (Kalshoven 1981).

Menurut Mawardi (2015); Lina dan Akhmadi (2016) nimfa mengalami lima instar (lima kali ganti kulit) dengan stadium nimfa terjadi selama 38 hari. Imago betina yang memiliki warna coklat kekuning-kuningan siap meletakkan telur setelah lima sampai 20 hari bergantung temperatur. Seekor betina mampu menghasilkan enam sampai tujuh kantong telur dalam tanah dengan jumlah 40 butir per kantong. Imago betina hanya membutuhkan satu kali kawin untuk meletakkan telur-telurnya dalam kantong-kantong. Sementara imago jantan yang memiliki warna kuning mengkilap berkembang lebih cepat dibandingkan dengan betinanya. Lama hidup dewasa adalah 11 hari. Siklus hidup rata-rata 76 hari sehingga dalam setahun dapat menghasilkan empat sampai lima generasi di daerah tropis utamanya Asia Tenggara, sementara di daerah Subtropis serangga ini hanya menghasilkan satu generasi per tahun.



Gambar 5. Hama belalang dan gejala serangannya

Sumber : <https://www.google.com/search?q>

Epidemiologi Penyakit Utama Jagung

Penyakit Bulai (*Peronosclerospora Maydis*)

Gejala serangan terlihat pada permukaan daun yaitu terdapat garis-garis sejajar dengan tulang daun dan berwarna putih sampai kuning, diikuti dengan garis-garis khlorotik sampai coklat bila infeksi makin lanjut (Gambar 6). Tanaman terlihat kerdil dan tidak berproduksi. Jamur berkembang secara sistemik sehingga bila patogen mencapai titik tumbuh, maka seluruh daun muda yang muncul mengalami khlorotik sedangkan daun pertama sampai keempat sebagian masih terlihat hijau. Ini merupakan ciri-ciri infeksi patogen melalui udara. Bila biji jagung sudah terinfeksi maka bibit muda yang tumbuh memperlihatkan gejala khlorotik pada seluruh daun, sehingga tanaman cepat mati. Pada permukaan bawah daun yang terinfeksi banyak terbentuk tepung putih yang merupakan spora patogen tersebut.

Patogen membentuk dua tipe hifa di dalam jaringan daun yaitu yang menjalar panjang, kurang bercabang dan yang banyak cabang berkelompok. Patogen membentuk haustoria dalam sel-sel inang untuk menyerap makanan (Badan Litbang Pertanian 2012).

Jamur dapat bertahan hidup sebagai miselium dalam embrio biji yang terinfeksi. Bila biji ditanam, jamur akan berkembang dan menginfeksi bibit selanjutnya (sumber inokulum). Infeksi terjadi melalui stomata daun muda (di bawah umur satu bulan) dan jamur berkembang secara lokal atau sistemik. Sporangia (konidia) dan sporangiopora dihasilkan oleh permukaan daun yang basah dalam gelap. Konidia berperan sebagai inokulum sekunder. Pembentukan spora patogen membutuhkan udara yang lembap (> 90%) dan hangat pada suhu sekitar 23°C serta gelap. Produksi sporangia (sporulasi) sangat banyak terjadi pada malam hari antara pukul 03.00-05.00. Kemudian spora tersebar oleh tiupan angin pada pagi hari sampai beberapa kilometer dan bila spora menempel pada daun jagung muda yang basah maka dalam waktu satu jam spora tersebut akan berkecambah kemudian menginfeksi daun melalui stomata. Penyebaran penyakit bulai ini ditemukan hampir di seluruh wilayah Indonesia, dengan kerugian yang diakibatkannya mencapai 100% bahkan terjadi gagal panen (Daryono *et al.* 2018).



Gambar 6. Penyakit bulai dan gejala serangannya

Sumber : <https://www.google.com/search?biw>

Kultivar Bisi-816, Lagaligo, dan Talenta sangat tahan terhadap bulai dengan persentase terinfeksi $< 10\%$. Ketiga kultivar tersebut merupakan kultivar komersial yang terbukti tahan terhadap infeksi bulai. Tanaman jagung kultivar Pioneer-21 terinfeksi sebanyak 23,47% termasuk agak tahan terhadap bulai. Kultivar yang sangat peka terhadap penyakit bulai dengan infeksi mencapai 90% adalah kultivar Gama GS, Gama SG dan Pulut. Hasil penelitian ini sesuai dengan deskripsi yang menyatakan bahwa kultivar Talenta, Lagaligo dan Bisi 816 tahan terhadap bulai. Pioneer 21 agak tahan terhadap bulai dan Pulut tidak tahan terhadap bulai. (Daryono *et al.* 2018)

Busuk Pelepah (*Rhizoctonia Zeae*)

Gejala serangan pada tahap awal tampak bercak jamur berwarna salmon pada permukaan pelepah, kemudian berubah menjadi abu-abu pudar (Gambar 7). Bercak meluas dan terpisah-pisah seperti gejala panu dan sering diikuti pembentukan sklerotia dengan bentuk tidak beraturan yang terkesan seperti cipratan tanah, berwarna salmon sampai coklat gelap.

Rhizoctonia zeae bertahan hidup sebagai miselium istirahat dan sklerotia dalam biji, tanah dan sisa-sisa tumbuhan di lapang. Apabila lingkungan mendukung, sklerotia berkecambah/memperbanyak diri dan menyebar melalui pelepah daun dengan cara bersama sampai ke tongkol. Hifa tersebut dicirikan dengan penyempitan pada sudut percabangan yang tegak lurus. Jamur tidak memproduksi spora (Badan Litbang Pertanian 2012). Tanah yang basah dengan cuaca hangat dan lembap merangsang pertumbuhan

sklerotia dan miselia istirahat. Pada keadaan tanah yang kering, sklerotia dapat bertahan hidup cukup lama hingga bertahun-tahun dan merupakan sumber inokulum utama. Varietas jagung dengan pelepah daun yang rapat sampai ke tanah paling mudah terinfeksi. Jamur ini dikenal mempunyai banyak ras atau kelompok strainnya.

Penyakit busuk pelepah mulai muncul setelah tanaman berumur sekitar satu bulan. Jamur ini juga berkembang pada sisa-sisa tanaman yang tertinggal di dalam tanah. Jamur menginfeksi batang jagung secara langsung atau melalui luka yang biasanya terjadi pada saat hujan deras. Genotipe DPC004 memiliki ketahanan yang paling tinggi terhadap penyakit bercak turcicum dan busuk pelepah. Genotipe ini dikategorikan tahan terhadap penyakit bercak turcicum di lokasi penelitian Pandu dan sangat tahan terhadap busuk pelepah dan upih. Untung (2001) menyatakan bahwa tanaman dikatakan tahan apabila tanaman tersebut menderita lebih sedikit dibandingkan tanaman lain. Ketahanan tanaman terhadap penyakit dapat diduga disebabkan karena dua hal yakni: (1) daerah adaptasi masing-masing genotipe berbeda; (2) beberapa genotipe memiliki gen ketahanan horizontal ataupun ketahanan vertikal (Latifahani *et al.* 2014)



Gambar 7. Penyakit busuk pelepah dan gejala serangannya

Sumber : <https://www.google.com/search?biw>

Penyakit Bercak Daun (*Bipolaris Maydis*)

Penyebab penyakit bercak daun adalah cendawan *Helminthosporium turcicum* Pass. atau *Helminthosporium maydis* Nisik (Gambar 8). Gejala serangan menurut (Soenartiningih *et al.* 2015) tanaman jagung yang terserang cendawan ini menunjukkan tanda-tanda atau adanya gejala berupa bercak coklat kelabu seperti jerami pada permukaan daun dengan ukuran panjang 4 cm dan lebar 0,6 cm untuk *Bipolaris maydis* dan untuk

H.turcicum mempunyai ukuran panjang 5-15 cm dan lebar 1-2 cm. Penyakit bercak daun jagung perkembangannya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yaitu suhu dan kelembapan. Suhu optimal untuk perkembangan penyakit ini antara 20-30°C, dengan kelembapan relatif udara >90% (Pakki 2005; Wakman dan Burhanuddin 2007). Beberapa laporan tentang kehilangan hasil akibat serangan penyakit ini berkisar 5-50%, dan apabila penyakit ini menyerang pertanaman jagung sebelum bunga betina muncul, maka penurunan hasil dapat mencapai 50%.



Gambar 8. Penyakit bercak daun

Sumber : <https://www.google.com/search?q>

Penyakit Karat (*Puccinia Polysora*)

Dikenal dua spesies penyebab penyakit karat pada jagung yaitu *Puccinia sorghi* dan *P. polysora* (Gambar 9). Spesies dominan yang dilaporkan menyerang pertanaman jagung di Indonesia adalah *P. polysora* (Mahfud 2012). *P. polysora* umumnya ditemukan di dataran rendah pada wilayah tropika sehingga sering disebut sebagai *Tropical rust diseases*. Sedangkan *P. sorghi* lebih banyak terdapat di wilayah sentra pengembangan jagung di pegunungan dengan iklim sedang (Irawan *et al.* 2013).

Karakter infeksi *P. polysora* adalah bersifat *saprophyt*, tidak dapat hidup pada sisa media mati imbah tanaman, hanya dapat bertahan hidup pada inang yang tumbuh. Tipe infeksi di lapangan adalah mulai menginfeksi pada daun tengah ke bagian daun yang terletak pada bagian atas, infeksi ditandai dengan adanya pustul kecil berwarna merah kecoklatan yang

menyebarkan pustul di bagian bawah daun dan atas. Pustul memperbanyak diri dan dapat menginfeksi keseluruhan bagian tanaman. Pada serangan yang berat pustul karat menginfeksi batang.

Selain inang utama jagung, *P. polysora* bertahan hidup pada gulma liar yang tumbuh disekitar areal pertanaman jagung. Pada saat tidak ada pertanaman jagung, karat diduga melanjutkan hidup pada gulma liar. Kelompok tanaman sereal lain yang menjadi inang alternatif *P. polysora* adalah *plume grasses*, *gama grasses* dan *teosisthe* (Aditya *et al.* 2013).

Kompleksitas gejala karat dipengaruhi oleh tingkat ketahanan varietas, umur tanaman saat terjadi infeksi dan spesies yang menginfeksi. Tanaman jagung yang terinfeksi karat menunjukkan gejala yang kompleks, yaitu mengeringnya sebagian daun yang diikuti oleh infeksi pada bagian batang dan menyebabkan matinya sebagian tanaman.



Gambar 9. Gejala penyakit karat

Sumber <https://www.google.com/search?q=Penyakit>

Teknologi Pengendalian

Hama Lalat Bibit

Hama ini dapat dikendalikan dengan cara penggunaan mulsa, waktu tanam yang lebih awal, penggunaan varietas tahan dan insektisida. Sedangkan pemanfaatan musuh alami yang efektif masih belum banyak diketahui.

Varietas tahan. Menurut Adnan (2009) ditemukan 22 aksesori tahan terhadap hama lalat bibit. Varietas disebut agak tahan apabila tingkat intensitas serangan antara 34-48% dan disebut tahan apabila tingkat serangannya mencapai antara 15-24%. Pada kelompok yang tahan terhadap lalat bibit, yang paling rendah tingkat intensitas serangannya adalah varietas Pulut Lokal (No. reg. 562) dan G. lokal (No. reg. 571), masing-masing sebesar 15 dan 18%. Dengan demikian populasi larva sangat berpengaruh terhadap tingkat intensitas serangan lalat bibit.

Penggunaan mulsa. Pemberian mulsa di atas lubang tanam segera setelah penanaman benih dapat menghambat peletakan telur lalat bibit pada tanaman yang baru tumbuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian mulsa jerami padi sebanyak 5; 7,5 dan 10 ton/hektar dapat meningkatkan hasil jagung berturut-turut 26, 36, dan 48% dibandingkan tanpa mulsa. Jenis mulsa lain yang dapat digunakan untuk mengendalikan lalat bibit jagung adalah jerami glirisidia, kaliandra dan alang-alang (Asikin 2010).

Waktu tanam. Penanaman jagung lebih awal yaitu pada awal musim hujan atau paling lambat 1-4 minggu setelah terjadi hujan pertama ternyata dapat menekan intensitas serangan lalat bibit sebesar 1,5-8,55%. Intensitas kerusakan yang disebabkan lalat bibit pada perlakuan tanam minggu ke enam setelah mulai musim hujan cukup tinggi yaitu 15,75-22,55% (Asikin 2011). Tanam pada awal musim hujan (Oktober dan November) dapat menghindarkan bibit jagung dari serangan lalat bibit, karena curah hujan masih rendah.

Musuh alami. Menurut Kalshoven (1981), ada parasitoid yang menyerang lalat bibit, tetapi parasitoid tersebut kurang efektif. Walaupun demikian menurut Asikin (2015), banyak spesies musuh alami yang ditemukan pada pertanaman jagung yaitu *Lycosa sp*, *Oxyopes sp*, *Argiope sp*, *Collitrichia sp*, *Paederus sp*, *Micraspis sp*, *Coccinella sp*, *Solenopsis sp* dan *Euborellia sp*, sedangkan dari jenis parasitoid adalah *Cardiochiles sp* dan *Argyrophylox sp*.

Insektisida. Penggunaan insektisida untuk pengendalian lalat bibit dapat dilakukan dengan cara penyemprotan, ditanamkan ke dalam tanah, diberikan melalui pucuk dan perawatan benih. Insektisida cairan yang efektif adalah *monokrotofos* dan *isoxation* dengan konsentrasi 4 cc/liter air diberikan pada saat tanaman berumur 7 hari setelah tanam dengan cara disemprotkan. Pengendalian melalui tanah dapat dilakukan dengan cara

memberikan insektisida karbofuran pada lubang tanam dengan takaran kurang lebih 17 kg/ha, sedangkan melalui pucuk tanaman diberikan sebanyak 1-2 butir/tanaman atau 150-200 g/ha. Pengendalian dengan perawatan benih dapat dilakukan dengan cara mencampur benih dengan insektisida karbosulfan dengan takaran 15 g formulasi/kg benih.

Penggerek Batang Jagung (*Ostrinia Furnacalis*)

Alternatif pengendalian hama penggerek batang jagung yang dapat dilakukan antara lain penggunaan varietas tahan, musuh alami, waktu tanam, pemangkasan bunga jantan dan insektisida.

Varietas tahan. Terutama varietas-varietas hibrida, agak tahan terhadap hama dan penyakit, terutama penyakit bulai. Menurut Pajrin *et al.* (2013). Ada perbedaan respon ketahanan varietas Bonanza, Paramita dan Kumala terhadap intensitas serangan penyakit Bulai yang disebabkan oleh cendawan *Peronosclerospora maydis*. Rata-rata intensitas serangan penyakit Bulai (*P. maydis*) pada varietas Bonanza adalah (58,30%) dan tergolong peka (rentan) terhadap penyakit Bulai (*P. maydis*). Kemudian diikuti oleh varietas Kumala (47,83%) yang dapat dikategorikan sebagai varietas agak peka (rentan), sedangkan varietas Paramita (36,56%) dapat dikategorikan sebagai varietas yang tahan terhadap serangan penyakit Bulai (*P. maydis*).
→ bukan untuk hama penggerek.

Pengendalian dengan cara kultur teknis yaitu dengan mengatur waktu tanam jagung, terutama tanam lebih awal musim hujan atau paling lambat 1-4 minggu setelah mulai musim hujan pertama ternyata dapat menekan intensitas serangan hama lalat bibit, penggerek batang dan serangan penyakit bulai (Asikin 2011)

Pemangkasan bunga jantan. Menurut Herliani dan Fitriani (2017)), pengendalian dengan cara kultur pemangkasan bunga jantan cukup baik untuk menekan serangan penggerek batang. Dengan pemotongan sebagian dari bunga jantan (4 dari 6 baris) dapat mengurangi serangan penggerek batang jagung. Pemangkasan bunga jantan ini dapat dilakukan $\frac{1}{2}$ atau $\frac{3}{4}$ bagian, pada saat tanaman berumur 50-75 hari.

Tabel 2. Keanekaragaman serangga musuh alami hama jagung di lahan rawa pasang surut pada tanaman jagung

Tanaman	Skor	Keterangan
<i>Parasitoid</i>		
<i>Cardiochiles sp</i>	++	Sedang
<i>Telenomus rowani</i>	+++	Tinggi
<i>Tetrastichus schoenobii</i>	++	Sedang
<i>Trichogramma sp</i>	++	Sedang
<i>Apanteles sp</i>	+++	Tinggi
<i>Jenis tabuhan</i>	+++	Tinggi
<i>Cardiochiles sp</i>	+	Rendah
<i>Lalat tachinida</i>	++	Sedang
<i>Argyropylax sp</i>	++	Sedang
<i>Predator</i>	+++	Tinggi
<i>Tetragnatha sp</i>	+++	Tinggi
<i>Lycosa sp</i>	++	Sedang
<i>Paederus sp</i>	++	Sedang
<i>Ophionea ishii ishii</i>	+	Rendah
<i>Ophioneo indica</i>	++	Sedang
<i>Orthetrum sabina sabina</i>	++	Sedang
<i>Agriocnemis femina femina</i>	+	Rendah
<i>Oxyopes sp</i>	++	Sedang
<i>Coccinella sp</i>	++	Sedang
<i>Solenopsis sp</i>	++	Sedang
<i>Micraspes sp</i>	++	Sedang
<i>Conosephalus longipennis</i>	++	Sedang
<i>Euborellia sp</i>	++	Sedang
<i>Argiope sp</i>	++	Sedang
<i>Callirichia sp</i>	+	Rendah
Jenis kepik		

+++=tinggi; ++=sedang; +=rendah

Sumber: Asikin (2015)

Musuh alami. Di lahan pasang surut Kalimantan Selatan ditemukan beberapa spesies musuh alami penggerek batang jagung yaitu dari ordo Coleoptera, Arachnida dan Dermaptera (Tabel 2). Cendawan *Beauveria bassiana* merupakan agensia hayati yang mempunyai prospek untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida, karena perbanyakannya mudah dilakukan, menggunakan bahan murah dan peralatan yang sederhana. Percobaan di laboratorium menunjukkan bahwa aplikasi spora cendawan *B. bassiana* pada konsentrasi 5×10^5 - 10^7 efektif meningkatkan mortalitas penggerek batang. Aplikasi di lapang dengan konsentrasi 5×10^{10} sudah dapat menekan kerusakan daun maupun lubang gerakan pada batang.

Insektisida. Pemberian insektisida granular melalui pucuk (1-2 butir/tanaman) cukup efektif menekan serangan penggerek batang kerusakan yang disebabkan sangat rendah.

Penggerek Tongkol (*Helicoverpa Armigera*)

Hayati. Musuh alami yang digunakan sebagai pengendali hayati dan cukup efektif untuk mengendalikan penggerek tongkol adalah *Trichogramma* spp yang merupakan parasit telur dimana tingkat parasitasi *Trichogramma* spp. pada hampir semua tanaman inang *H. armigera* sangat bervariasi dengan angka maksimum 49%, sementara menurut Lihawa *et al.* (2010) tingkat parasitasi *T. bactrae fumata* terhadap telur *H. armigera* mencapai 100% . *Eriborus argentiopilosa* (Ichneumonidae) parasit pada larva muda. Dalam kelembapan cukup, larva juga diinfeksi oleh *Metarhizium anisopliae*.

Ulat Grayak (*Spodoptera Litura*)

Musuh alami. Beberapa jenis musuh alami ulat grayak ditemukan di lahan pasang surut. Untuk jenis parasitoid antara lain *Apanteles* sp., *Telenomus rowani*, *T. schoenobii*, *Trichogramma* sp. dan beberapa jenis tabuhan. Untuk jenis predator dominan antara lain jenis laba-laba, kumbang karabit serta jenis kepik pemangsa ulat (Asikin 2012).

Insektisida Kimiawi. Penggunaan insektisida yang berbahan aktif monokrotofos, triazofos, diklorofos, dan karbofuran efektif untuk menekan serangan penggerek batang jagung. Insektisida dianjurkan apabila telah ditemukan 1 kelompok telur per 30 tanaman.

Insektisida cair atau semprotan hanya efektif saat masih fase telur dan larva instar I sampai III sebelum larva masuk ke dalam batang. Sementara pengendalian dengan menggunakan insektisida granul yang bersifat sistemik yang dapat dilakukan melalui pucuk daun atau akar dapat mengendalikan semua stadium penggerek batang.

Insektisida Nabati. Insektisida yang efektif terhadap hama ulat grayak diperkirakan sekitar 50 jenis ekstrak tumbuhan yang efektif terhadap hama ulat grayak diantaranya seperti tanaman kepayang, gulma krinyu, gulma Babadotan, Bintaro, Galam, Jingah, Jingkol dan Jingah (Asikin 2015).

Penyakit Bulai (*Peromosclerospora Maydis*)

Varietas tahan yang mampu mengurangi serangan penyakit bulai adalah Kalingga, Arjuna, Wiyasa, Bromo dan, Parikesit serta beberapa jenis jagung hibrida.

Menurut Muis *et al.* 2013 didapatkan sebanyak 93 aksesi (varietas lokal dan galur) telah terkumpul dari sejumlah lokasi di Indonesia serta dari Kelompok Peneliti Pemuliaan Tanaman Balai Penelitian Tanaman Serealia dan 82 aksesi yang terdapat individu tahan terhadap bulai. Varietas atau galur jagung tersebut dapat digunakan sebagai tetua dalam pemuliaan terutama untuk bahan ketahanan terhadap penyakit bulai.

Menurut Subekti dan Pramudyani (2016), beberapa varietas jagung hibrida, diantaranya adalah Bima2, Bima5, dan Bima10, memperlihatkan reaksi tahan terhadap penyakit bulai, sehingga dapat digunakan sebagai benih pada pertanaman jagung, terutama di daerah endemik penyakit bulai seperti di Kediri, Jawa Timur dan Bengkayang, Kalimantan Barat, serta produksi di beberapa sentra jagung lainnya di Indonesia.

Pengaturan waktu tanam cukup berpengaruh terhadap intensitas serangan penyakit bulai. Pada jagung yang ditanam di awal mulai musim hujan, yaitu 1-4 minggu setelah mulai musim hujan, intensitas kerusakan akibat bulai hanya 1-2%, tetapi pada jagung yang ditanam setelah curah hujan mulai tinggi intensitas kerusakannya meningkat (Asikin 2009).

Busuk Pelepah (*Rhizoctania Zeae*)

Alternatif pengendalian penyakit busuk pelepah antara lain melakukan sanitasi atau pembersihan dari sisa-sisa tanaman yang terserang, menanam varietas tahan serta waktu tanam yang tepat yaitu pada awal musim kemarau. Aplikasi pemberian agensia hayati *Trichoderma sp* dan *Gliocladium sp* secara tunggal tidak berbeda nyata dengan pemberian agensia hayati *Trichoderma sp* dengan *Gliocladium sp* secara gabungan yang mampu menekan intensitas penyakit sampai 90%. *Aspergillus sp* dapat dipakai sebagai agensia hayati tetapi efektivitasnya rendah (Mulyati 2009)

Pengendalian secara kultur teknis. Pengaturan waktu tanam cukup berpengaruh terhadap intensitas serangan penyakit bulai dan busuk pelepah daun jagung. Pada jagung yang ditanam di awal mulai musim hujan, yaitu 1-4 minggu setelah mulai musim hujan, intensitas kerusakan akibat

bulai hanya 1-2%, tetapi pada jagung yang ditanam setelah curah hujan mulai tinggi intensitas kerusakannya meningkat (Asikin 2009).

Pengendalian Secara Biologi dengan *Bacillus Subtilis*

Penggunaan *B. subtilis* adalah bakteri antagonis yang ditemukan di air, tanah, udara, dan residu tanaman yang telah membusuk. Jika *B. subtilis* dibalutkan pada biji atau benih tanaman maka bakteri tersebut akan berkembang pada sistem perakaran tanaman.

Penutup

Pada pertanaman jagung di lahan pasang surut di Indonesia pada umumnya serangga hama yang menyerang adalah beberapa jenis hama antara lain hama lalat bibit (*Atherigona oryzae*), hama perusak daun (*Spodoptera litura*, *Mythimna separata*, *Chyrodeixis chalcites*, *Valanga sp.* dan *Rhopalosiphum maydis*), penggerek batang (*Ostrinia furnacalis*) dan penggerek tongkol (*Helicoverpa armigera*). Akan tetapi yang sering menimbulkan kerusakan yang berarti adalah lalat bibit, penggerek batang, penggerek tongkol dan ulat grayak.

Alternatif pengendalian dapat dilakukan dengan penggunaan varietas tahan untuk hama lalat bibit dan penggerak batang. Pengendalian dapat juga dilakukan dengan pengaturan waktu tanam, kultur teknis pemanfaatan musuh alami hama dan penggunaan insektisida sebagai alternatif terakhir.

Jenis penyakit utama yang ditemukan adalah penyakit bulai (*Peronosclerospora maydis*) dan penyakit busuk pelepah (*Rhizoctonia zeae*). Selain itu ditemukan juga *Helminthosporium maydis* dan *Ustilago maydis*. Penyakit bulai dapat dicegah dengan penggunaan varietas tahan, benih sehat, penanaman serempak serta penggunaan fungisida untuk perlakuan benih dan pertanaman. Penyakit busuk pelepah dapat dicegah dengan sanitasi, varietas tahan, pengaturan waktu tanam dan aplikasi cendawan *Trichoderma harzianum*.

Daftar Pustaka

- Abdullah, T dan A. Rauf, 2011. Karakteristik populasi dan serangan penggerek jagung Asia, *Ostrinia Furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae), dan hubungan dengan kehilangan hasil. *J. Fitomedika* 7(3):175-181.
- Aditya, S, Hasanuddin dan Mukhtar, I. P. 2013. Uji ketahanan beberapa varietas dan pengaruh jarak tanam terhadap penyakit karat daun (*Puccinia polysora* Underw) pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) di dataran rendah. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(4): 1462-1667.
- Ar-Riza dan Alkasuma 2008. Pertanian lahan rawa pasang surut dan strategi pengembangannya dalam era otonomi daerah, 2(2):85-104.
- Asikin, S. 2015. Organisme pengganggu tanaman jagung dan musuh alamnya di lahan rawa pasang surut. Kegiatan Hama Penyakit Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru, 21 hlm.
- Asikin, S. 2012 Uji efikasi ekstrak tumbuhan rawa untuk mengendalikan hama ulat grayak skala laboratorium. *Jurnal Agroscentiae* 19 (3):178-183
- Asikin, S. 2011. Pengaturan waktu tanam jagung terhadap penyakit bulai. Laporan Hasil Kegiatan Hama Penyakit. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. 9 hlm.
- Asikin, S. 2010. Hama penyakit dan musuh alami jagung di lahan rawa pasang surut. Laporan Kegiatan Hama Penyakit Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. 16 hlm.
- Asikin, S. 2009. Penentuan waktu tanam jagung terhadap serangan hama dan penyakit jagung. Laporan Kegiatan Hama Penyakit Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. 12 hlm.
- Badan Litbang Pertanian. 2012. Penyakit bulai pada tanaman jagung dan teknik pengendaliannya. Agroinovasi Sinartani, Edisi 25-31 Januari, No. 3441 Tahun XLI. Hlm.13-16.
- BBSDLP 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi. Laporan Teknis 1/BBSDLP/10/2014, Edisi ke-1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 56 Hlm.
- Daryono, B.S., Purnomo dan Anisa. P. 2018. Uji ketahanan tujuh kultivar jagung (*Zea mays* L.) terhadap penyakit bulai (*Peronosclerospora* spp.). *Jurnal Biogenesis*, 6(1): Hlm. 11-17.
- Darman, M. A, Busyra, B. S dan Enrizal 2014. Pengembangan inovasi petanian di lahan rawa pasang surut mendukung kedaulatan pangan. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian* 7(4):169-179.

- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 2015. *Pedoman teknis GP-PTT jagung 2015*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Edi, S. 2013. Penampilan beberapa galur dan varietas jagung di lahan Kering. *Jurnal Agroekoteknologi*, 2(3): 138-146.
- Erdi, S dan Rubiah. 2016. Kelimpahan musuh alami (predator pada tanaman jagung di desa Saree Kecamatan Lembah Seulawah Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Serambi Saintia*, IV(2):10-18.
- Gabriel, B.P. 1971. Insect pests of field corn in the Philippines. Tech. Bull No.26. Depart. of Agric. Communications in Cooperation with Depart. of Entomol. College, Laguna. 17p.
- Herliani. N dan W. Fitriani (2017). Pengaruh persentase pemangkasan daun dan bunga jantan terhadap hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.), *Jurnal Biodjati* 2(2):115-125.
- Haryono. 2013. *Lahan Rawa: Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia*. IAARD Press, Jakarta. 141 hlm.
- Irawan. D, Hasanuddin dan Lubis. L. 2013. Uji ketahanan beberapa varietas jagung (*Zea mays* L.) terhadap penyakit karat daun (*Puccinia polysora* Underw.) di dataran rendah. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(3): 759-767
- John. A.P 2012. Teknik pengendalian hama *Ostrinia furnacalis* pada tanaman jagung manis, *Jurnal Agroforestri* (1):50-58.
- John A. P 2012. Kajian populasi dan intensitas kerusakan hama utama tanaman jagung di desa Waeheru Kecamatan Baguala kota Ambon. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 8(1): 46-50.
- Kementan. 2017. *Petunjuk Pelaksanaan Kegiatan Budidaya Jagung Tahun 2017*. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 108 hlm.
- Khasanah, N 2008. Pengendalian hama penggerek tongkol jagung *Helicoverpa armigera* Hubner. (Lepidoptera: Noctuidae) DENGAN *Beauveria bassiana* strain lokal pada pertanaman jagung manis di Kabupaten Donggala. *J. Agroland* 15 (2): 106 - 111.
- Kalshoven, L.G.E. 1981. *The pest of crops in Indonesia*. (Rev. and Translated by P.A. van der Laan). PT. Ihtiar Baru, Van Hoeve. Jakarta. 701p.
- Lina. K, A. Noor Akhmadi 2016. Ekstrak daun mimba terhadap mortalitas hama belalang kembara. *Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 1(1): 56-68.
- Latifahani, N., A. Cholil, S. Djauhari. 2014. Ketahanan beberapa varietas jagung (*Zea mays* L) terhadap serangan penyakit hawar daun (*Exserohilum turcicum* Pass. Leonard et Sugss). *Jurnal HPT*, 2 (1): 52-60.

- Lestari, S., Trisnowati Budi Ambarningrum dan Hery Pratiknyo. 2013. Tabel hidup *Spodoptera litura* Fabr. dengan pemberian pakan buatan yang berbeda. Jurnal Sains Veteriner 31(2):166-179.
- Lihawa M, M), Witjaksono dan Nugroho S P 2010.. Survei penggerek batang jagung dan kompleks musuh alamnya di Provinsi Gorontalo. Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia, (16), 2: 82-87.
- Muis. A., Nurnina.N. dan M.B. Pabendon. 2013. Skrining galur/varietas lokal jagung terhadap penyakit bulai. Seminar Nasional Serealia, 2013. 9 hlm.
- Mulyati. S 2009. Pengendalian penyakit hawar pelepah daun (*Rhizoctonia solani*) menggunakan beberapa agensia hayati golongan cendawan pada tanaman jagung (*Zea mays*). Jurnal Agronomi, 13(2): 37-43.
- Muzemu, S., J. Chitamba, and B. Mutetwa. 2013. Evaluation of *Eucalyptus tereticornis*, *Tagetes minuta*, and *Carica papaya* as stored maize grain protectants against *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). Agric. Forestry Fish. 2(5): 196-201.
- Marwoto dan Suharsono. 2008. Strategi dan komponen teknologi pengendalian ulat grayak (*Spodoptera litura* Fabricius) pada tanaman kedelai. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang. Jurnal Litbang Pertanian 27 (4): 131-136.
- Pajrin, J., J. Panggesso dan Rosmini. 2013. Uji ketahanan beberapa varietas jagung (*Zea mays* L.) terhadap intensitas serangan penyakit bulai (*Peronosclerospora maydis*). e-J. Agrotekbis 1 (2): 135-139.
- Ramadhan, R. A.M, L. T. Puspasari, Rika Meliansyah, Rani Maharani, Yusup Hidayat dan Danar Dono. 2016. Bioaktivitas formulasi minyak biji *Azadirachta indica* (A. Juss) terhadap *Spodoptera litura* F. Jurnal Agrikultura, 27 (1):1-8.
- Rachmawati, D. dan Retnaningrum, E 2013. Pengaruh tinggi dan lama penggenangan terhadap pertumbuhan padi kultivar sintanur dan dinamika populasi rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Jurnal-Bionatura Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik, 15(2): 117 – 125.
- Salberd. F R, I.M. Sudarma dan G. Wijana. 2016. Dinamika populasi hama dan penyakit utama tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt) pada lahan basah dengan sistem budidaya konvensional serta pengaruhnya terhadap hasil di Denpasar-Bali. Jurnal AGROTROP, 6 (2):128 - 136
- Subekti. A dan L. Pramudyani 2016. Ketahanan beberapa varietas unggul jagung terhadap penyakit bulai di Kaliman Barat. Hlm. 591-597. Dalam Yasin *et al* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi

- Pertanian. Banjarbaru, 20 Juli 2016
- Susanto, R.H, 2013. Potensi dan strategi pemanfaatan lahan basah untuk pertanian, peternakan dan perikanan. Makalah pada seminar nasional lahan suboptimal. Palembang 20-21 September 2013. 38 hal.
- Soenartiningsih, M. Akil dan N.N. Andayani. 2015. Cendawan tular tanah (*Rhizoctonia solani*) penyebab penyakit busuk pelepah pada tanaman jagung dan sorgum dengan komponen pengendaliannya. Jurnal IPTEK Tanaman Pangan 10(2): 85-92.
- Suriadikarta, D.A. 2011. Teknologi pengelolaan lahan gambut yang berkelanjutan. hlm. 716-736. Dalam Inounu *et al* (Eds.). *Pembangunan Pertanian Berbasis Iptek Hasil Penelitian*. Buku 2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Susanto, R. H. 2010. Pengelolaan lahan rawa untuk pembangunan berkelanjutan, Seminar Universitas Sriwijaya, Inderalaya 6 September 2010. 63 Hlm.

TEKNOLOGI PENINGKATAN EFISIENSI DAN EFEKTIVITAS PEMUPUKAN TANAMAN PADI DI LAHAN RAWA

Wahida Annisa dan Hendri Sosiawan

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jalan Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru
Email: annisa_balittra@yahoo.com

Ringkasan

Sebagai sumber hara, pupuk merupakan sarana produksi yang memegang peranan penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman pangan, khususnya padi. Produksi yang telah dicapai pada saat ini tidak mengalami kenaikan produksi dibanding tahun-tahun yang telah lalu, boleh dikatakan produksinya menurun dan malah ada kecenderungan penurunan produksi, dapat diistilahkan gejala *leveling off*. Hal tersebut diakibatkan oleh perlakuan pemupukan yang tidak rasional, kecenderungan pemupukan N yang berlebihan yang tidak diimbangi dengan pemberian unsur hara lain yang cukup, sesuai dengan kebutuhan dan status hara tanah. Penggunaan bahan agrokimia yang sesuai dengan kebutuhan dan tidak berlebihan tidak akan menyebabkan banyak masalah baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. Telah diketahui bahwa kemampuan tanah menyediakan hara bagi tanaman tergantung pada: (a) kapasitas yang dimiliki tanah untuk mensuplai hara, (b) daya ikat dan melepas hara dari dalam tanah dan (c) mobilitas hara dari pupuk yang digunakan.

Strategi pengelolaan hara yang efektif dan efisien selayaknya ditujukan untuk memaksimalkan penyerapan hara dari pupuk dan pasokan hara asli tanah ke dalam tanaman dengan pengelolaan tanaman yang baik, memanfaatkan sebaik mungkin hara yang tersedia, meminimalkan risiko gagal panen dengan menetapkan target hasil yang realistis dan ekonomis dengan menerapkan pemakaian pupuk secara efisien. Penggunaan pupuk untuk padi sawah seyogyanya memenuhi persyaratan antara lain: (1) memenuhi keperluan tanaman akan hara yang berkaitan dengan

ketersediaan dalam tanah dan suplai dari luar untuk mendapatkan hasil yang tinggi, baik kuantitas maupun kualitas gabah, (2) menekan kehilangan hara dari tanah, tanaman dan air untuk pelestarian lingkungan, (3) mudah digunakan baik oleh petani kecil maupun petani berskala besar, (4) teknologi baru pengelolaan pupuk yang dianjurkan lebih mudah diterapkan dibandingkan dengan teknologi yang sudah ada.

I. Pendahuluan

Pesatnya laju penurunan luas sumberdaya lahan Indonesia akibat konversilahan, pelandaian produktivitas yang terjadi pada lahan sawah produktif, degradasi lahan dan gangguan perubahan iklim mengakibatkan terganggunya produktivitas hasil pertanian yang pada akhirnya menjadi ancaman terhadap target swasembada pangan yang ditetapkan pemerintah. Pengertian degradasi dari sektor pertanian adalah proses penurunan produktivitas lahan yang sifatnya sementara maupun tetap, dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi (Shrestha 1995; Singer 2006; Sitorus 2011). Sedangkan menurut Kurnia *et al.* (2005) degradasi lahan merupakan suatu proses kemunduran atau kerusakan tanah yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau penyebab lain yang mengakibatkan menurunnya produktivitas tanah saat ini maupun masa yang akan datang dalam mendukung kehidupan makhluk hidup. Luas lahan terdegradasi di Indonesia selalu bertambah luas. Untuk kawasan budidaya pertanian, lahan terdegradasi pada tahun 2003 telah mencapai 23,2 juta ha (Barja 2005 dalam Wahyunto *et al.* 2014). Berdasarkan perkiraan sementara dengan mempertimbangkan laju konversi lahan, tahun 2045 akan diperlukan tambahan lahan sekitar 14,9 juta hektar, terdiri dari 4,9 juta hektar sawah, 8,7 juta hektar lahan kering, dan 1,2 juta hektar lahan rawa.

Lahan rawa merupakan alternatif yang dapat dijadikan pilihan untuk pengembangan pertanian. Menurut Widjaja-Adhi *et al.* (1992), pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk pertanian masih akan menghadapi berbagai masalah diantaranya adalah kondisi luapan dan genangan air yang sangat variatif dari satu wilayah ke wilayah lain, jenis tanah yang sangat beragam dengan tingkat kesuburan yang rendah dan variatif, kemasaman tanah dan potensi racun pirit yang tinggi yang dapat mematikan tanaman, ketebalan dan tingkat kematangan gambut yang berbeda, serta kondisi petani. Orang Bugis dan Banjar sejak lama sudah mengembangkan lahan rawa pasang surut untuk budidaya padi sawah.

Sifat dinamis dan rapuh dari lahan rawa mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan yang sangat signifikan. Tipologi gambut telah banyak yang berubah menjadi bergambut dan bahkan tidak sedikit yang telah berubah menjadi lahan sulfat masam, tipe luapan B telah banyak yang berubah menjadi tipe C akibat telah terjadinya drainase yang berlebihan. Sebagai contoh, wilayah Tamban Catur Kalimantan Tengah, yang semula bertipe luapan B telah berubah menjadi tipe luapan C (Ar-Riza *et al.* 2001). Sebagai contoh Wilayah Desa Babat Raya, Kecamatan Belawang, yang dahulu bertipologi sulfat masam potensial telah berubah menjadi aktual dan banyak yang telah menjadi lahan tidur, sehingga usaha rehabilitasi memerlukan masukan yang cukup besar (Ar-Riza 2008).

Tanah merupakan suatu kesatuan komponen biotik dengan komponen abiotik maka tanah merupakan suatu sistem ekologi sesungguhnya. Komponen biotik menentukan dalam menjadikan tanah menjadi suatu sistem energi. Notohadiprawiro (2002) mengatakan bahwa tubuh tanah merupakan suatu sistem terbuka, sehingga elemen-elemen kimiawi dapat masuk dan keluar dari sistem untuk menjadi mata rantai siklus yang luas. Kegiatan hayati di dalam tanah memiliki peranan penting dalam alihragam dan alihtempat bahan serta daur hara yakni meliputi: (1) perombakan bahan organik dan pelapukan bahan mineral dan (2) pengolahan tanah. Siklus hara merupakan proses yang sangat penting bagi dinamika dan keseimbangan hara yang diperlukan oleh tanaman, lebih-lebih untuk pengelolaan usaha tani.

Ketidakseimbangan hara dalam tanah akibat eksploitasi lahan maupun penggunaan bahan kimia yang berlebihan mengakibatkan terjadinya degradasi pada lahan. Pengertian degradasi dari sektor pertanian adalah proses penurunan produktivitas lahan yang sifatnya sementara maupun tetap, dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi (Singer 2006; Sitorus 2011). Sedangkan menurut Kurnia *et al.* (2005) degradasi lahan merupakan suatu proses kemunduran atau kerusakan tanah yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau penyebab lain yang mengakibatkan menurunnya produktivitas tanah saat ini maupun masa yang akan datang dalam mendukung kehidupan makhluk hidup. Luas lahan terdegradasi di Indonesia selalu bertambah luas.

Untuk kawasan budidaya pertanian, lahan terdegradasi pada tahun 2003 telah mencapai 23,2 juta ha (Wahyunto *et al.* 2014). Berdasarkan perkiraan sementara dengan mempertimbangkan laju konversi lahan, tahun

2045 akan diperlukan tambahan lahan sekitar 14,9 juta hektar, terdiri dari 4,9 juta hektar sawah, 8,7 juta hektar lahan kering, dan 1,2 juta hektar lahan rawa. Tanah terdegradasi mempunyai sifat yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman akibat hilangnya lapisan atas tanah dan unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pemupukan terpadu untuk mengatasi kendala yang terjadi. Salah satu tindakan yang dilakukan manusia yang berdampak terhadap penurunan kualitas tanah di lahan rawa yaitu pengatusan yang berlebihan.

Pengaturan yang intensif selama waktu panjang mengubah gambut menjadi hidrofobik, sehingga gambut kehilangan kemampuannya menahan air untuk selamanya. Pada prinsipnya pertumbuhan vegetasi ditentukan oleh tanah khususnya dalam hal penyediaan air dan hara, disamping itu tanah juga harus menciptakan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan/perkembangan akar. Permasalahan utama di lahan rawa adalah keberadaan gambut dan sulfat masam potensial, keduanya stabil pada suasana reduktif (kondisi alami hutan rawa). Pengalihfungsian rawa untuk produksi biomassa yang dibudidayakan melalui pembukaan lahan dan saluran drainase dapat menyebabkan perubahan suasana reduktif ke arah oksidatif yang disertai pemasaman tanah.

Tulisan ini mengemukakan tentang inovasi teknologi pemupukan yang efisiensi dan efektif di lahan rawa yang sesuai dengan status mutu tanah ditinjau dari aspek produksi dan biomassa untuk meningkatkan produktivitas tanah melalui teknologi pemupukan berimbang di lahan rawa. Pengelolaan hara terpadu di lahan rawa harus dilaksanakan melalui pemberian pupuk yang sesuai dengan ketersediaan hara di dalam tanah

II. Kendala Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa

Lahan rawa merupakan lahan prospektif untuk produksi pertanian. Pengembangan lahan rawa pasang surut dalam perspektif budidaya tanaman pangan dihadapkan pada beberapa kendala yang bersifat *inherence* yaitu agrofisik dan biologis. Kemasaman merupakan penciri utama dari tanah-tanah di lahan rawa. Reaksi tanah tergolong masam sampai luar biasa masam yang berkisar pada pH 4 (*Sulfaquents*) dan pH < 3,5 (*Sulfaquepts*), hanya sedikit tanaman yang dapat beradaptasi dengan kondisi kemasaman yang tinggi (Kochian *et al.* 2004). Tingginya kemasaman pada tanah setelah reklamasi akan mengimbas terhadap peningkatan kelarutan unsur-unsur

meracun seperti: Al, Fe dan Mn yang diiringi dengan kahat hara makro (P, Ca, Mg, K) dan hara mikro (Cu dan Zn) (Notohadiprawiro 2000). Berdasarkan tipe luapan kendala yang dihadapi spesifik pada lahan tipe A di musim kemarau adalah adanya intrusi air laut dan pada lahan tipe C terjadinya kelangkaan air.

Zat beracun yang umum dijumpai di lahan rawa adalah aluminium dan besi (Fe) serta *hydrogen sulfide* (H_2S) serta air garam atau natrium. Keracunan aluminium terjadi pada kondisi tanah oksidatif (kering) dan dibarengi dengan kahat P karena unsur hara P diikat menjadi aluminium fosfat yang tidak larut. Pada kondisi tergenang keracunan Fe lebih sering terjadi dibandingkan keracunan Al (Dobermann and Faihurst 2000). Hal ini disebabkan karena pada keadaan tergenang Al^{3+} mempunyai hubungan erat dengan proses reduksi Fe^{3+} . Ion OH^- yang dilepaskan dalam proses reduksi akan bereaksi dengan Al terlarut menjadi Al hidroksida yang sukar larut, sehingga tanah sawah jarang mengalami keracunan Al kecuali bila proses reduksi berlangsung lambat. Besi (Fe) dalam tanah sulfat masam yang sering menimbulkan masalah dalam bentuk *ferro* (Fe^{2+}) yang menyebabkan keracunan bagi tanaman, khususnya dalam kondisi tergenang dan kisaran kadar Fe^{2+} pada tanah sulfat masam tergenang (tereduksi) cukup lebar yaitu 0,07 sampai 6600 mg kg^{-1} Fe, yang tergantung dari pH, bahan organik, kadar dan reaktivitas Fe^{3+} . Gejala keracunan besi pada tanaman padi akan dapat terlihat jika kandungan besi dalam helaian daun > 300 ppm. Tingginya konsentrasi besi dalam larutan tanah akan menurunkan serapan hara lainnya seperti P dan K. Berdasarkan penelitian Khairullah (2005) bahwa serapan total besi pada jaringan tanaman (akar dan daun) padi varietas Margasari pada 60 HST di tanah sulfat masam adalah 7,1% dan berpotensi meracuni tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat, yang dilihat salah satunya dari menurunnya berat kering tanaman. Sedangkan Dent (1986) mengatakan batas kritis konsentrasi Al^{3+} dalam larutan tanah yang meracun sebesar 74 μM yang akan mempengaruhi terhadap hasil padi. Hidrogen sulfide (H_2S) dapat terjadi pada tanah-tanah di lahan rawa yaitu tanah sulfat masam yang banyak mengandung bahan organik sebagai hasil reduksi sulfat dalam tanah yang tergenang. Tanaman padi muda sangat mudah diracuni H_2S tapi tanaman tua lebih toleran. Untuk tanaman yang teracuni H_2S sangat mudah terinfeksi penyakit dan sistem perakarannya kurang berkembang dan berwarna hitam. Keracunan H_2S ini dapat dikurangi dengan pengapuran dan pengaturan drainase. Salinitas

pada lahan pasang surut disebabkan oleh adanya intrusi air laut yang biasanya berlangsung pada musim kemarau yaitu bulan Juli-September. Kerusakan tanaman akibat salinitas berhubungan dengan adanya pengaruh osmotik larutan tanah. Salinitas yang tinggi pada zone perakaran akan menghambat penyerapan air dan unsur hara. Bahkan pada konsentrasi yang tinggi, air yang berada dalam sel tanaman akan tersedot keluar sehingga tanaman menjadi kering. Pemilihan nilai kritis untuk DHL pada 4 mmho/cm dilaporkan didasarkan atas kemungkinan tingkat kerusakan tanaman akibat kadar garam. Pada nilai DHL 4 mmho/cm produksi berbagai komoditas tanaman banyak yang terhambat. Nilai DHL sebesar 4 mmho/cm bersesuaian dengan suatu tekanan osmotik pada kapasitas lapang sebesar 5 bar. Pada DHL antara 2 dan 4 mmho/cm, hanya tanaman-tanaman yang sangat rentan yang akan terpengaruh, sedang pada nilai-nilai <2 mmho/cm pengaruh salinitas kecil dan dapat diabaikan.

Masalah pengembangan pertanian di lahan rawa yang dihadapi bukan hanya karena mutu sumberdaya alam yang rendah, tetapi juga disebabkan permasalahan sosial ekonomi yang kompleks. Model pengelolaan lahan rawa dipengaruhi oleh persepsi dan pengalaman masyarakat setempat. Perlu pendekatan yang terintegrasi dari berbagai aspek dalam pengembangan lahan rawa menjadi lahan pertanian dengan memperhatikan kemampuan agroekosistemnya. Menristek (2011) mengatakan ada dua pendekatan agar lahan rawa dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pertanian secara optimal yaitu: pendekatan dengan menggunakan varietas/komoditas yang adaptif, dan (2) dengan mengubah kondisi suboptimal menjadi optimal. Kemampuan tanah dalam menyediakan hara bagi tanaman tergantung pada: (1) kapasitas yang dimiliki tanah untuk mensuplai hara, (2) daya ikat dan melepas hara dari dalam tanah dan (3) mobilitas hara dari pupuk yang digunakan. Namun demikian ketiga factor tersebut belum digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam penetapan kebutuhan pupuk di lapangan, sehingga efisiensi pemanfaatan pupuk oleh tanaman pada umumnya masih rendah (Abdurrahman 2014)

III. Hara Tanaman dan Masalah Lingkungan

Tanah merupakan suatu kesatuan komponen biotik dengan komponen abiotik maka tanah merupakan suatu sistem ekologi sesungguhnya. Komponen biotik menentukan dalam menjadikan tanah menjadi suatu

sistem energi. Notohadiprawiro (2002) mengatakan bahwa tubuh tanah merupakan suatu sistem terbuka, sehingga elemen-elemen kimiawi dapat masuk dan keluar dari sistem untuk menjadi mata rantai siklus yang luas. Kegiatan hayati di dalam tanah memiliki peranan penting dalam alihragam dan alihtempat bahan serta daur hara yakni meliputi: (1) perombakan bahan organik dan pelapukan bahan mineral dan (2) pengolahan tanah (Tan 1994). Siklus hara merupakan proses yang sangat penting bagi dinamika dan keseimbangan hara yang diperlukan oleh tanaman, lebih-lebih untuk pengelolaan usaha tani. Ketidakseimbangan hara dalam tanah akibat eksploitasi lahan maupun penggunaan bahan kimia yang berlebihan mengakibatkan terjadinya degradasi pada lahan.

Di dalam ekosistem, hubungan tanah, tanaman, hara dan air merupakan bagian yang paling dinamis. Siklus nutrisi terjadi dimana saja, menjadi bagian yang penting dari fungsi seluruh ekosistem, tetapi dalam tingkat perbedaan yang luas. Layanan ekosistem spesifik mengenai kesuburan tidak terdistribusi secara merata diseluruh daratan dan lautan di dunia. Tanah yang paling subur misalnya, kedalaman, warna gelap, tanah liat pada padang rumput di Euroasia, Amerika Utara dan Amerika Selatan, kebanyakan memiliki tanah yang sudah dikonversi dari padang rumput menjadi agroekosistem intensif lebih selama 2 abad terakhir. Saat ini pertanian berkembang pada daerah yang memiliki tanah dengan tingkat kesuburan yang rendah, tanah merah dari daerah tropis Afrika, Amerika Selatan, dan Asia Tenggara. Siklus hara menjelaskan tentang pergerakan dibawah dan diantara keanekaragaman biotik maupun abiotik tentang hara yang terbentuk pada lingkungan secara global. Unsur-unsur ini dapat diekstraksi dari wujud mineralnya, dari atmosfer, atau didaur ulang dari bentuk organiknya dengan mengkonversi mereka menjadi bentuk ion, hal ini memungkinkan terjadi penyerapan dan mengembalikan mereka ke atmosfer atau tanah. Siklus hara dapat terjadi akibat keragaman organisme yang mengarah pada terbentuknya berbagai struktur fisik dan mekanisme untuk mengatur aliran hara disetiap bagian. Struktur dan proses menjadi penyangga untuk membatasi kehilangan dan perpindahan ke ekosistem lain. Nutrisi didistribusikan dalam jumlah besar dari kompartemen yang hidup atau yang mati, dan kelimpahan relatif antar kompartemen akan tergantung ekosistem. Sebagai contoh, sebuah ekosistem terrestrial, dimana nutrient dapat dalam jumlah besar terkonsentrasi dalam biomassa

hidup (seperti hutan hujan) atau pada humus dan material tanah organik (seperti ekosistem tundra) (Lavelle dan Spain 2001).

Ada dua siklus hara yaitu: Siklus hara terbuka dan siklus hara tertutup. Sistem pertanian memiliki siklus hara yang 'terbuka' atau 'bocor' karena memiliki jumlah kehilangan hara yang besar. Sedangkan siklus hara tertutup biasanya ditemukan pada system agroforestry merupakan suatu sistem yang memiliki jumlah kehilangan hara lebih rendah dibandingkan dengan jumlah masukan hara yang diperoleh dari penguraian seresah atau dari serap ulang (*recycle*) hara pada lapisan tanah dalam. Atau dengan kata lain sistem tersebut memiliki daya serap ulang yang tinggi (efisiensi penggunaan hara tinggi). Ada tiga proses utama yang terlibat dalam siklus hara: (1) Fiksasi N dari udara: peningkatan jumlah N hasil penambatan dari udara bila tanaman legume yang ditanam. (2) Mineralisasi bahan organik: peningkatan jumlah hara dari hasil mineralisasi seresah dan dari pohon yang telah mati. (3) 'Serap ulang' hara: peningkatan jumlah serapan hara dari lapisan bawah oleh akar pepohonan yang menyebar cukup dalam. Akar pepohonan juga mengurangi jumlah kehilangan hara melalui erosi dengan jalan memperlambat laju aliran permukaan dan meningkatkan air infiltrasi karena adanya perbaikan porositas tanah.

Tanaman menyerap hara dan air dari dalam tanah untuk dipergunakan dalam proses-proses metabolisme dalam tubuhnya. Sebaliknya tanaman memberikan masukan bahan organik melalui seresah yang tertimbun di permukaan tanah berupa daun dan ranting serta cabang yang rontok. Bagian akar tanaman memberikan masukan bahan organik melalui akar-akar dan tudung akar yang mati serta dari eksudasi akar. Siklus bahan organik dan unsur hara merupakan proses yang sangat penting bagi dinamika dan keseimbangan hara yang diperlukan oleh tanaman. Hara hasil mineralisasi dari bahan organik tanah (BOT), mineral tanah dan dari pemupukan memasuki pool hara tersedia dalam tanah. Hara tersedia selanjutnya dapat diserap oleh tanaman, atau mengalami imobilisasi karena adanya khelat oleh bahan organik tanah atau mineral tanah. Hara tersedia yang berada di dalam larutan tanah dapat terangkut oleh pergerakan air tanah keluar dari jangkauan perakaran tanaman sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Dengan kata lain hara tersebut telah mengalami pencucian (*leaching* - garis miring). Beberapa hara terutama dalam bentuk anion sangat lemah diikat oleh partikel liat dan memiliki tingkat mobilitas tinggi (misalnya nitrat), sehingga hara ini mudah mengalami pencucian. Di

lain pihak hara dalam bentuk kation (misalnya kalium), gerakannya sangat ditentukan oleh kapasitas pertukaran tanah. Pengelolaan hara dimaksudkan untuk mengoptimalkan ketersediaan hara di dalam tanah sehingga tanaman yang dibudidayakan dapat tumbuh dengan optimal dan memberikan hasil yang tinggi. Aliran nutrisi yang paling besar adalah pelepasan dari materi organik, sebagai hasil dari dekomposisi oleh mikroba. Aliran ini tidak dapat diukur karena sebagian akan langsung bergabung kembali dengan biomassa mikroba yang lain. Aktivitas mikroba bergantung pada ketersediaan makanan, iklim dan faktor hidrologis. Dalam satu tempat, parameter biologi seperti komposisi kimia suatu materi organik (bergantung pada tumbuhan yang memproduksinya) dan invertebrata tanah bertindak sebagai determinan terukur.

Ada kemungkinan pada suatu tempat terdapat suplai unsur hara yang berlimpah yang dalam istilah pertanian disebut eutrofikasi. Eutrofikasi ini disebabkan oleh pencucian unsur hara yang berasal dari bekas lahan pertanian merupakan bentuk dari fertilisasi yang terjadi secara tidak sengaja pada daerah pedalaman dan pesisir pantai. Penambahan nutrisi dalam kotoran yang mengalir merupakan bentuk lain dari eutrofikasi yang berhubungan dengan penambahannya dalam populasi manusia. Aktivitas manusia telah mengakibatkan perubahan besar-besaran di siklus nutrisi selama dua abad terakhir, yang terjadi pada tingkat dipercepat sejak sekitar tahun 1950. Secara khusus, pergeseran dalam pola penggunaan lahan, peningkatan pemupukan terkait dengan tanaman-yield tinggi, dan perpindahan lateral nutrisi melintasi batas-batas ekosistem telah berubah secara dramatis tingkat, jalur, dan efisiensi siklus nutrisi. Skala kecil tradisional, praktik budidaya rendah input umumnya menyebabkan penipisan nutrisi saat masa bera yang dipersingkat. Di sisi lain, keberlanjutan kesuburan tanah di bawah skala besar, tinggi-masukan pertanian intensif masih menjadi pertanyaan, mengingat bahwa bentuk pertanian ini hanya berumur beberapa dekade.

Unsur hara yang umumnya dibutuhkan tanaman adalah unsur hara makro seperti N, P, K dan unsur mikro Cu dan Zn. Optimalisasi kesediaan hara tersebut dalam tanah dapat dilakukan dengan cara penambahan dari luar. Pemupukan adalah penambahan hara yang dilakukan oleh manusia pada tanah, dilakukan secara sengaja atau konsekuensi karena aktivitas lainnya. Masukan hara yang diperlukan sangat tergantung dari sistem budidaya yang diterapkan, komoditas dan status hara di tanah. Untuk

pertumbuhannya tanaman memerlukan suplai hara yang berasal dari berbagai sumber. Menurut Dobermann and Fairhurst (2000), untuk setiap ton produksi padi membutuhkan sekitar 14,7 kg N; 2,6 kg P; 14,5 kg K/ha, yang diperoleh tanaman baik dari tanah, air irigasi, sisa tanaman atau dari pupuk (organik dan atau anorganik) yang ditambahkan. Makin tinggi hasil yang diperoleh makin besar hara yang dibutuhkan dan sebaliknya.

Hara Nitrogen. Pada kondisi tergenang, bentuk utama nitrogen adalah ammonia. Nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk anion NO_3^- atau NH_4^+ yang keduanya terutama berasal dari perombakan bahan organik. Unsur nitrogen ini sangat diperlukan oleh tanaman pada fase vegetatif karena merupakan unsur pembangun dalam metabolisme tanaman, sehingga tanaman padi yang dibudidayakan di lahan rawa pasang surut sangat responsif terhadap pemberian nitrogen karena secara umum kandungan nitrogen di lahan rawa pasang surut rendah sampai sedang. Nitrogen merupakan unsur yang sangat mobil, sehingga hanya 70% dari jumlah N yang diberikan dapat diserap oleh tanaman dan sisanya hilang melalui: (1) terangkut bersama hasil panen; (2) volatilisasi; (3) erosi; (4) terlindi; dimanfaatkan oleh organisme seperti bakteri dekomposer. Nitrogen teruapkan apabila terjadi Perubahan bentuk N tanah menjadi uap/oksida (oksida N / N_2). Biasanya ini terjadi akibat reduksi nitrat oleh kegiatan biologi (proses denitrifikasi) yang terjadi pada kondisi anaerob (kekurangan oksigen) dan nitrat dalam jumlah yang banyak. Reaksi nitrogen yang terlibat dalam daur nitrogen berlangsung dalam proses reduksi, amonifikasi dan oksidasi biologi. Dalam proses reduksi terjadi reaksi:

Asimilasi nitrat atau nitrit oleh tumbuhan dan jasad renik tanah:



Penyematan nitrogen oleh jasad renik simbiotik dan non simbiotik



Denitrifikasi oleh jasad renik tanah anaerob



Dalam proses amonifikasi terjadi reaksi reaksi oleh jasad renik tanah.

Hara fosfor. Fosfor merupakan unsur hara kedua yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Permasalahan di lahan rawa pasang surut adalah kemasaman tanah yang tinggi akibat oksidasi pirit. Pada kondisi

masam kelarutan aluminium, besi dan mangan dalam larutan tanah meningkat dan bersifat racun terhadap tanaman, aktivitas mikroorganisme menurun dan terjadi defisiensi unsur hara makro dan mikro. Salah satu dampak langsung dari penurunan pH tanah adalah penurunan ketersediaan fosfat yang disebabkan karena tersematnya fosfat dalam bentuk Al-fosfat, Fe fosfat dan Mn-fosfat. Beberapa hasil penelitian terhadap pemupukan P yang berdasar pada status hara tanah memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan hasil. Selain itu juga pemberian fosfat berpengaruh terhadap jumlah gabah isi per malai.

Hara Kalium. Fungsi kalium adalah untuk mengaktifkan enzim, pembentukan karbohidrat, tidak sebagai sel tumbuhan, berperan pada pernafasan, proses fisiologis tumbuhan, mempertinggi ketahanan tubuh tumbuhan dan mempengaruhi penyerapan hara lainnya. Kekahatan K menyebabkan daun cepat menua dan cenderung berwarna kecoklatan karena daun muda banyak menyerap K dari daun tua tersebut dan pertumbuhan terhambat. Di lahan rawa pasang surut, sama seperti halnya hara fosfat kandungannya rendah karena unsur kalium memiliki sifat yang tidak mobil seperti hara Nitrogen, namun hara Kalium lebih mobil jika dibandingkan dengan hara fosfor.

Pada kondisi lingkungan yang sama, unsur hara lebih mudah bergerak dalam tanah yang bertekstur kasar. Disamping mudah meloloskan air, tanah yang bertekstur kasar juga tidak kuat memegang hara karena kapasitas tukar kationnya (KTK) rendah. Unsur hara dalam tanah bergerak melalui fase cair, oleh karena itu makin banyak air di dalam tanah makin lancar laju gerakan hara dalam tanah. Unsur hara baru dapat diserap tanaman apabila unsur yang bersangkutan berada pada permukaan akar (Abdurrachman 2014). Ada tiga proses yang menyebabkan unsur hara dapat berada di permukaan tanah, yaitu: (1) penangkapan oleh akar (*root interception*), (2) aliran massa (*mass flow*), (3) difusi. Aliran massa terjadi bila terdapat *gradient* potensial hidrolik, jumlah gravitasi dan potensial tekanan, hara bergerak bersama-sama dengan aliran air yang mengalir dari potensial hidrolik tinggi ke potensial hidrolik rendah. Jumlah hara yang mencapai akar tergantung dari laju aliran air atau konsumsi tanaman dan rerata konsentrasi hara dalam air. Sedangkan difusi terjadi bila terdapat *gradient* konsentrasi ion antara permukaan akar dengan larutan tanah sekelilingnya. Apabila akar menyerap hara, maka tempat dekat permukaan akar kandungan unsur haranya menurun. Hal ini yang menyebabkan terciptanya perbedaan (*gradient*) kadar

unsur yang menurun ke arah permukaan akar. Karena adanya perbedaan kadar tersebut maka timbul gerakan unsur hara ke permukaan akar.

IV. Ketersediaan Teknologi Pengelolaan Hara

Keberlanjutan usaha pertanian berkorelasi langsung dengan stabilitas produksi yang salah satunya sangat ditentukan oleh pengelolaan fisik dan kimia lingkungan. Untuk itu teknologi pengelolaan tanah dan hara merupakan syarat mutlak dalam pengembangan pertanian. Pemilihan suatu teknologi untuk diterapkan memerlukan kecermatan yang tinggi serta memahami perilaku ekosistem yang ada, agar dapat diperoleh hasil yang secara ekonomis dan sosiologis dapat dipertanggungjawabkan. Strategi pengelolaan hara yang efektif dan efisien selayaknya ditujukan untuk memaksimalkan penyerapan hara dari pupuk dan pasokan hara asli tanah ke dalam tanaman dengan pengelolaan tanaman yang baik, memanfaatkan sebaik mungkin hara yang tersedia, meminimalkan risiko kegagalan panen dan menetapkan target hasil yang realistis dan ekonomis dan menerapkan pemakaian pupuk secara efisien (Abdurrahman 2014).

Keseimbangan Hara

Penambahan unsur hara melalui pemupukan akan menyebabkan terjadinya pergeseran keseimbangan hara di dalam tanah yang berpengaruh terhadap ketersediaan hara di dalam tanah. Pemupukan tanpa mempertimbangkan konsep keseimbangan hara dapat memicu terjadinya degradasi tanah dan menurunkan produktivitas tanah. Konsep keseimbangan hara yang dikemukakan oleh Winarna dan Sutarta (2009) adalah keseimbangan hara yang ditinjau dari dua aspek yaitu: keseimbangan hara di dalam tanah dan keseimbangan hara di dalam jaringan tanaman. Keseimbangan hara di dalam tanah berpengaruh terhadap ketersediaan hara, sementara keseimbangan hara di dalam jaringan tanaman berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Salah satu cara untuk mempelajari konsep keseimbangan hara dijelaskan Abdurrachman (2014) dengan mengambil data sekunder.

Tabel 1. Asumsi Suplai Hara

Sumber Hara	Musim kemarau	Musim hujan
Irigasi (mm)	1000	300
Suplai N dari air hujan (kg/ha)	1.9	6.9
Suplai P dari air hujan (kg/ha)	0.2	0.8
Suplai K dari air hujan (kg/ha)	1.5	5.5
Benih (kg/ha)	30.0	30.0
Suplai N dari benih (kg/ha)	0.4	0.4
Suplai P dari benih (kg/ha)	0.09	0.09
Suplai K dari benih (kg/ha)	0.09	0.09
Kerapatan tanah (g.cm ³)	1.25	1.25

Sumber: Abdurachman dan Buresh (2004)

Dengan asumsi hujan tahunan berkisar 1000-2000 mm, maka rata-rata suplai hara N dari air hujan adalah 8.8 kg (Allison, 1965), sedangkan suplai P dan K masing-masing adalah 0.2 – 2.0 kg P/ha dan 3-10 kg K/ha (Dobermann *et al.* 1998 dalam Abdurachman 2014). Beberapa peneliti melaporkan adanya dampak negatif dari ketidakseimbangan hara baik terhadap pertumbuhan tanaman maupun produksi yang dihasilkan. Hasil penelitian Varga *et al.* (2002) menunjukkan bahwa ketidakseimbangan hara Nitrogen menyebabkan perubahan yang cukup besar terhadap rasio tajuk dan akar tanaman jagung sehingga tanaman menjadi stress. Sementara itu Loide (2004) menyatakan bahwa kelebihan Mg tertukarkan di dalam tanah yang tidak seimbang dengan Ca akan menyebabkan memburuknya karakteristik fisiologi akar dan menyebabkan menurunnya produksi tanaman. Oleh sebab itu keseimbangan hara menjadi suatu hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pemupukan. Pada sistem pertanian intensif penggunaan pupuk perlu mempertimbangkan keseimbangan hara antara berbagai masukan dan kehilangan, agar pemakaian pupuk tidak berlebihan dan berpengaruh buruk terhadap lingkungan yang dihitung dari selisih antara hara yang ditambahkan dan hara yang hilang keluar dari lingkungan pertumbuhan tanaman. Hara yang ditambahkan dapat berasal dari pupuk, bahan organik, bahan amelioran, air irigasi dan air hujan (Husnain *et al.* 2016). Sedangkan hara yang hilang dari lingkungan pertumbuhan tanaman akibat hara terlindi, terangkut saat panen, volatilisasi. Kunci pengelolaan unsur hara dalam tanah dan tanaman adalah mengikuti *Hukum Minimum Liebig*s yakni kekurangan unsur hara tertentu merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman yang tidak bisa digantikan oleh unsur hara lainnya

Pertumbuhan tanaman yang baik terjadi bila terdapat komposisi hara yang baik di dalam tanah, ketersediaan dan kesetimbangan/proporsi hara

yang sesuai dan dibutuhkan pada waktu yang tepat pada masing-masing periode pertumbuhan tanaman. Hal ini sangat penting karena mengingat akar tanaman tidak dapat mengambil hara dari tanah secara selektif, tetapi akar akan mengambil dari apa yang telah tersedia. Imbangan yang baik untuk hara makro tertukar Ca/Mg/K adalah sekitar 75/17/8 bila dianggap total ketiga hara tersebut (me %) adalah 100.

Pemupukan yang Efisien

Penerapan pemupukan berdasarkan rekomendasi yang tepat atau berdasar status hara tanah baik dari segi ragam maupun jumlah, menjamin keadaan keharaan tanaman yang berimbang. Ketika pasokan hara berimbang akan menciptakan interaksi antar hara yang optimum, mencegah terjadinya kompetisi dan antagonism serta menghindari terjadinya keracunan hara.

Ada beberapa kendala yang dihadapi dalam upaya mengefisienkan penggunaan pupuk yaitu: (1) terbatasnya ragam bentuk pupuk yang tersedia dengan harga yang terjangkau oleh petani. Sampai saat ini pupuk yang mendapat subsidi dari pemerintah hanya Urea, NPK Phonska dan KCl, meskipun ada sumber-sumber hara lainnya yang lebih efisien untuk digunakan; (2) masih terbatasnya kalibrasi metode analisa serta korelasinya dengan pertumbuhan tanaman terutama untuk tanah-tanah di lahan rawa; (3) reaksi yang kuat antara pupuk P dengan tanah-tanah berpelapukan lanjut did aerah tropika yang menyebabkan ketersediaannya sangat rendah. Selain pengetahuan tentang kebutuhan unsur hara, yang perlu diperhatikan adalah teknik pemupukan yang tepat sehingga efektif untuk tanaman (Tabel 2).

Tabel 2. Teknik pemupukan yang direkomendasikan agar lebih efektif sehingga mengurangi kehilangan hara

Jenis Hara	Teknik Aplikasi
Pupuk N	✓ Menghindari aplikasi di permukaan tanah, sebaiknya pupuk dicampur dengan tanah atau ditanamkan agak dalam ke lapisan reduksi ✓ Membagi aplikasi menjadi 2 atau 3 kali dengan tujuan agar pupuk N yang diberikan dapat dimanfaatkan tanaman lebih optimal ✓ Memberikan pupuk urea dalam larikan atau ditugal, kemudian ditutup dengan tanah ✓ Memberikan pupuk dalam bentuk slow release atau granul ✓ Memberikan pupuk jauh dari bibit, minimal berjarak 2.5 cm di bawah bibit

Jenis Hara	Teknik Aplikasi
Pupuk P	✓ Memberikan pupuk P sesuai status P dalam tanah dan kebutuhan tanaman ✓ Menempatkan P dalam larikan atau ditugal untuk meminimalisir kontak dengan tanah ✓ Disertai aplikasi bahan organik yang fungsinya untuk mengurangi kehilangan P dengan membentuk kompleks organik (khelat) ion P dengan Fe dan Al ✓ Mengontrol pH tanah hingga mencapai 6-7 sehingga ketersediaan P dapat optimal ✓ Mengoptimalkan interaksi dengan mikoriza sangat efektif melepaskan P terfiksasi dalam mineral liat. Mikoriza lebih efektif pada tanah masam
Pupuk K	✓ Memberikan pupuk K sesuai dengan status tanah dan kebutuhan tanaman ✓ Unsur K tidak mobil dalam tanah, maka pemberian pupuk K dekat benih pada tanaman tahunan lebih efektif dan efisien, namun perlu mempertimbangkan faktor salinitas sekitar rhizosfer ✓ <i>Slide-band</i>, aplikasi pupuk K pada alur barisan tanaman lebih aman bagi tanaman terutama bila aplikasi pupuk K cukup tinggi. Idealnya, pupuk diberikan pada jarak sekitar 2.5 cm disamping tanaman ✓ <i>Deep banding</i>, pemberian pupuk dalam banding yang cukup dalam juga sesuai untuk aplikasi pupuk K ✓ <i>Broadcasting</i>, pemberian pupuk K dengan cara disebar hanya dianjurkan untuk tanah yang mengalami defisiensi K sehingga dosis aplikasi pupuk K sangat tinggi. Pemberian pupuk K dengan cara ini biasanya dilakukan untuk tanaman penghasil pakan ternak

Sumber: Muchovej dan Rechigl (1995); Brady dan Weil (2002); McKenzie dan Pauly (2013) Dalam Husnain et al. (2013)

V. Hubungan Siklus Hara dan Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman sangat terpengaruh oleh kandungan unsur hara di dalam tanah. Kebutuhan hara terutama hara esensial sangat penting karena ketika hal tersebut tidak dapat terpenuhi oleh tanaman mengakibatkan tanaman menjadi sakit. Beberapa penyakit fisiologis yang terjadi akibat defisiensi hara pada tanaman padi sawah (*Oriza sativa*) diantaranya yaitu: defisiensi hara N ditunjukkan dengan warna tanaman lama kelamaan menjadi putih dan tidak menggulung, butir yang masih basah berwarna kuning, berbulir jarang dan bertangkai halus serta akar lebih panjang dari biasa. Sedangkan defisiensi fosfor ditunjukkan dengan terjadinya klorosis yang dimulai dari ujung daun dengan bintik kuning kemudian melebar dan merata menjadi merah (5,0 YR 7/4), sedangkan Klorosis mongering berwarna coklat muda keunguan (5,0 YR 7/4) akar berwarna coklat tua. Dan defisiensi kalium ditunjukkan dengan gejala

klorosis dimulai dari ujung dan tepi daun berwarna kuning (5,0 Y 8/10) hingga coklat (7,5 YR 7/10) segera menjadi kering, menggulung, berbintik-bintik hitam. Kadang daun berwarna hijau zaitun (2,5 GY 5/2) dan cepat kering tanpa penguningan terlebih dahulu. Bulir yang masih basah bertangkai halus berwarna hijau tua. Akarnya kurus berwarna putih kotor.

VI. Teknologi Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas Pemupukan

Ketersediaan lahan rawa cukup luas dengan teknologi pengelolaan lahan terutama pengelolaan hara yang cukup tersedia, namun pemanfaatan kedua komponen tersebut dalam pelaksanaannya di lapangan memerlukan perencanaan dan strategi yang tepat. Penyusutan kesuburan tanah sebagian disebabkan oleh adanya kehilangan hara dari tanah yang dapat terjadi melalui angkutan panen (panen hara) aliran air permukaan (*run off*) dan pelindian (*leaching*) serta volatilisasi. Kehilangan hara karena pemanenan tergantung pada produksi dan cara panennya dan cukup besar apabila jerami ikut terangkut keluar sebab jerami juga banyak mengandung hara, termasuk SI dan K, yang mana sebagian besar K yang diserap oleh tanaman padi tersimpan dalam jerami (Abdurrachman 2014).

Tabel 3. Rata-rata hara terangkut dari panen padi varietas unggul

Jenis Hara	Serapan hara melalui:				
	Gabah dan jerami (kg per ton)	Gabah (kg per ton)	Jerami (kg per ton)	Kandungan Mineral dalam jerami (%)	Kandungan Mineral dalam gabah (%)
N	17.5	10.5	7.0	1.10	0.65
P	3.0	2.0	1.0	0.20	0.10
K	17.0	2.5	14.5	0.29	1.40
Zn	0.05	0.02	0.03	0.002	0.003
S	1.8	1.0	0.8	0.10	0.075
Si	80	15	65	2.0	5.5
Mg	3.5	1.5	2.0	0.15	0.20
Ca	4.0	0.5	3.5	0.05	0.30
Fe	0.50	0.20	0.30	0.025	0.035
Mn	0.5	0.05	0.45	0.005	0.045
Cu	0.012	0.009	0.003	0.0010	0.0003
B	0.015	0.005	0.010	0.005	0.0010

Sumber: Dobermann dan Fairhurst (2000)

Laju kecepatan atau jumlah unsur hara yang bergerak ditentukan oleh jenis hara atau senyawa pupuk, sifat tanah dan keadaan air dalam tanah. Fosfor relatif sukar bergerak dalam tanah karena sumber P yang digunakan berkelayutan rendah, ion fosfat juga kuat terikat oleh partikel tanah. Berbeda dengan P, unsur N sangat mobil dalam tanah, karena mudah larut dalam air dan terikat oleh partikel tanah secara lemah. Kalium meskipun tidak mudah bergerak seperti halnya N, namun lebih mobil jika dibandingkan P. Pada kondisi tanah yang bertekstur kasar, unsur hara mudah bergerak karena tanah yang bertekstur kasar mudah meloloskan air dan tidak kuat memegang hara serta KTK rendah. Di dalam tanah unsur hara bergerak melalui fase cair, oleh karena itu makin banyak air di dalam tanah makin lancar laju gerakan hara dalam tanah (Abdurahman 2014).

Pemberian pupuk ke tanah harus memperhatikan gerakan garam pupuk dalam tanah. Seperti senyawa fosfor cenderung bergerak hanya sedikit, kecuali dalam tanah pasir. Agar efeknya lebih maksimum sebaiknya unsur tersebut ditempatkan di daerah perkembangan akar. Apabila fosfor diaplikasikan di permukaan mengakibatkan akar yang lebih dalam tidak mendapat asupan fosfor karena sukar bergerak. Pemberian seluruh jumlah fosfor sekaligus tidak bermasalah karena tidak mudah hilang akibat pelindian. Sedangkan Kalium dan Nitrogen cenderung bergerak dari kalium. Gerakan ini sebagian besar vertikal, garam bergerak ke atas atau ke bawah tergantung arah gerakan air. Gerakan ini berpengaruh besar pada waktu dan metode pemberian nitrogen dan kalium. Misalnya tidak dibenarkan memberikan nitrogen sekaligus untuk satu tahun karena bahaya pelindian. Kecenderungan nitrat bergerak ke bawah permukaan dengan memberikan pupuk ini. Gerakan kalium dan nitrogen harus mempertimbangkan dalam menempatkan pupuk sehubungan dengan tempat benih ditanam.

Keberadaan nutrisi baik hara makro dan mikro merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan budidaya tanaman di lahan rawa. Perbaikan keharaan dan penurunan kemasaman tanah sangat diperlukan agar tercipta lingkungan tumbuh yang baik bagi tanaman. Untuk tanah di lahan rawa seperti tanah gambut yang overdrain pengapuran tidak dianjurkan karena pengaruh kapur akan cepat hilang dan pH tanah kembali ke kondisi semula ($\text{pH} < 3.5$). Penerapan Organic Farming dengan pengaturan tata air ditingkat mikro lebih dapat memberikan kemungkinan keberhasilan.

VII. Penutup

Pemilihan suatu teknologi pengelolaan hara memerlukan kecermatan yang tinggi agar diperoleh hasil yang secara ekonomis dan sosiologis dapat dipertanggungjawabkan. Strategi pengelolaan hara yang efektif dan efisien selayaknya ditujukan untuk memaksimalkan penyerapan hara dari pupuk dan pasokan hara asli tanah ke dalam tanaman dengan pengelolaan tanaman yang baik, memanfaatkan sebaik mungkin hara yang tersedia, meminimalkan risiko kegagalan panen dan menetapkan target hasil yang realistis dan ekonomis dan menerapkan pemakaian pupuk secara efisien.

Daftar Pustaka

- Abdurrahman, S. 2014. Pemupukan Tanaman Padi. Dalam Buku *Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian*. Universitas Gadjah Mada. Hlm. 115-136.
- Ar-Riza, I dan S. Saragih. 2002. *Pengelolaan Tanah dan Hara Untuk Budidaya Padi Di Lahan Rawa Pasang Surut. Monograf Pengelolaan Air dan Tanah Di Lahan Pasang Surut*. Departemen Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa. Hlm. 43-64
- Ar-Riza, I dan Alkasuma. 2008. Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Strategi Pengembangannya dalam Era Otonomi Daerah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol 2. NO.2. Desember 2008.
- Ar-Riza, I., Khairudin, dan Sardjijo. 2001. Pengaruh pemupukan NPK terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi di lahan sulfat masam. Dalam. *Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan Kering dan Lahan Rawa*. Cisarua. Bogor. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management*. IRRI. Makati city, The Phillipines 191 p.
- Husnain, A. Kasno, S. Rochyati. 2016. Pengelolaan Hara dan Teknologi Pemupukan Mendukung Swasembada Pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Vol. 10 NO. 1. Juli 2016. P 25-36.
- Kochian, LV., Hoekenga OA., Pineros, M.A. 2004. How do crop plants tolerate acid soil? Mechanisms of aluminium tolerance and phosphorous efficiency. *Annu Rev Plant Biol*. 55:459-493.
- Kurnia, U., Sudirman, dan H. Kusnadi. 2005. Rehabilitasi dan Reklamasi Lahan Terdegradasi. Dalam *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan

Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm 147-182.

Notohadiprawiro, T. 2000. *Tanah dan Lingkungan*. Cetakan ke-2. Pusat Studi Sumberdaya Lahan (PPSL) Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta. 187 hlm.

Singer, M.J. and D.N. Munns. 2006. *Soil Degradation*. Sixth Edition. In D. Yamell, M. Rego, A.B. Wolf (Eds) *Soils an Introduction*. Pearson Prentice Hall.

Sitorus, S.R.P. 2009. *Kualitas Degradasi dan Rehabilitasi Lahan*. Edisi Ketiga. Sekolah Pasca Sarjana IPB. Hlm 42.

Tan. K.H. 2003. *Humic Matter in Soil and Environment. Principles and Controversies*. University of Georgia. Athens, Georgia, U.S.A. Marcel Dekker. Medison Avenue, New York.

PENINGKATAN PRODUKSI MELALUI PENEKANAN SUSUT PANEN DAN PASCAPANEN DI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Anjar Suprpto¹⁾, Sulha Pangaribuan¹⁾, dan Sudirman Umar²⁾

1)Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian
Jalan Sinarmas Boulevard, Pandeglang Tangerang – Banten

2)Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru, Kalsel
Email : anjrsup@gmail.com

Ringkasan

Masalah utama yang masih dihadapi petani dalam penanganan pascapanen padi adalah tingginya susut hasil dan rendahnya mutu gabah serta beras yang dihasilkan setelah proses penggilingan. Penanganan pascapanen yang tidak tepat dapat menimbulkan susut atau kehilangan baik kuantitas maupun kualitas. Teknologi yang digunakan dalam penekanan susut hasil untuk diterapkan harus teknologi yang sesuai dengan spesifik lokasi, sehingga tidak bertentangan dengan masyarakat pengguna, baik secara teknis, ekonomis maupun sosial budaya masyarakat setempat. Oleh karena itu inovasi teknologi pascapanen mulai dari penentuan umur panen padi yang tepat, cara dan alat panen, cara dan alat perontok yang digunakan, perawatan gabah hasil panen dan proses pengeringan gabah merupakan tindakan yang perlu diketahui dan dilaksanakan dengan benar untuk dapat mempertahankan kualitas gabah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa panen dilakukan berdasarkan kadar air gabah yakni berkisar 22 - 26% serta 90-95% gabah sudah berwarna kuning. Jika pemanenan padi dilakukan pada saat masak optimum, kehilangan hasil sekitar 3,35% sedangkan bila panen dilaksanakan setelah lewat masak 1 dan 2 minggu kehilangan hasil sebesar 5,63% dan 8,64%. Penggunaan sabit bergerigi pada saat panen kehilangan hasil 7,4% sedangkan dengan sabit biasa sebesar 8,4%. Penggunaan *reaper* dapat menekan kehilangan hasil sebesar 6,1 %. Penumpukan dan pengumpulan hasil panen harus dilakukan dengan cara yang baik, penumpukan menggunakan alas dan pengumpulan hasil panen dapat menekan kehilangan hasil sebesar 0,65-0,69%. Penggunaan alas dan

wadah pada saat penumpukan dan pengangkutan kehilangan hasil sebesar 0,94 – 2,36 %. Penundaan perontokan di lahan pasang surut selama 3 hari setelah gabah dipanen, susut hasil sebesar 6,65%. Kehilangan hasil merontok dengan cara gebot di lahan pasang surut, cukup tinggi sekitar 16,23%, Kehilangan hasil pada kegiatan pengeringan gabah dengan *box dryer* kurang dari 1%, dibanding dengan kehilangan hasil pada tahapan penjemuran relatif tinggi yaitu 1,5-2,2%. Kadar air yang aman untuk menyimpan gabah sekitar 13-14%, penyimpanan dalam karung tertutup selama 5 bulan susut hasil 0,34 % sedangkan penyimpanan gabah selama 5 bulan dalam keadaan curah menyebabkan susut hasil 0,58 %. Penanganan pascapanen padi maupun inovasi teknologi yang mendukung setiap tahapan pascapanen, dapat mempertahankan kualitas gabah. Gabah yang berkualitas baik akan menghasilkan beras berkualitas yang mempunyai daya saing dan nilai jual tinggi. Penerapan teknologi panen dan pascapanen padi melalui penggunaan peralatan dan mesin pertanian yang tepat mutlak diperlukan untuk mengurangi susut hasil panen padi maupun beras. Sejalan dengan penerapan strategi ini, maka susut hasil panen dan pascapanen padi dapat terus menurun dan akan semakin banyak produksi padi yang dapat diselamatkan.

Pendahuluan

Penanganan panen dan pascapanen padi merupakan upaya strategis dalam menekan besarnya kehilangan hasil dan meningkatkan produksi beras mendukung ketahanan pangan nasional, baik secara langsung maupun tidak langsung (Hasanudin 1996). Meskipun praktik-praktik pascapanen padi pada umumnya sudah diketahui oleh petani dan petugas pertanian di lapangan, tetapi dalam praktiknya sering terjadi penyimpangan sehingga susut hasil masih relatif tinggi. Dalam dekade terakhir fokus penelitian pertanian lebih diarahkan pada upaya peningkatan produksi pangan. Hal ini terlihat dari 95% investasi penelitian fokus pada upaya peningkatan produktivitas dan hanya 5% diarahkan untuk mengurangi susut hasil pangan (Kader 2005; Kader dan Roller 2004). Penanganan masalah susut pangan sangat penting karena dapat menyelamatkan produksi dari kehilangan hasil padi yang masih tinggi, sementara kebutuhan pangan terus meningkat dari waktu ke waktu. Disamping itu, secara ekonomi susut hasil pangan merugikan petani, baik karena kehilangan pendapatan maupun kehilangan investasi selama prapanen (Buzby *et al.* 2011; Papargyropoulou *et al.* 2014; Gustavsson *et al.* 2011).

Permasalahan susut hasil padi selama penanganan panen dan pascapanen tentu berpengaruh terhadap produksi beras nasional, yang pada tahun 2017 ditargetkan sebesar 78 juta ton. Susut hasil padi pada saat panen dan pascapanen merupakan permasalahan yang kompleks karena melibatkan berbagai elemen yang saling berhubungan. Pengembangan pemodelan sistem dinamik untuk analisis kebijakan penurunan susut hasil padi diharapkan dapat membantu para pemangku kebijakan dalam menentukan arah kebijakan pembangunan pertanian berbasis padi dalam jangka panjang. Inovasi penanganan pascapanen yang disinergikan dengan program peningkatan produksi beras nasional (P2BN) ternyata menurunkan angka susut pascapanen padi menjadi 10,8% (BPS 2008). Salah satu strategi yang dapat ditempuh dalam meningkatkan produksi padi adalah menekan susut hasil pada saat panen dan pascapanen.

Kegiatan panen dan pascapanen padi meliputi beberapa proses, yaitu pemanenan, penumpukan sementara, perontokan, pengangkutan, dan penggilingan gabah menjadi beras dan setiap proses mulai kegiatan panen hingga penggilingan terjadi susut. Susut hasil didefinisikan sebagai hilangnya sejumlah gabah akibat tercecer pada saat panen dan pascapanen, baik pada tahap pemanenan, perontokan, pengeringan, maupun pengangkutan dan penggilingan. Susut hasil gabah pada saat panen dan pascapanen sudah tentu mengurangi produksi beras (Rokhani 2007). Menurut Mejio (2008), pascapanen adalah serangkaian kegiatan yang meliputi pemanenan dan pengolahan sampai hasil siap dikonsumsi. Penanganan pascapanen bertujuan untuk menekan susut hasil, meningkatkan kualitas, daya simpan, daya guna komoditas pertanian, memperluas kesempatan kerja, dan meningkatkan nilai tambah produksi. Kontribusi penanganan pascapanen terhadap peningkatan produksi padi dapat tercermin dari besarnya penurunan kehilangan hasil dan tercapainya mutu gabah/beras sesuai persyaratan mutu. Setyono (2010) menyatakan masalah utama dalam penanganan pascapanen padi adalah tingginya susut (*losses*) baik secara kuantitatif maupun kualitatif serta gabah dan beras yang dihasilkan bermutu rendah. Hal tersebut terjadi pada proses tahapan yakni pemanenan, perontokan dan pengeringan. Penanganan yang tidak tepat menyebabkan tingkat kehilangan hasil yang tinggi baik kualitas maupun kuantitas. Penyebab utamanya tidak hanya masalah sosial dan ekonomi, tetapi juga masalah teknis (Hasbi 2012). Dalam mencapai tujuan akhir untuk mendapatkan beras giling bermutu baik dengan rendemen yang

tinggi, ada tiga kegiatan utama dalam rangkaian pascapanen, yaitu: (1) panen, (2) pengeringan dan (3) penggilingan (Sutrisno dan Raharjo 2004). Penanganan pascapanen perlu mengikuti persyaratan *Good Agricultural Practices* (GAP) dan *Standard Operational Procedure* (SOP) (Setyono *et al.* 2008). Dengan demikian, beras yang dihasilkan memiliki mutu fisik dan mutu gizi yang baik sehingga mempunyai daya saing yang tinggi (Setyono *et al.* 2006).

Teknologi panen dan pascapanen adalah teknologi yang diprioritaskan yang harus diperbaiki selanjutnya diikuti dengan teknologi pengeringan dan penggilingan. Jika total kehilangan hasil dapat ditekan dari 20,5% menjadi 10-15%, maka kontribusinya dalam produksi padi nasional akan cukup besar, bahkan dapat membebaskan Indonesia dari impor beras. Dalam penanganan pascapanen padi, salah satu permasalahan yang sering dihadapi adalah masih kurangnya kesadaran dan pemahaman petani terhadap penanganan pascapanen yang baik sehingga mengakibatkan masih tingginya kehilangan hasil dan rendahnya mutu gabah/ beras. Dalam proses pascapanen peranan mekanisasi tidak bisa diabaikan lagi, karena selain mengurangi kehilangan hasil, mekanisasi dapat meningkatkan mutu gabah dan beras yang dihasilkan.

Penanganan dan Tahapan Kegiatan Pascapanen

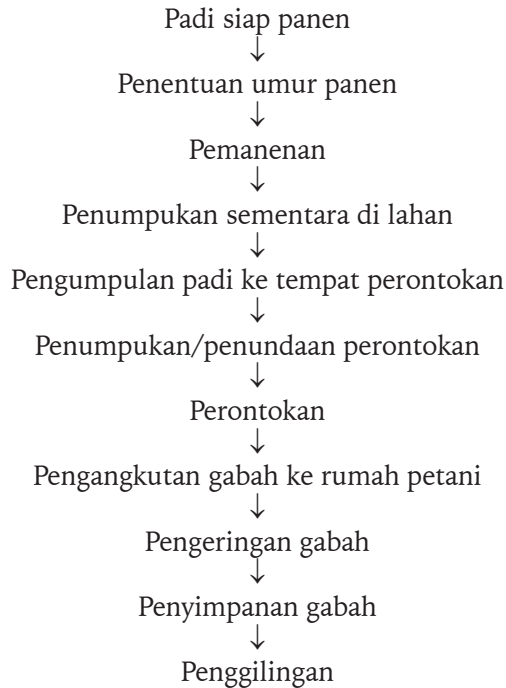
Rangkaian kegiatan pascapanen diawali dengan kegiatan: (1) pemanenan, (2) perontokan gabah, (3) pembersihan, (4) pengangkutan gabah, (5) penjemuran atau pengeringan, (6) pengemasan, (7) penyimpanan, (8) penggilingan, (9) pengolahan serta standarisasi mutu dan (10) penanganan limbah. Kesimpulannya penanganan pascapanen adalah tindakan atau perlakuan yang dilakukan pada setiap tahapan penanganan hasil setelah panen agar hasil pertanian khususnya tanaman padi aman untuk dikonsumsi atau digunakan sebagai bahan baku dalam industri (Anonymous 1986).

Kegiatan pascapanen bertujuan mempertahankan mutu produk segar agar tetap prima sampai ke tangan konsumen, menekan *losses* atau kehilangan karena penyusutan dan kerusakan, memperpanjang daya simpan dan meningkatkan nilai ekonomis hasil pertanian. Hingga saat ini kegiatan penanganan pascapanen yang dilakukan di tingkat petani umumnya masih belum cukup baik karena kegiatan pascapanen di tingkat petani

dilakukan secara tradisional menggunakan alat yang sederhana. Penanganan pascapanen yang baik dan benar merupakan salah satu mata rantai dalam pencapaian standar mutu yang ditetapkan secara nasional dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Dalam pengembangan penanganan pascapanen, ada 3 langkah yang perlu dikuasai, yaitu: (1) akses terhadap teknologi pemasaran, (2) akses terhadap output pertanian, dan (3) akses terhadap konsumen.

Kualitas secara umum adalah sekumpulan sifat yang menentukan derajat kesukaan atau penerimaan, kecenderungannya adalah setiap orang akan memilih kualitas yang terbaik buat dirinya dan konsekuensinya dari kepuasan yang didapat orang tersebut mau membayar lebih. Kualitas yang baik mempunyai nilai jual yang lebih tinggi sedangkan kualitas bagi konsumen adalah jaminan mutu komoditas yang berkaitan dengan tingkat kesegaran, enak dan bagus, kandungan vitaminnya tinggi dan aman untuk dikonsumsi. Sedangkan kepentingan komoditas bagi produsen adalah untuk memperoleh harga yang relatif tinggi, cepat laku dan tahan simpan.

Umumnya petani melakukan tahapan panen hingga proses penanganan pascapanen padi pada hamparan sawah diawali dengan menentukan umur panen tanaman padi. Secara visual panen pada hamparan sawah dapat dilakukan berdasarkan kenampakan padi di lapang, yakni setelah gabah berwarna kuning keemasan. Selain itu dengan melihat umur tanaman berdasarkan deskripsi masing-masing varietas ataupun dengan menggunakan alat untuk tes kadar air gabah (*moisture tester*). Umur panen optimum sangat menentukan mutu maupun kehilangan hasil saat panen. Padi yang dipanen sebelum masak optimal akan menghasilkan kualitas gabah yang kurang baik dan setelah diproses giling memperoleh beras kualitas rendah. Persentase butir hijau dan butir mengapur tinggi apabila padi yang dipanen masih belum optimal masaknya (muda) dan akan menghasilkan kualitas beras, rendemen beras giling rendah, juga dengan persentase beras pecah dan menir tinggi serta warna beras menjadi kusam. Tahapan kegiatan penanganan pascapanen dimulai dari penentuan umur panen sampai dengan penggilingan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan kegiatan penanganan pascapanen padi

Berbagai Masalah pada Proses Pascapanen

Prapanen Tanaman

Sifat genetika dari varietas yang ditanam antara lain mudah rebah atau mudah rontok dapat mempengaruhi susut berat dan penurunan kualitas hasil panen. Demikian juga perlakuan agronomik sebelum tanam, seperti umur bibit di pesemaian; kondisi lingkungan dan lain sebagainya. Sebagai contoh: varietas padi IR – 36, disamping umurnya genjah, dalam proses pematangan gabah adanya sifat tidak serentak dalam proses kematangan, sehingga saat dipanen, kadar butir hijau dan butir mengapur masih tinggi. Untuk mengatasinya selain perlu perbaikan teknik pascapanen seperti cara panen, perontokan, pengeringan dan penyimpanan juga bidang agronominya seperti umur bibitnya dituakan dari 21 hari menjadi 30 hari, penambahan jumlah bibit per rumpun, dari 2-3 batang menjadi 4-6 batang per rumpun serta memperpendek jarak tanamnya menjadi 20 x 20 cm.

Pascapanen dan Kehilangan Hasil

Susut hasil yang masih tinggi ($\pm 21\%$) dari semua kegiatan penanganan pascapanen adalah masalah yang sangat mempengaruhi rendahnya produksi padi termasuk mutu gabah serta beras yang dihasilkan setelah proses penggilingan. Susut pada kegiatan panen sekitar 9,61% dan perontokan sebesar 4,82%. Rendahnya mutu gabah hasil panen disebabkan oleh tingginya kadar kotoran dan gabah hampa serta butir hijau dan butir kapur, akibatnya rendemen beras giling yang dihasilkan relatif rendah. Selain faktor genetik teknik budidaya yang dilakukan selama proses produksi (pemupukan dan pengairan), dapat mempengaruhi persentase butir kapur, sedangkan kotoran dipengaruhi oleh faktor teknik seperti cara perontokan.

Untuk meningkatkan mutu dan mengurangi kehilangan hasil, sejak tahun 1976 Badan Litbang Pertanian telah merintis penelitian pascapanen. Pada tahun 1986, Presiden Republik Indonesia mengeluarkan Keputusan Presiden No. 47/1986 tentang Peningkatan Penanganan Pascapanen Hasil Pertanian. Ternyata pemerintah memberikan perhatian yang besar terhadap masyarakat tani berupaya untuk penyelamatan hasil panen.

Penanganan pascapanen yang baik akan berdampak positif terhadap kualitas gabah konsumsi, benih, dan beras. Oleh karena itu, penanganan pascapanen perlu mengikuti persyaratan *Good Agricultural Practices* (GAP) dan *Standard Operational Procedure* (SOP) (Setyono *et al.* 2008). Dengan demikian beras yang dihasilkan memiliki mutu fisik dan mutu gizi yang baik sehingga mempunyai daya saing yang tinggi (Setyono *et al.* 2006).

Kehilangan hasil merupakan masalah yang umum terjadi dalam proses panen dan rangkaian pascapanen, baik kuantitas maupun kualitas yang besarnya bervariasi pada setiap kegiatan dan cara penanganannya. Kehilangan atau susut hasil gabah dikenal sebagai susut absolut dan susut relatif (Hosokawa 1995). Susut absolut merupakan kehilangan butiran gabah akibat kejadian alam yang terjadi secara mendadak yang sulit diselamatkan, sedangkan susut relatif adalah kehilangan butiran gabah, dengan suatu teknologi gabah masih memungkinkan untuk diselamatkan. Kehilangan pada proses panen dan perontokan sebesar 19% dan kehilangan padi di Kalimantan Selatan mencapai 12,8%, kehilangan pada kegiatan panen 3,70% dan perontokan 6,90%. Di lahan pasang surut, kehilangan hasil akan semakin tinggi apabila perontokan gabah ditunda yakni sebesar 6,65% (Umar *et al.* 1994).

Proses untuk menjadi gabah yang berkualitas baik setelah panen padi masih memerlukan proses lebih lanjut agar menjadi bentuk yang siap dikonsumsi. Persentase kehilangan (susut) hasil dari kegiatan panen dan penanganan pascapanen tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Susut hasil padi pada setiap kegiatan pascapanen

Tahapan	BPS 1986/87 (%)	BPS 1996 (%)	Hosokawa 1995 (%)	BPS 2008 (%)
Pemanenan	9,95	9,52	1,4 – 8,2	9,41
Perontokan	5,48	4,87	1,1 – 2,7	4,42
Pengangkutan	0,59	0,19	-	0,23
Penjemuran	1,94	2,13	0,5	1,78
Penggilingan	3,54	2,19	1,8 – 4,5	2,24
Penyimpanan	0,32	1,61	1,8	0,67
Jumlah	21,03	20,51		18,75

Sumber: Balai Besar Penelitian Pascapanen Pertanian (2011)

Umumnya dalam kegiatan usahatani padi di Indonesia masih didominasi oleh tenaga manusia dengan menggunakan curahan tenaga kerja yang tinggi, kurang lebih 40% dari penggunaan total tenaga kerja orang untuk padi sawah intensif. Disamping masalah tenaga kerja, masalah budaya juga menyebabkan tingginya susut panen padi di sawah, dimana angka susut pascapanen adalah sekitar 20%. (Handaka dan Pitoyo 2007)

Teknologi Penekanan Kehilangan Hasil Padi

Waktu Panen

Penentuan waktu panen yang tepat sangat penting dan erat kaitannya dengan penyelamatan hasil pertanian itu sendiri, serta berhubungan dengan pemanfaatannya lebih lanjut. Dalam rangka efisiensi waktu, tindakan agronomi dengan proses panen berkaitan sehingga perlu penanganan yang lebih baik. Untuk menghindari berbagai risiko, kegiatan panen harus segera dilakukan, namun untuk mempercepat waktu pemanenan dengan cara yang bersamaan dan serentak ternyata tenaga kerja yang tersedia relatif sedikit. Kondisi butir gabah sudah matang optimal dan waktu panen relatif sempit, sesegera mungkin dilakukan pemanenan agar terhindar dari kerontokan padi yang tinggi saat masih di lapangan.

Kontribusi penanganan pascapanen terhadap peningkatan produksi padi dapat tercermin dari besarnya penurunan kehilangan hasil dan

tercapainya mutu gabah/beras sesuai persyaratan mutu. Selama ini permasalahan yang sering dihadapi dan terjadi dalam penanganan pascapanen padi, adalah masih kurangnya kesadaran dan pemahaman petani terhadap penanganan pascapanen yang baik, dimana dengan penanganan yang dilakukan selama ini berakibat pada kehilangan hasil yang masih tinggi serta rendahnya mutu gabah/beras yang dihasilkan setelah proses penggilingan. Masalah yang perlu diatasi dalam proses penanganan pascapanen harus berdasarkan pada prinsip-prinsip *Good Handling Practices* (GHP) agar semua kegiatan pascapanen dapat menekan kehilangan hasil dan mempertahankan mutu hasil gabah/beras.

Bulan-bulan pelaksanaan panen padi varietas unggul di lahan pasang surut adalah bulan Februari dan biasanya kondisi lahan masih berair sehingga untuk meletakkan hasil potongan jerami agak kesulitan. Kondisi seperti ini di lahan pasang surut memang sering terjadi karena kegiatan panen padi varietas unggul masih terdapat curah hujan.



Gambar 2. Warna bulir padi sudah menguning, memasuki masak penuh

Tingkat kemasakan butir padi berdasarkan urutan sebagai berikut: (1) Masak susu, tingkat kemasakan ini umumnya terjadi sepuluh hari setelah padi berbunga. Ciri-cirinya adalah: batang masih bewarna hijau, malai sudah terkulai, ruas batang bawah menguning, gabah berwarna kuning dan bila gabah dipijit keluar cairan yang menyerupai susu. (2) Masak kuning, tingkat ini biasanya terjadi kurang lebih tujuh hari setelah masak susu, ciri-cirinya ialah: seluruh bagian tanaman telah menguning, batang mengering, gabah sudah keras dan gabah sudah sulit dipecahkan dengan kuku jari tangan kita. (3) Masak penuh, terjadi kurang lebih tujuh hari setelah padi masak kuning. Ciri-cirinya ialah: seluruh bagian tanaman menguning, batang mengering dan gabah mengeras. (4) Masak mati, ciri-cirinya adalah: isi gabah keras serta kering, cabang-cabang dengan mudah dipatahkan dan gabah sudah mulai rontok dari malainya atau batangnya. Sekitar sepuluh hari sebelum panen, sawah harus dikeringkan agar masaknya padi berlangsung serentak. Selain itu, keringnya sawah akan lebih memudahkan proses pemanenan. Pemanenan padi harus dilakukan pada saat yang tepat. Panen yang terlalu

cepat dapat menyebabkan kualitas butir gabah menjadi rendah, yaitu banyak butir hijau atau butir berkapur. Bila hal ini yang terjadi, nantinya akan diperoleh beras yang mudah hancur saat digiling. Sebaliknya, panen yang terlambat dapat menurunkan produksi karena banyak butir gabah yang rontok. Pemanenan padi harus dilakukan pada umur panen yang tepat, menggunakan alat dan mesin panen yang memenuhi persyaratan teknis, kesehatan, ekonomi dan ergonomis, serta menerapkan sistem panen yang tepat. Ketidaktepatan dalam melakukan pemanenan padi dapat mengakibatkan kehilangan hasil yang tinggi dan mutu hasil yang rendah. Pada tahap ini, kehilangan hasil dapat mencapai 9,52 % apabila pemanen padi dilakukan secara tidak tepat. Pemanenan padi harus dilakukan pada umur panen yang memenuhi persyaratan sebagai berikut: (a) 90 - 95% gabah dari malai tampak kuning, (b) malai berumur 30 - 35 hari setelah berbunga rata, (c) kadar air gabah 22 - 26% yang diukur dengan *moisture tester*. Pemanenan padi harus menggunakan alat dan mesin yang memenuhi persyaratan teknis, kesehatan, ekonomis dan ergonomis. Alat dan mesin yang digunakan untuk memanen padi harus sesuai dengan jenis varietas padi yang akan dipanen. Pada saat ini, alat dan mesin untuk memanen padi telah berkembang mengikuti berkembangnya varietas baru yang dihasilkan. Alat pemanen padi telah berkembang dari ani-ani menjadi sabit biasa kemudian menjadi sabit bergerigi dengan bahan baja yang sangat tajam dan terakhir telah diperkenalkan *reaper*, *stripper* dan *combine harvester*.

Pelaksanaan panen dilakukan bila butir gabah telah masak optimal dan pada kondisi cuaca yang baik (dalam arti sinar matahari cukup terang). Setelah gabah dipanen kemudian dirontok dan dijemur, tapi bila kondisi cuaca kurang baik saat dilakukan panen maka proses penjemuran sulit dilaksanakan. Butir gabah dengan kondisi pengeringan kurang baik, maka gabah yang digiling akan menghasilkan butir rusak yang tinggi, atau sebelum dijemur terjadi penumpukan gabah akibatnya kelembapan semakin tinggi sehingga gabah yang ditumpuk semakin panas dan saat digiling menghasilkan beras pecah yang tinggi. Ada hal-hal yang sangat sulit untuk melakukan pemanenan berkaitan dengan derajat masak. Bila padi dipanen kurang masak, terjadi peningkatan butir keriput (kisut) setelah dikeringkan dan terjadi peningkatan beras pecah atau beras hancur/menir setelah digiling. Apabila gabah dipanen lewat matang akan terjadi kehilangan yang sangat tinggi antara lain meningkatnya butir pecah/menir pada hasil penggilingan.

Kadar air adalah parameter derajat kematangan, umumnya panen dilakukan pada kadar air antara 22 – 30%. Beberapa cara yang dilakukan untuk menentukan umur panen, antara lain berdasarkan: (1) umur tanaman menurut deskripsi varietas, (2) kadar air gabah, (3) hari setelah berbunga rata, yakni dengan metode optimalisasi, dan (4) kenampakan malai (Setyono dan Hasanuddin 1997 *dalam* Hasbi (2012)).

Bila padi dipanen lewat masak, maka densitas gabah semakin menurun, karena pada umur 15 sesudah masak optimal benih akan mengalami pengusangan sehingga berat biji semakin berkurang. Setelah ukuran maksimum diperoleh, terjadi penurunan dalam ukuran benih sejalan dengan mengeringnya benih (Hasanah 1990). Ketidaktepatan dalam mengukur tingkat kemasakan butir gabah, bila dipanen mengakibatkan kehilangan hasil yang tinggi. Secara visual kenampakan di lapang terlihat bahwa padi siap dipanen atau dalam beberapa hari kemudian dapat dilakukan pemanenan. Bila butir gabah sudah berwarna kuning atau kuning keemasan, atau apabila sudah 90% - 95 % terjadi perubahan warna gabah siap dipanen. Padi yang dipanen pada kondisi tersebut akan menghasilkan gabah berkualitas baik sehingga menghasilkan rendemen giling yang tinggi. Besarnya kehilangan pada kondisi tanaman dengan tingkat kematangan yang tidak tepat yakni sebelum masak optimum sebesar 3%, sedangkan setelah masak optimum kehilangan >5% (Almera 1997)

Panen padi harus dilakukan dengan menerapkan sistem panen yang tepat dan menggunakan alat dan mesin panen yang memenuhi persyaratan teknis, kesehatan, ekonomi dan ergonomis. Apabila panen yang dilakukan tidak tepat, persentase kehilangan tinggi dan terjadi penurunan mutu hasil. Kehilangan hasil dapat mencapai lebih dari 10% (BPS 2008) apabila panen padi dilakukan secara tidak tepat. Pemanenan harus disesuaikan dengan waktu dan kondisi, terutama apabila sudah mencapai umur berdasarkan deskripsi varietas sehingga sesegera mungkin dilakukan panen untuk menghindari hal-hal yang dapat merugikan baik secara kuantitas maupun kualitas. Menurut Almera (1997), kehilangan sekitar 3,35% jika pemanenan padi dilakukan pada saat masak optimum sedangkan bila panen dilaksanakan setelah lewat masak 1 dan 2 minggu kehilangan hasil sebesar 5,63% dan 8,64%.

Lebih lanjut, proses penanganan setelah pemotongan adalah perontokan. Dalam tahapan ini, diperlukan tindakan yang serius karena pada tahapan perontokan susut tercecer dan kehilangan banyak terjadi.

Pelepasan butir gabah secara tradisional yaitu padi dirontokkan dengan digebot atau menggunakan pedal *thresher* yang secara semi-mekanis. Dengan perkembangan teknologi maka diciptakan mesin *power thresher* yang dikembangkan berdasarkan konsep pedal *thresher* yang masih memerlukan tenaga manusia sebagai tenaga penggerak sedangkan mesin *power thresher* menggunakan tenaga mesin diesel sebagai tenaga penggerak. Untuk melakukan panen padi lokal di lahan pasang surut, pemotongan hanya pada bagian malai menggunakan ani-ani. Biasanya panen padi lokal hasil yang diperoleh tidak terlalu banyak sehingga untuk melepas butiran gabah dari malainya dilakukan oleh tenaga pemanen dengan cara irik (iles). Cara irik (iles) biasanya dilakukan pada sore hari setelah panen selesai pada hari itu juga. Pelepasan butiran dengan cara iles ini dapat ditunda karena biasanya gabah yang dipanen tingkat kemasakannya cukup baik sehingga kehilangan akibat rusak karena penumpukan tidak terjadi.

Cara Panen

Proses pelepasan butiran berkaitan dengan cara panen khususnya tanaman padi dan akan berpengaruh terhadap mutu yang dihasilkan. Selain itu pula cara panen dihubungkan dengan sifat tanaman padi yang mudah rontok dan tinggi tanaman, kesemuanya akan berkorelasi dengan persentase kehilangan.

Alat panen yang sering digunakan agar dapat memenuhi persyaratan teknis, kesehatan, ekonomis dan ergonomis maka panen padi harus menggunakan alat dan mesin yang tepat dan sesuai, seperti (1) ani-ani, (2) sabit biasa dan (3) sabit bergerigi. Setelah diperoleh varietas unggul baru dan diintroduksinya varietas-varietas padi tersebut untuk dikembangkan karena memiliki produksi hasil tinggi dan berpostur pendek, maka pada perlakuan panen terjadi perubahan alat panen dari ani-ani ke sabit biasa/bergerigi.

Umumnya kesesuaian alat dan mesin yang digunakan untuk memanen padi harus berdasarkan pada jenis varietas padi yang akan dipanen. Pada saat ini, cara panen padi semakin berkembang mengikuti introduksi varietas baru yang dihasilkan. Cara panen yang semula hanya dengan alat pemanen padi yang sederhana seperti ani-ani berubah ke alat yang lebih praktis yakni sabit biasa kemudian menjadi sabit bergerigi dengan bahan baja yang sangat tajam. Saat ini cara panen yang dilakukan sistem potong langsung dirontok dan terakhir telah diintroduksikan mesin panen *combine harvester*.

Cara panen padi yang dilakukan sekarang ini tergantung alat/mesin perontok yang akan digunakan. Ada beberapa cara yang dilakukan untuk memanen padi, baik yang menggunakan alat sederhana (ani-ani, sabit biasa/bergerigi), *reaper* dan *stripper*.



Gambar 3. Petani memanen padi lokal gunakan ani-ani

Sebelum beberapa dekade terakhir di lahan pasang surut Kalimantan Selatan dilakukan penanaman padi varietas unggul, dan karena semakin berkurangnya tenaga pemanen maka untuk mempercepat waktu panen, banyak petani melakukan panen menggunakan arit/sabit. Perkembangan alat panen sabit sangat cepat, karena terkait dengan varietas unggul yang kebanyakan mempunyai postur tanamannya

rendah sehingga pilihan ke sabit sangat cepat, seperti IR 64, Inpara, Mekongga, dan lain-lain. Saat ini kita mengenal dua macam sabit, seperti sabit biasa dan sabit bergerigi, karena adanya perkembangan penanaman padi varietas unggul. Penggunaan sabit gerigi sangat dianjurkan untuk memanen padi namun dengan menggunakan sabit kehilangan hasil 3-8% (Nugraha *et al.* 1990). Cara panen menggunakan sabit dan perontokan dengan mesin akan menimbulkan kerusakan mekanis yang tinggi pada butir gabah. Penggunaan sabit untuk memotong batang padi ada beberapa cara yang dilakukan petani antara lain dengan cara potong atas, potong tengah dan potong bawah tergantung cara perontokan. Pemotongan dengan cara potong bawah dilakukan bila perontokan dengan cara dibanting/digebot atau menggunakan *pedal thresher*. Pemotongan dengan cara potong atas atau tengah dilakukan bila perontokan menggunakan *power thresher*.

Cara pemotongan akan berpengaruh terhadap kapasitas kerja dan tingkat kehilangan hasil panen padi apabila tanaman padi dipanen menggunakan sabit. Panen dengan sabit bergerigi, potong atas (dekat malai) dapat menekan susut hasil dibanding potong tengah dan potong bawah, namun waktu kerjanya lebih lama (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh cara pemotongan pada panen padi terhadap tingkat kehilangan hasil, Kalimantan Selatan.

Cara pemotongan dengan sabit bergerigi	Lama panen (jam/ha)	Susut hasil (%)
Potong atas (dekat malai)	135,20	10,72
Potong tengah (1/2 batang)	115,30	16,42
Potong bawah (2/3 batang)	112,20	15,98

Sumber : Noor *et.al.* 1995



Gambar 4. Pemotongan padi dengan sabit bagian bawah batang

Berdasarkan hasil penelitian bahwa kehilangan hasil menggunakan sabit biasa sebesar 7,40% dan sabit gerigi 8,40% (Umar 1991) dan tingginya kehilangan dengan sabit gerigi karena petani belum terbiasa. Oleh sebab itu cara memanen tergantung kemahiran petani dan ketajaman mata sabit. Dibanding menggunakan sabit biasa, pemanenan dengan sabit bergerigi bisa menyelamatkan susut hasil sebesar 0,95%.

Panen dengan Mesin

Selain pengolahan tanah yang menggunakan tenaga kerja yang relatif banyak, untuk melakukan panen jumlah curahan tenaga kerja mendekati 25%, hal yang paling penting adalah dengan mensubstitusi tenaga kerja dalam kegiatan tersebut untuk menghindari terjadinya susut panen yang besar. Menurut Setyono (2008), agar susut panen menjadi rendah, sebaiknya panen dilakukan pada saat yang tepat terutama pada tingkat kematangan optimal dan sesuai dengan umur panen varietas yang ditanam berdasarkan deskripsi varietas. Dengan cara menentukan saat panen yang tepat, maka penggunaan alat/mesin panen dapat diintroduksi dan dimanfaatkan agar terjadi peningkatan efisiensi dan kapasitas kerjanya sesuai dengan kapasitas terpasangnya. Perkembangan alat/mesin panen dari panen sabit relatif lamban karena selain harga alsinnya mahal juga karena kepemilikan lahan yang relatif sempit.

Dengan dipilihnya alsin panen, tentu ada penyesuaian pemotongan batang dari ketinggian posisi malai, kondisi lahan untuk memanen

menggunakan mesin tidak berair serta jenis atau varietas padi yang akan dipanen tidak mudah rontok, karena apabila varietas tersebut mudah rontok, bila saat akan dilakukan panen tanaman tergoyang maka butir gabah akan berjatuh ke tanah. Dengan demikian tingkat kehilangan semakin tinggi.

Untuk melakukan pemanenan menggunakan mesin, ada beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan: (1) kinerja dari mesin panen dibanding dengan upah buruh panen, (2) harga dan biaya perawatan serta umur mesin, (3) luas lahan yang akan dikerjakan, (4) tinggi malai dan mudah tidaknya untuk dirontok, serta (5) daya dukung tanah untuk operasi alsin panen yang dimaksud.

Panen menggunakan mesin tentu menghasilkan kapasitas kerja yang lebih tinggi, namun keberadaan mesin panen akan mempengaruhi sejumlah tenaga kerja panen yang biasa melakukan panen di daerah-daerah yang menjadi lahan sebagai penambahan pendapatan petani. Sebagai contoh dalam musim panen, biasanya petani siap melakukan panen pada areal panen yang telah ditentukan dengan jumlah anggota sekitar 25-30 orang, namun dengan adanya alat/mesin panen sebagai contoh mesin panen *reaper* yang dioperasikan di lahan pasang surut Handilmanarap, hanya memakan waktu panen sekitar 5,63 jam/ha (Noor *et al.* 2001). Mesin panen *reaper* hanya menggunakan tenaga kerja 2-3 orang yakni satu orang sebagai operator dan lainnya untuk tenaga pengumpul hasil potongan batang padi untuk siap dirontok. Cara panen menggunakan mesin panen *reaper*, biasanya digunakan pada musim panen kedua yang panennya bertepatan dengan musim kering, namun demikian mesin *reaper* dapat dioperasikan pada lahan yang masih terdapat sedikit air atau agar kebasah-basahan. Cara panen dengan mesin *reaper* beban kerjanya tidak terlalu besar sehingga dengan kondisi lahan yang agak basah mesin masih bisa berjalan lancar untuk melakukan pemanenan. Di lahan pasang surut, kapasitas kerja mesin panen *reaper* sekitar 0,18 ha/jam (Noor, *et al.* 2001). Aplikasi mesin panen (*reaper*) yang diikuti mesin perontok (*thresher*), akan menurunkan susut hasil saat panen menjadi 6,1% - 6,7%. Dengan demikian, potensi penyelamatan susut hasil dari kegiatan panen sampai menjadi gabah kering panen yang dapat dicapai rata-rata sebesar 2,35%.

Selain dengan mesin panen *reaper*, dengan teknologi yang semakin tinggi ternyata telah berkembang alat/mesin panen *combine harvester*. Mesin

panen ini berfungsi sekaligus untuk menghasilkan gabah yang sudah dirontok dan pewadahan. Mesin *combine harvester* *Combine harvester* yang berguna untuk memotong bulir tanaman padi yang berdiri, merontokkan dan mengarungkan gabah sambil berjalan di lapangan. Dengan demikian waktu pemanen lebih singkat dibandingkan dengan menggunakan tenaga manusia (manual) serta tidak membutuhkan jumlah tenaga kerja manusia yang besar seperti pada pemanenan tradisional. Adanya pengadaan mekanisasi pertanian terkhusus pada penanganan panen dapat membantu mempercepat menyelesaikan kegiatan pascapanen. Pemanfaatan mesin panen (*combine harvester*), kehilangan padi hanya sekitar 1% - 3%. Pasalnya, setelah dipotong padi langsung ditransfer ke perontok sehingga kehilangan bulir padi dapat diminimalkan. Selain itu, tidak adanya batang padi yang tidak terpotong membuat kehilangan butir padi menjadi sangat kecil. Jadi dengan memakai mesin panen *combine harvester*, hasil panen yang dapat diselamatkan sekitar 5% - 12%,

Tabel 3. Keragaan alat panen padi *reaper* di lahan rawa pasang surut Inlittra Handil Manarap. Kalimantan Selatan.

Uraian	Satuan	Mesin Panen	
		Raeaper	Stripper
Kapasitas kerja	(jam/ha)	5,63	8,50
Efisiensi kerja	(%)	80,80	--
Bahan bakar	(l/ha)	3,60	13,38
Gabah tidak terpanen	(%)	3,65	2,22
Gabah tercecet	(%)	13,75	10,46
Kotoran	(%)	--	7,92

Sumber : Noor dan Muhammad (1998); Noor *et.al.* (2001)

Dalam dekade terakhir ini di lahan rawa pasang surut telah dilakukan pengujian alat dan mesin panen, baik yang kapasitas kecil maupun sedang bahkan yang berkapasitas besar yang cukup berhasil terutama untuk mengatasi kekurangan tenaga panen saat musim panen bersamaan pada hamparan yang luas. Hasil yang diperoleh mendukung pengembangan alat panen bermesin, namun demikian keberadaan mesin panen tersebut tidak serta merta diterima langsung oleh petani, karena akan mengambil alih keberadaan tenaga kerja yang selama ini telah menjadi ladang untuk menambah pendapatan. Dengan adanya mesin panen bermesin

dikhawatirkan tenaga pemanen yang rutin bekerja setiap musim akan terdesak akibat masuknya mesin-mesin panen tersebut.

Dari beberapa kali melakukan pengujian dan terlibat langsung dengan penggunaan mesin panen sewaan, ternyata kapasitas kerja dan efisiensi yang dihasilkan dari mesin panen bermesin khususnya *combine harvester* cukup tinggi dibanding cara tradisional. Dengan mesin panen *combine harvester*, kapasitas kerja efektif 7,37 jam/ha, efisiensi yang dihasilkan 65,83% juga terlihat bahwa nilai susut hasil relatif rendah (2,92%) (Umar *et al.* 2018).

Tabel 4. Susut hasil panen secara kuantitas dan kualitas dari berbagai cara dan alat panen

Cara/alat panen	Susut kuantitas (%)	Susut kualitas (%)		
		Kotoran	Butir rusak	Butir patah
Manual (sabit-gebot)	9,4	0,5	0,7	5,4
Stripper (IRRI) dan thresher TH6 modifikasi	2,4	0,7	0,2	1,2
Stripper buatan Surabaya dan thresher TH6 modif	2,5	0,8	0,8	2,2
Reaper dan thresher TH6 modifikasi	6,1	1,3	1,2	2,0

Sumber : Purwadaria *et.al.* (1994)

Penggunaan *reaper* dianjurkan pada daerah-daerah yang kekurangan tenaga kerja dan dioperasikan di lahan dengan kondisi baik (tidak tergenang, tidak berlumpur dan tidak becek). Menurut hasil penelitian, penggunaan *reaper* dapat menekan kehilangan hasil sebesar 6,1 %.

Sistem Panen

Di beberapa daerah sentra produksi beras dengan hamparan lahan sawah yang sangat luas terjadi sistem panen beregu atau berkelompok. Pemanen biasanya didatangkan dari daerah lain yang bukan daerah penghasil beras, sehingga para petani yang melakukan pemanenan sudah menjadi langganan untuk melakukan pemanenan di daerah yang banyak pertanaman padi.

Pemanenan yang dilakukan dengan sistem kelompok yang berjumlah 20 orang dan cara panen seperti ini menyebabkan kehilangan hasil sekitar

4,39%, namun besarnya kehilangan masih lebih rendah bila dibandingkan dengan pemanenan sistem keroyokan, yang besarnya antara 15,2%-16,2% (Nugraha 2012). Bila panen padi dilakukan secara konvensional yaitu padi dipotong, ditumpuk, diangkut dan dirontokkan dengan alat perontok atau dengan cara gebot (bantingan) menunjukkan hasil yang kurang dibanding memanen padi sawah yang menggunakan tenaga manual tetapi pascapanennya dilanjutkan dengan perontokan mesin hingga selesai. Menurut Herawati (2008), bahwa kehilangan dengan melakukan pemanenan secara konvensional sebesar 2,93 % - 7 %.

Apabila di suatu wilayah melakukan panen dengan cara yang sudah menjadi kebiasaan dari petani pemanen tersebut, maka sistem panen yang dilakukan harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

- (a) Pemanenan dilakukan dengan sistem beregu/kelompok.
- (b) Pemanenan dan perontokan dilakukan oleh kelompok pemanen itu sendiri.
- (c) Jumlah pemanen antara 5 – 7 orang yang dilengkapi dengan satu unit pedal *thresher* atau 15 – 20 orang yang dilengkapi satu unit *power thresher*.

Pemanen yang berada di daerah pasang surut, biasanya melakukan panen padi lokal menggunakan ani-ani, namun saat ini sebagian petani sudah menggunakan alat panen sabit terutama untuk padi varietas unggul dengan memotong batang padi secara terburu-buru. Cara ini bertujuan agar padi yang telah dipanen sesegera mungkin untuk dirontokkan dan mengharapkan hasil yang diperoleh lebih banyak. Perhitungan hasil yang akan diperoleh sebanyak jumlah blek/hari dan cara kerja seperti ini mengakibatkan banyak butir gabah yang tercecer saat pemotongan. Selain itu ada sebagian petani padi lokal memulai memanen padinya menggunakan sabit, karena mereka juga ingin mendapatkan hasil yang lebih banyak. Pelaksanaan panen di lahan pasang surut khususnya di Kalimantan Selatan, petani ingin melakukan panen dengan tenaga keluarga dan pelaksanaannya hingga sehari-hari, sehingga pemilik lahan harus menanggung makan hingga penginapan tempat bermalam.

Tabel 5. Pengaruh alat panen terhadap lama panen (j/ha), susut panen (%) di lahan pasang surut.

Perlakuan	Waktu panen (j/ha)	Susut panen (%)	Kotoran (%)
Sabit gerigi	79,60 a	7,40 a	0,78 a
Sabit biasa	73,40 a	8,40 a	0,76 a

Sumber : Umar (1991)

Huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan nyata pada taraf 5% uji BNT

Secara visual pemanenan padi dengan tenaga pemanen sistem borongan, besarnya butir yang tercecer belum ada data pasti tetapi dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5. Adapun jumlah gabah yang rontok tersebut lebih dipengaruhi oleh varietas padi.

Teknologi Penanganan Pascapanen

Penanganan pascapanen padi merupakan kegiatan sejak padi dipanen sampai menghasilkan produk antara (*intermediate product*) yang siap dipasarkan. Dengan demikian, kegiatan penanganan pascapanen padi meliputi beberapa tahap kegiatan yaitu proses pemanenan, penumpukan dan pengumpulan, perontokan, pembersihan, pengangkutan, pengeringan, pengemasan dan penyimpanan, serta penggilingan. Dalam setiap tahapan kegiatan pascapanen dapat dipastikan terjadi susut atau kehilangan. Besarnya nilai susut yang terjadi berubah-ubah menurut kebiasaan pascapanen yang sering dilakukan petani serta kebudayaan suatu daerah tertentu. Selain kedua hal tersebut, hal lainnya seperti faktor sosial juga dapat mempengaruhi besarnya susut dalam kegiatan pascapanen. Menurut Ditjen Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, tingkat kehilangan pascapanen sangat ditentukan oleh varietas padi, kondisi iklim setempat dan kondisi pertanian di masing-masing negara.

Penumpukan dan Pengumpulan

Penumpukan merupakan tahap penanganan pascapanen setelah padi dipanen. Kegiatan ini sangat perlu ditangani karena juga dapat menghilangkan hasil padi sehingga penanganan secara optimal agar kehilangan hasil dapat ditekan. Ketidaktepatan dalam penumpukan dan pengumpulan padi dapat mengakibatkan kehilangan hasil yang cukup tinggi. Untuk menghindari atau mengurangi terjadinya kehilangan hasil

sebaiknya pada waktu penumpukan dan pengangkutan padi menggunakan alas. Penumpukan dan pengumpulan hasil panen harus dilakukan dengan cara yang baik, penumpukan menggunakan alas dan pengumpulan hasil panen dapat menekan kehilangan hasil sebesar 0,65-0,69%. Penggunaan alas dan wadah pada saat penumpukan dan pengangkutan kehilangan hasil cukup tinggi, jadi kita perlu memperhatikan lokasi dimana penumpukan dan pengumpulan padi tersebut di letakkan.



Gambar 5a. Hasil panen yang diletakkan di atas batang padi sawah



Gambar 5b. Penumpukan hasil panen menggunakan alas di lahan sawah

Pengangkutan adalah kegiatan memindahkan gabah yang telah dipanen baik yang masih dengan batang ataupun sudah dalam bentuk gabah hasil rontokan dari sawah ke rumah atau ke unit penggilingan padi untuk dikeringkan. Pada tahapan pengangkutan, tingkat kehilangan hasil cukup rendah, berkisar antara 0,5-1,5%. Dalam hal ini pemilik gabah bertanggung jawab atas hasil gabah yang akan dipindahkan sehingga perlakuannya sangat berhati-hati dalam pengangkutan gabah.



Gambar 6. Pengangkutan gabah hasil panen di lahan sawah

Proses pengangkutan dalam penanganan pascapanen padi dikelompokkan menjadi (a) di lahan sawah (*on farm*) dan (b) di luar lahan sawah (*off farm*). Pengangkutan di lahan sawah adalah penempatan potongan batang padi hasil pemotongan di sawah dan lokasi untuk perontokan sebagai tempat penumpukan. Sedangkan pengangkutan di luar

lahan adalah pengangkutan gabah hasil perontokan ke tempat pengeringan dan dari proses pengeringan ke proses penggilingan. Pengangkutan di lahan sawah dilakukan oleh pemanen sehingga tidak terlalu memperhatikan batang-batang padi yang diangkut tergoncang yang mengakibatkan banyak gabah yang terlepas dari malainya, sedangkan pengangkutan di luar lahan sawah, pengangkutan dilakukan oleh pemilik gabah sehingga pelaksanaannya lebih hati-hati. Susut panen selama pengangkutan batang-batang padi di lahan sawah dipengaruhi oleh sistem pemanenan padi, yaitu pada sistem keroyokan sebesar 1,88% dan pada sistem kelompok sebesar 0,85% (Setyono *et.al.* 2007).

Petani yang mengambil upah panen biasanya mengumpulkan batang padi hasil panen secara tergesa-gesa karena ingin hasil panennya banyak dan kerjanya cepat selesai, sehingga banyak batang padi yang dipindahkan ke luar petakan sawah dengan cara dipikul dan butir gabah banyak yang tercecer karena pengaruh guncangan saat dipikul. Sesuai kesepakatan pemanen hanya melakukan pemanenan di satu tempat, tetapi karena ingin banyak memperoleh hasil maka petani biasanya melakukan pemanenan dengan terburu-buru dan ingin berpindah tempat panen.

Pada saat musim panen di lahan pasang surut, kondisi lahan masih terdapat sedikit air mengakibatkan hasil potongan batang padi tidak semuanya dapat diletakkan di atas lahan atau beralaskan tikar/terpal. Bila batang yang dipotong diletakkan pada lahan yang dialas terpal yang masih berair akan menyebabkan gabah basah akibat adanya resapan air dari alas tersebut, sehingga para pemanen meletakkan hasil panen padinya di atas jerami/batang padi yang telah terpanen (Gambar 5a).

Teknologi Perontokan

Perontokan merupakan tahap penanganan pascapanen setelah pemotongan, penumpukan dan pengumpulan padi. Perontokan adalah kegiatan pelepasan butir gabah dari malainya sehingga menjadi butir-butir gabah yang menumpuk dengan kadar air yang masih tinggi. Akibat ketidaktepatan melakukan perontokan, kehilangan hasil mencapai lebih dari 5%. Pada mulanya cara perontokan padi dengan membanting batang padi yang ada butiran gabahnya di malai ke permukaan kayu, akibat tekanan yang besar saat dibanting maka butiran gabah berjatuh di lantai yang beralaskan terpal, kapasitas kerjanya tidak banyak. Dari cara

gebot kemudian pelepasan butir gabah menggunakan pedal *thresher* dan selanjutnya menggunakan mesin *power thresher*.

Bila padi dipanen menggunakan ani-ani maka gabahnya dilepas dengan cara diiles (diinjak), namun bila batang padi dipotong menggunakan sabit, perontokan dapat dilakukan dengan cara banting (gebot), atau menggunakan *pedal thresher* atau dengan mesin *power thresher* tergantung dari tinggi rendahnya pemotongan batang padinya.

Perontokan dengan menggunakan alat dan mesin merupakan suatu cara atau usaha untuk menekan waktu prosesing serta biaya, selain itu mengurangi kerusakan butir gabah sekecil mungkin sekaligus memperbaiki mutu beras. Kapasitas kerja *power thresher* menggunakan batang padi cara potong tengah atau potong bawah diharapkan menjadi lebih besar dibanding dengan perontok sebelumnya, sedangkan tenaga kerja manusia yang digunakan akan menjadi sesedikit mungkin. Dengan memasukkan *power thresher* di tingkat petani khususnya di lahan pasang surut diharapkan dapat menggantikan kebiasaan petani melepas butir gabah yang menggunakan kaki (*iles/irik*) dan *gebot* (banting). Kebanyakan petani di lahan pasang surut belum memanfaatkan mesin perontok sebagai pengganti cara merontok yang memadai dikaitkan dengan lahan usaha yang agak kebasah-basahan.



Gambar 7. Perontokan padi dengan cara gebot

Susut perontokan adalah kehilangan butir gabah selama proses pelepasan butir-butir gabah yang menggunakan alat atau mesin. Susut perontokan dihitung dengan menjumlahkan butir yang terlempar keluar alas petani, butir melekat pada jerami, dan butir yang terbawa kotoran.

Cara melepas butiran gabah dengan membanting (*gebot*) adalah cara tradisional yang

menggunakan bantalan kayu sebagai tempat untuk mengeluarkan atau menjatuhkan gabah yang menggunakan tekanan yang besar dari petani penggebot. Ada sebagian daerah penghasil beras, dengan masuknya mesin perontok (*power thresher*) di wilayah persawahan tempat petani mengambil

upahan, tenaga kerja panen sekaligus perontok tidak terpengaruh masuknya adanya mesin perontok tersebut. Petani menggebot padi secara bergantian, sehingga membutuhkan waktu yang sangat banyak untuk menyelesaikan hasil panen dalam setiap hektar. Pada awal masuknya padi varietas unggul, hasil panen padi di daerah pasang surut umumnya melepaskan butir gabah dari malai dengan cara dibanting (gebot) namun semakin berkembang dengan memperhatikan kondisi cuaca, sebagian petani sudah menggunakan mesin perontok untuk mempercepat waktu. Namun demikian cara gebot masih banyak diminati petani dengan alasan karena merontok dengan mesin perontok banyak mengeluarkan biaya. Kehilangan hasil merontok dengan cara gebot di lahan pasang surut, cukup tinggi sekitar 16,23%, disebabkan karena banyaknya lentingan gabah saat pelepasan butiran gabah dari malai terlempar jauh, dengan demikian akan mempengaruhi jumlah produksi yang dihasilkan (Umar 1991).

Berdasarkan pada kegiatan yang harus memenuhi persyaratan teknis, kesehatan, ekonomis dan ergonomis maka cara merontok dapat dilakukan dengan cara berdiri yakni menggunakan pedal *thresher*. Pedal *thresher* merupakan alat perontok padi dengan konstruksi sederhana dan digerakkan menggunakan tenaga manusia. Dibanding dengan cara gebot, pedal *thresher* mempunyai kelebihan yaitu mampu menghemat tenaga dan waktu, mudah dan cukup dioperasikan oleh satu orang serta dapat mengurangi kehilangan hasil. Dikarenakan hasil perontokan (gabah) banyak bercampur dengan jerami atau kotoran maka petani enggan menggunakan alat pedal *thresher* ini (Noor, *et.al.*, 1988). Besarnya kehilangan dari kegiatan merontok gabah di lahan pasang surut dengan cara irik 3,30% sedangkan dengan alat perontok sederhana (pedal *thresher*) sebesar 12,72% (Umar 1991).

Sebelum perkembangan teknologi, pemanfaatan alat perontok pedal (Pedal *thresher*) sudah cukup lama, kemudian terjadi pengembangan teknologi *power thresher* yang menggunakan sumber tenaga penggerak mesin. Gabah yang dirontok menggunakan *power thresher* kapasitasnya menjadi lebih tinggi setiap jam kerjanya. Selain berfungsi untuk merontokkan padi menjadi gabah juga untuk mengurangi keretakan butir gabah, oleh sebab itu diusahakan kerusakan butir gabah sekecil mungkin dengan cara mengatur kecepatan putaran silinder perontok. Waktu kerja dengan *power thresher* relatif lebih singkat untuk menyelesaikan hasil panen yang banyak. Merontok gabah juga terkait dengan kadar air panen, sebab bila kadar air panen masih lebih besar 25%, maka proses perontokan akan lambat karena

banyak jerami yang ikut tertarik masuk dalam silinder perontok karena batang padi masih berkadar air tinggi, akibatnya mesin perontok tidak bisa berfungsi dengan baik.

Waktu yang digunakan untuk merontok menggunakan mesin relatif singkat yaitu 15,88 jam/ha sedangkan dengan cara gebot waktu yang dibutuhkan 118,75 jam/ha dan dengan pedal thresher 39,75 jam/ha (Umar 1991).

Tabel 6. Pengaruh perontokan terhadap kehilangan dan kualitas gabah

Alat/cara perontokan	Lama merontok (j/ha)	Susut hasil (%)	Butir retak (%)	Kotoran (%)
Power thresher *	15,88 d	4,52 c	19,25 a	2,55 a
Pedal thresher *	39,75 c	12,72 b	11,53 c	2,30 a
Gebot	118,75 b	16,23 a	16,45 b	1,25 b
Irik/iles	159,67 a	3,30 a	14,97 b	0,98 b

Sumber : Umar (1991) -*) 2 orang

Huruf berbeda pada lajur yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata taraf 5%

Akibat perlakuan merontok gabah dengan empat cara dan dengan mesin ternyata persentase butir retak cukup tinggi, dan terendah dengan cara iles. Demikian juga cara iles menghasilkan susut hasil terendah. Cara gebot susut hasil tertinggi, karena banyak butir gabah yang terlempar akibat ayunan batang padi ke belakang badan penggebot setelah dipukul ke papan gebotan namun ada butir gabah yang ikut terlempar dari ayunan batang padi tersebut. Dengan menggunakan mesin perontok di lahan pasang surut ternyata persentase butir retak tertinggi sebesar 19,25% (Tabel 7). Untuk menghindari tertumpuknya batang padi serta penundaan waktu perontokan, *power thresher* lebih berperan terutama dengan kecepatan putar silinder yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan efisiensi waktu. Selanjutnya penggunaan mesin yang dimodifikasi melalui penambahan jumlah gigi perontok model TH6-G88 di daerah pasang surut Sumatera Selatan dengan perbedaan kecepatan putar silinder 110 rpm, kapasitas rontok tertinggi yang dihasilkan 723,6 kg/jam (Umar, *et al.*, 2001). Kapasitas kerja yang tinggi dengan kerusakan gabah <2%, kotoran < 0,03%, gabah lecet antara 1,10-0,40 % (Umar *et al.* 2001).

Tabel 7. Pengaruh tenaga putar mesin terhadap kerusakan mekanis, rendemen dan kualitas hasil, mesin rontok tipe TH-G88 di lahan pasang surut.

Kecepatan silinder perontok (rpm)	Gabah rusak (%)	Kotoran (%)	Gabah lecet (%)	Rendemen (%)	Beras Kepala (%)	Beras Pecah (%)
370	0,157	0,023	0,11	70,87	85,95	10,21
480	0,191	0,018	0,33	71,75	95,99	11,24
590	0,188	0,013	0,41	72,15	86,44	11,96
700	0,178	0,009	0,33	70,64	85,69	17,71

Sumber : Umar *et.al.* (2001)

Kehilangan hasil semakin meningkat apabila proses perontokan ditunda akibatnya terjadi kerusakan gabah serta menurunnya mutu gabah hingga mutu beras. Tertundanya proses perontokan merupakan awal dari terjadinya proses penurunan mutu gabah dan beras. Selama penumpukan jerami padi akibat penundaan perontokan, proses respirasi masih berlangsung dengan demikian terjadi peningkatan butir kuning (Ananto *et al.* 2003).

Berdasarkan pada kecepatan putar silinder perontok 590 rpm, ternyata rendemen beras yang dihasilkan >72%, beras kepala 85% dan beras pecah <12%. Namun hasil ini tidak berbeda dengan kecepatan putar silinder perontok 480 rpm, kecuali persentase beras kepala lebih tinggi (>95%). Kelebihan penggunaan *power thresher* ini dibandingkan dengan alat perontok lainnya adalah kapasitas kerja lebih besar dan efisiensi kerja lebih tinggi.

Untuk memperbaiki mutu hasil, sebaiknya harus dihindari penumpukan jerami bersama dengan butiran gabah sehingga proses respirasi tidak terjadi pada bahan hasil panen tersebut. Namun apabila tidak bisa dihindari karena jerami sudah terpanen, maka penundaan jangan lebih dari satu malam karena semakin lama penundaan untuk melakukan perontokan, maka susut hasil semakin meningkat selain itu karena adanya proses respirasi maka saat digiling beras yang dihasilkan berkualitas rendah terutama tingginya butir retak/patah. Perlu diantisipasi penundaan perontokan terutama sebelum tersedia *power thresher* sehingga proses panen dapat ditunda dan secara langsung akan memberikan kontribusi yang positif terhadap kuantitas gabah serta kualitas beras yang akan dihasilkan dan secara langsung berkorelasi dengan pendapatan. Penundaan perontokan di lahan pasang surut selama 3 hari setelah gabah dipanen, susut hasil sebesar 6,65% (Umar *et al.* 1994 dalam Umar dan Alihamsyah 2014)

Tabel 8. Pengaruh lama penundaan perontokan terhadap susut hasil gabah (*losses*) dan rendemen beras di lahan pasang surut.

Lama penundaan (hari)	Susut hasil gabah (%)	Rendemen beras (%)	Susut beras (%)
0	0,0	63,9	0,0
2	0,3	63,8	0,2
4	0,6	60,5	3,4
6	1,1	57,1	6,7
8	1,9	56,3	7,7

Sumber : Astanto dan Ananto (1999)

Perbaikan teknologi penundaan perontokan dapat dilakukan dengan cara: (1) menggunakan alas plastik pada saat penundaan padi, dan (2) penundaan boleh dilakukan tetapi tidak boleh lebih dari satu malam dengan tinggi tumpukan padi tidak lebih dari 1 m. Dengan implementasi teknologi penundaan tersebut dapat menekan kehilangan hasil antara 1,35-3,12% dan menekan terjadi butir kuning dan rusak antara 1,77-2,22%. Penundaan perontokan akan berpengaruh pada rendemen beras serta susut beras selanjutnya akan mempengaruhi kualitas beras yang dihasilkan. Tanpa penundaan perontokan rendemen beras yang dihasilkan <63,9% dan susut beras tertinggi (7,7%) setelah 8 hari penundaan kemudian kualitas beras yang dihasilkan setelah 2 hari penundaan, beras kepala 54,1%, butir patah 27,3%, menir 16,3% sedangkan butir rusak tertinggi 3% setelah 6 hari penundaan.

Tabel 9. Pengaruh lama penundaan perontokan terhadap mutu beras di lahan pasang surut

Lama penundaan (hari)	Butir kepala (%)	Butir patah (%)	Butir menir (%)	Butir rusak (%)
0	50,3	30,0	18,7	1,0
2	54,1	27,3	16,3	2,3
6	21,3	38,5	37,3	3,0
8	17,5	41,0	39,0	2,6

Sumber : Astanto dan Ananto (1999) dalam Herawaty (2008)

Pembersihan dan Pengeringan

Umumnya setelah dilakukan perontokan, gabah masih terlihat kotor karena gabah tercampur dengan daun-daun serta batang padi. Sebelum dikeringkan sebaiknya gabah dibersihkan dulu dari kotoran maupun sisa perontokan jerami atau benda asing. Setelah gabah dijemur di bawah sinar matahari dapat dilakukan pembersihan lagi, dan kondisi ini hanya menggunakan hembusan angin, kotoran sisa yang kering segera beterbangan. Kebersihan gabah akan menjamin mutu beras giling dan harga jual karena kenampakan butir gabah yang bernas dan cerah juga akan berpengaruh pada lama simpan.

Untuk mendapatkan gabah bersih, perlu dilakukan 3 (tiga) cara pembersihan, antara lain sebagai berikut:

- a. Cara tradisional yaitu ditampi menggunakan nyiru atau dengan mesin penampi tanpa motor. Pada skala besar cara ini kurang efektif tapi akan memberikan hasil yang baik dan bersih.
- b. Diayak dengan menggunakan saringan atau ayakan. Cara inipun masih merupakan cara tradisional yang digunakan untuk skala rumah tangga.
- c. Pembersihan dengan hembusan angin yaitu peniupan dengan alat penampi menggunakan tenaga manusia dimana pembersihan padi dapat dalam skala besar.

Maksud dari pembersihan gabah adalah: (1) memperkecil waktu dan biaya pengeringan, (2) menghindari memburuknya gabah selama penyimpanan, (3) menghindari bahan dari kerusakan conveying dan penggilingan, (4) menghindari bahan dari penurunan *grade*, dan (5) memperkecil kebutuhan penyimpanan

Teknologi Pengeringan

Semua hasil pertanian mengandung air yang ada di permukaan maupun yang ada di dalam gabah itu sendiri. Gabah memiliki 2 (dua) komponen utama yaitu air dan bahan kering. Pengeringan dilakukan karena kadar air gabah panen umumnya masih tinggi yaitu 20 %-26 % tergantung cuaca pada saat pemanenan. Untuk menetapkan jumlah kandungan air dalam butiran gabah, pengukuran kadar air pada gabah dilakukan menggunakan *moisture tester*. Pengeringan gabah adalah suatu perlakuan yang bertujuan menurunkan kadar air sehingga gabah dapat disimpan lama, daya kecambah

dapat dipertahankan, mutu gabah dapat dijaga agar tetap baik (tidak kuning, tidak berkecambah dan tidak berjamur), memudahkan proses penggilingan dan untuk meningkatkan rendemen serta menghasilkan beras gilingan yang baik.

Pengeringan merupakan salah satu kegiatan pascapanen yang penting, dengan tujuan agar kadar air gabah aman dari kemungkinan berkembangbiaknya serangga dan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Sejak tanaman padi dipanen, sesegera mungkin pengeringan dilakukan atau sesudah perlakuan perontokan, dan apabila pengeringan tidak dapat dilangsungkan, maka usahakan agar gabah yang masih basah tidak ditumpuk tetapi ditebarkan untuk menghindarkan dari kemungkinan terjadinya proses fermentasi. Pengeringan akan semakin cepat apabila ada pemanasan, perluasan permukaan gabah padi dan aliran udara. Selain menekan biaya transportasi, tujuan pengeringan juga untuk menurunkan kadar air dari 23-27 % menjadi 14%, agar gabah hasil pengeringan dapat disimpan lebih lama dan saat dilakukan penggilingan menghasilkan beras yang berkualitas baik. Proses pengeringan gabah sebaiknya dilakukan secara merata, perlahan-lahan dengan suhu yang tidak terlalu tinggi. Pengeringan yang kurang merata, akan menyebabkan timbulnya keretakan gabah dan sebaliknya gabah yang terlalu kering bila digiling akan menghasilkan butir pecah. Sedangkan dalam kondisi yang masih terlalu basah selain sulit untuk digiling juga kurang baik bila disimpan karena mudah terserang hama gudang, cendawan dan jamur.

Bagi petani di lahan pasang surut, panen pada bulan dengan kondisi cuaca yang masih ada hujan, penanganan pascapanen menjadi persoalan yang cukup berat, terutama masalah pengeringan. Proses pengeringan gabah merupakan cara untuk menurunkan kadar air (KA) gabah dari gabah kering panen (sekitar 23-27%) menjadi gabah kering giling (sekitar 14%).

Setelah panen, gabah harus segera dikeringkan karena kadar air gabah setelah panen masih cukup tinggi (sekitar 23-27%). Gabah yang disimpan tanpa pengeringan terlebih dahulu akan rusak. Bahkan jika terlambat mengerikan, maka akan menurunkan mutu dan hasil panen, seperti butir kuning, biji rusak, dan rendemen giling yang rendah.

Pengeringan adalah suatu usaha penurunan kadar air dari suatu bahan untuk memperoleh suatu kadar air yang seimbang dengan kadar air udara dalam atmosfer. Pengeringan sangat penting dan merupakan

proses pendahuluan untuk menghasilkan kualitas beras yang tinggi, karena bila kondisi gabah pada kadar air yang rendah atau sesuai dengan yang diinginkan maka hasil penggilingan akan baik dan kerusakan dapat ditekan.

Pengeringan merupakan proses penurunan kadar air gabah sampai mencapai nilai tertentu sehingga siap untuk diolah/digiling atau aman untuk disimpan dalam waktu yang lama. Kehilangan hasil akibat ketidaktepatan dalam melakukan proses pengeringan dapat mencapai 2,13 % (BPS, 2008). Pengeringan adalah penanganan pascapanen yang sangat penting dan kritis. Karenanya harus ditangani secara baik dan benar. Secara umum ada 2 cara pengeringan yaitu secara tradisional dengan jalan penjemuran dan secara modern dengan menggunakan mesin pengering.

Beberapa alternatif praktik pengeringan yang dapat digunakan antara lain: pengeringan dengan sinar matahari baik menggunakan terpal, tikar atau lantai jemur, serta pengeringan mekanis menggunakan udara yang dipanaskan. Beberapa teknologi pengeringan mekanis telah dikembangkan, dimulai dari teknologi yang paling sederhana seperti *flat bed dryer* (mesin pengering bak datar) hingga teknologi pengeringan yang lebih canggih seperti *re-circulating batch dryer* (mesin pengering tipe sirkulasi), *continuous flow dryer* (mesin pengering tipe mengalir) serta *in-store drying* (pengering terintegrasi dalam sistem penyimpanan).

Pengeringan dengan sinar matahari merupakan cara yang paling sederhana dan murah, salah satu sumberdaya alam yang sangat penting sebagai negara tropis, teknik pengeringan matahari inilah yang paling banyak digunakan sehingga teknik inilah yang paling banyak digunakan di Indonesia. Teknik pengeringan seperti ini memiliki beberapa kelemahan antara lain: tingkat susut hasil karena tercecer ataupun termakan burung, sangat bergantung cuaca, adanya risiko gabah basah karena hujan maupun gabah kotor akibat beterbangan abu ataupun kotoran pada lantai jemur, serta kesulitan dalam mengontrol suhu. Beberapa kelemahan ini mendorong peneliti IRRI (*International Rice Research Institute*) mengembangkan *solar bubble dryer* (SBD) sebagai alternatif pengeringan dengan sinar matahari yang diharapkan mampu menanggulangi kelemahan penjemuran langsung dengan sinar matahari. Pengembangan SBD salah satunya diilhami oleh rancang bangun rumah kaca. Sinar matahari yang masuk ke dalam SBD akan terperangkap dan meningkatkan suhu di dalam SBD. Peningkatan suhu ini digunakan untuk mengeringkan gabah. Selain itu SBD dilengkapi kipas

untuk mendorong keluar uap air yang dihasilkan dari proses pengeringan serta batang putar untuk mengaduk gabah.

Pengeringan buatan maupun pengeringan secara alami dengan cara yang salah dapat merusak gabah, sehingga menimbulkan cacat antara lain:

- a. *Case hardening* terjadi karena suhu pengeringan langsung tinggi dan cepat, sehingga bagian luar sudah kering (terlalu kering) sementara bagian dalam masih basah.
- b. Pengeringan terlalu cepat, terlalu lama atau suhunya terlalu tinggi dapat mengakibatkan keretakan sampai pecah.
- c. Apabila lapisan gabah yang dikeringkan terlalu tebal akan terjadi *water front*, misalnya pada pengering kotak tipe batch. Udara pengering (panas) dari bawah dapat menyebabkan lapisan bawah mengering lebih awal sehingga uap airnya mengalir ke atas sementara gabah bagian atasnya relatif lebih dingin sehingga terjadi kondensasi. Garis yang memisahkan lapisan basah dengan lapisan kering disebut *water front*.

Secara biologis, gabah yang baru dipanen masih hidup sehingga masih berlangsung proses respirasi yang menghasilkan CO₂, uap air dan panas sehingga proses biokimiawi berjalan cepat. Jika proses tersebut tidak segera dikendalikan maka gabah menjadi rusak dan beras bermutu rendah. Salah satu cara perawatan gabah adalah melalui proses pengeringan dengan cara dijemur atau menggunakan mesin pengering. Di tingkat petani, gabah umumnya dijemur di atas lantai jemur atau dialas terpal plastik atau bisa juga menggunakan anyaman bambu, sedangkan di unit penggilingan padi pengeringan dilakukan pada lantai semen atau menggunakan mesin pengering seperti *box dryer* atau *flat bed dryer*.

Adapun tujuan dari pengeringan adalah: 1) untuk memperpanjang umur simpan produksi pangan, 2) mempertahankan daya hidup biji-bijian dalam waktu yang lebih lama, 3) mempertinggi mutu giling, 4) menyiapkan hasil untuk pengolahan lebih lanjut, 5) mempertahankan nilai gizi dan kegunaan dari hasil sampling, dan 6) memperkecil biaya transportasi.

Beberapa istilah yang digunakan untuk tingkat kekeringan padi, antara lain: (a) kering panen (kadar air $\pm 25\%$), (b) kering desa (kadar air $\pm 19\%$), (c) kering simpan/lumbung (kadar air $\pm 16\%$) dan (d) kering giling (kadar air $\pm 14\%$).

Penjemuran

Pengeringan alami dengan menjemur atau menganginkan, dilakukan antara lain dengan: pengeringan di atas lantai (lamporan), pengeringan di atas rak, pengeringan dengan ikatan-ikatan ditumpuk, pengeringan dengan ikatan-ikatan yang diberdirikan, pengeringan dengan memakai tonggak. Energi untuk penguapan diperoleh dari sinar matahari. Lamporan harus bersih agar gabah padi yang dikeringkan tidak kotor, tidak menimbulkan panas yang terlalu tinggi, mudah dibersihkan dan dikeringkan, tidak basah sewaktu digunakan, dan tidak berlubang-lubang. Penjemuran gabah pada lantai jemur (lamporan) adalah cara pengeringan gabah secara alami yang praktis, murah, sederhana dan umum digunakan oleh para petani. Lamporan pada umumnya dibuat dari semen, permukaannya agak miring dan bergelombang dengan maksud agar air tidak menggenang, mudah dikeringkan dan permukaannya menjadi lebih luas.

Pengering Buatan

Pengeringan buatan merupakan alternatif cara pengeringan padi bila penjemuran dengan matahari tidak dapat dilakukan. Secara garis besar pengeringan buatan dibagi atas 3 bentuk, yaitu tumpukan datar (*Flat Bed*), Sirkulasi (*Recirculation Batch*) dan kontinu (*Continuous-Flow Dryer*).

Flat bed dryer

Flat bed dryer (FBD) merupakan tipe pengering bak statis yang paling sederhana. Pengering mekanis pada umumnya akan menghasilkan beras giling dengan mutu yang lebih baik dibanding beras giling hasil penjemuran matahari. Dengan syarat pengering ini dioperasikan pada kondisi optimumnya. Untuk mengeringkan padi, ketebalan optimum gabah pada saat pengeringan menggunakan FBD adalah 40-50 cm dengan kecepatan angin 0,15-0,25 m/det. Beberapa masalah yang mungkin muncul dalam pengoperasian pengeringan dengan FBD yang tidak optimal antara lain: waktu pengeringan lebih lama, pengeringan yang tidak merata, konsumsi bahan bakar terlalu tinggi, dan persentase beras patah yang tinggi. Selama proses pengeringan perlu diperhatikan putaran kipas (jika perlu diganti), pengaturan suhu (suhu ditingkatkan bila waktu terlalu lama) pengadukan gabah secara merata sehingga kadar butir patah rendah. Pengeringan

mekanis biasanya terkendala sumber energi yang mahal. Beberapa modifikasi telah dilakukan saat ini untuk mengganti sumber energi minyak bumi dengan hasil samping penggilingan (sekam).

Gabah yang dikeringkan dengan *dryer* sistem resirkulasi akan menghasilkan kadar air dan tingkat kekeringan merata. Menurut Raswin, penyelamatan beras rusak (*broken*) yang dikeringkan dengan *dryer* sebesar 5%-10% dibanding dengan cara manual di lantai jemur. Beras rusak ini terjadi akibat proses pengeringan yang tidak merata, pengadukan, hingga terinjak-injak saat proses pengadukan. Menurut Siebenmorgen *et al.* (2005) proses pengeringan dapat mendorong timbulnya retakan halus pada endosperm beras dan retakan ini mengurangi kekuatan mekanis biji beras dan menyebabkan beras pecah ketika digiling sehingga mengurangi rendemen beras kepala.

Pengeringan gabah dengan *box dryer* dapat menghasilkan beras giling bermutu baik dan kehilangan hasil kurang dari 1%, lebih rendah dibanding dengan penjemuran (Sutrisno *et al.* 2006). Kehilangan hasil pada tahapan penjemuran relatif tinggi yaitu 1,5-2,2% karena sebagian gabah tercecer, dimakan ayam atau burung. Dengan mesin pengering, kehilangan hasil kurang dari 1% (Dinas Pertanian Prov. Bali 2006; Dinas Pertanian Prov. Kal-Sel 2006).

Teknologi Penyimpanan

Salah satu komponen kegiatan dalam penanganan hasil produksi padi adalah kegiatan penyimpanan, baik itu penyimpanan dalam bentuk gabah maupun penyimpanan produk beras. Penyimpanan dimaksudkan sebagai tindakan untuk mempertahankan kualitas gabah atau beras agar tetap dalam keadaan baik dan mutu terjamin dalam jangka waktu tertentu. Penyimpanan gabah dilakukan agar kualitas gabah tetap terjaga, karena kesalahan dalam melakukan penyimpanan gabah dapat mengakibatkan terjadinya respirasi yang tinggi, tumbuhnya jamur, adanya serangan serangga, binatang mengerat dan kutu beras yang dapat menurunkan mutu gabah. Susut hasil produk saat penyimpanan dapat disebabkan oleh kondisi kemasan yang tidak baik, tempat penyimpanan yang tidak higienis, gangguan hama dan penyakit di gudang, serta keadaan cuaca setempat yang buruk.

Pada umumnya menyimpan gabah ada dua cara yaitu: 1) sistem curah (*bulk storage*), yaitu gabah yang sudah kering dicurahkan ke dalam suatu tempat yang kuat, bersih, serta aman dari gangguan hama maupun cuaca seperti silo atau bunker, 2) cara penyimpanan dengan menggunakan kemasan (*bag store*) seperti karung plastik atau karung goni yang diletakkan dalam gudang. Penyimpanan dalam silo maupun gudang dapat dilakukan untuk skala besar maupun kecil.

Selama proses penyimpanan perlu dilakukan aerasi, fumigasi dan monitoring suhu dan kualitas gabah. Aerasi dimaksudkan agar ada pengaliran udara ke dalam ruang penyimpanan untuk mendinginkan gabah yang disimpan. Gabah yang dingin akan mampu bertahan lebih lama, fumigasi berfungsi untuk membrantas serangga yang menyerang gabah dalam penyimpanan. Sedang monitoring suhu untuk mengetahui fluktuasi suhu gabah, karena suhu gabah yang tinggi menunjukkan adanya respirasi yang berlebihan yang dapat mengakibatkan kerusakan gabah. Oleh karena itu diperlukan monitoring secara berkala seminggu sekali untuk mengetahui kualitas gabah yang disimpan.

Faktor-faktor yang sangat penting diperhatikan dalam penyimpanan adalah suhu dan kelembapan relatif udara dari ruang penyimpanan, kadar air gabah maupun beras dan kebersihan gabah/beras saat disimpan. Kadar air yang aman untuk menyimpan gabah sekitar 13-14%, karena pada kadar air tersebut pertumbuhan serangga dan jasad renik dapat ditekan dan penyimpanan pada kadar air tersebut gabah dapat bertahan dan aman diatas 6 bulan. Kadar air adalah faktor utama dan paling penting untuk mempertahankan daya simpan gabah/benih dan apabila terjadi perubahan suhu gabah/benih secara mendadak akan menyebabkan kerusakan fisiologis yang akan berpengaruh terhadap fisik gabah. Jika gabah yang disimpan kadar airnya >14% maka gabah mudah terserang jamur dan bakteri sedangkan gabah yang disimpan kondisinya kurang bersih akan mudah diserang hama penggerek. Menurut Prabowo (2006), gabah dengan kadar air tinggi apabila disimpan dalam timbunan akan menghasilkan panas karena respirasi dan aktivitas mikrobial.

Penyimpanan Gabah

Pengaruh teknik penyimpanan terhadap susut hasil yaitu: 1) penyimpanan dalam karung tertutup menyebabkan susut hasil 0,34 %

selama 5 bulan; 2) penyimpanan gabah dalam keadaan curah menyebabkan susut hasil 0,58 % selama 5 bulan; 3) penyimpanan gabah basah (Kadar air 26 %) yang dicampur dengan garam dapur 2% dapat tahan selama 70 hari, dengan kerusakan < 1% dan rendemen giling mencapai 64,22 %.

Penyimpanan Tradisional

Penyimpanan tradisional adalah penyimpanan gabah/beras dalam jumlah yang tidak banyak dan biasanya dilakukan oleh petani sebagai tempat menyimpan untuk persiapan atau kebutuhan rumah tangga saja, sehingga penyimpanan dilakukan pada bangunan khusus disamping atau dibagian khusus dari rumah induknya. Kebiasaan petani menyimpan gabah dalam bentuk gabah bermalai, beras dan jagung, tempat menyimpan gabah disebut sebagai lumbung yang terbuat dari anyaman bambu atau bentuk kotak. Lumbung ini berfungsi untuk menjamin ketersediaan pangan bagi seluruh keluarga petani hingga masa panen berikutnya.

Hasil panen padi lokal di lahan pasang surut biasanya tidak terlalu banyak karena produksi per hektar yang dihasilkan relatif sedikit, sehingga tidak ada masalah dengan penyimpanan. Luas kepemilikan lahan semakin besar berarti hasil panen semakin banyak, sehingga perlu tempat menyimpan yang lebih besar dan aman. Di beberapa daerah di wilayah pasang surut, tempat penyimpanan sistem lumbung masih dilakukan dan tempat penyimpanan ini disebut “kindai”. *Kindai* adalah tempat menyimpan beras yang terbuat dari bahan untuk pembuatan tikar purun, sedangkan untuk gabah hanya diletakkan di atas lantai papan dalam ruang khusus. Namun demikian dengan semakin berkembangnya teknologi dan perkembangan jaman serta pergeseran budaya, cara penyimpanan seperti tersebut sudah mulai berkurang dan semakin menghilangkan kebiasaan menyimpan gabah untuk persediaan pokok. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kondisi tempat simpan diatas lantai papan tersebut mempunyai kelembapan ruang yang cukup tinggi sehingga sangat cepat terjadi peningkatan kadar air saat disimpan.

Penyimpanan dengan Kemasan

Dengan adanya perubahan cara penyimpanan yang lebih fleksibel dan dengan biaya murah, maka sistem penyimpanan menggunakan kemasan seperti karung semakin diminati petani karena bila gabah yang telah

kering dimasukkan dalam karung kemudian dengan mudah mengangkat gabah per karung untuk disimpan. Selain itu pemeriksaan gabah lebih terkontrol dan lebih mudah dilakukan juga kerusakan akibat serangan hama/penyakit tidak terjadi sekaligus tapi relatif sedikit pada salah satu kemasan karena terpisah dalam masing-masing kemasan. Namun demikian untuk menyimpan gabah harus diperhatikan kondisi tempat penyimpanan, yakni harus aman dari tikus, bersih dan bebas kontaminasi hama gudang serta bebas dari pencurian oleh manusia.

Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan gabah dengan karung adalah:

- a. Karung harus dapat melindungi produk dari kerusakan dalam pengangkutan dan atau penyimpanan.
- b. Karung tidak boleh mengakibatkan kerusakan atau pencemaran bahan dan tidak membawa OPT.
- c. Karung harus kuat, dapat menahan beban tumpukan dan melindungi fisik dan tahan terhadap goncangan serta dapat mempertahankan keseragaman. Karung harus diberi label berupa tulisan yang dapat menjelaskan tentang produk yang dikemas.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan padi adalah sebagai berikut: a) Suhu udara atau temperatur. Gudang penyimpanan harus kering dan stabil jangan sampai lembab, agar padi yang disimpan tidak mudah membusuk. b) Gudang penyimpanan padi harus kuat dan aman dari jangkauan binatang. Usahakan agar dinding dan langit-langit tidak berlubang-lubang atau bercelah. c) Meletakkan padi harus memakai penyangga, lantai harus bersih dan kering. d) Padi yang disimpan harus selalu dipelihara, agar tahan terhadap hama yang menyerang sehingga penyimpanan dapat bertahan lama.

Metode penyimpanan hermetik merupakan metode yang efektif untuk skala kecil menengah dan memiliki kemampuan dalam pengendalian variasi kadar air dan hama serangga. Ditinjau dari daya tumbuh benih tertinggi terdapat pada benih yang disimpan dalam tong plastik (*plastic jar*) yaitu 86%, diikuti kantong aluminium foil 84% dan karung *polyethylene* 82,3%, dan terendah yaitu *volcani cube* 78,3%.

Penyimpanan metode hermetik dengan menggunakan tabung atau tong plastik secara umum terbaik dibandingkan dengan karung *polyethylene*

atau kantong aluminium foil. Hasil analisa menunjukkan bahwa terdapat penurunan jumlah serangga, terkendalinya viabilitas benih selama 12 bulan penyimpanan. Viabilitas benih, kondisi lingkungan menurun setelah penyimpanan selama 6 bulan; sistem penyimpanan hermetik dengan prinsip pengendalian tingkat respirasi aerobik dari bahan, serangga dan jamur (Rachmat, 2008).

Penggilingan

Penggilingan padi merupakan proses pengolahan gabah yang telah dikeringkan (GKG) menjadi beras. Proses penggilingan gabah meliputi pengupasan sekam, pemisahan gabah, penyosohan, pengemasan dan penyimpanan. Pada dasarnya proses penggilingan terdiri dari dua tahap, yaitu: tahap pengupasan kulit gabah /beras pecah kulit (BPK) dan tahap penyosohan yaitu proses pengolahan beras pecah kulit menjadi beras sosoh, yakni bagian kulit aleuron dihilangkan. Adapun tujuan utama dari proses penggilingan menghasilkan beras giling dan untuk memperoleh beras giling yang bermutu baik, harus menggunakan teknik penggilingan yang benar serta kondisi mesin yang baik (Setyono *et al.*, 2006).

Proses penggilingan padi ada tiga tahap utama, yaitu pembersihan (*cleaner*), pengolahan, dan pemisahan (*grading*). Tahap pertama, gabah yang telah kering dibersihkan dari sisa-sisa jerami dan benda asing lainnya, seperti plastik. Tahap kedua, gabah akan dikupas dan dipecahkan kulitnya untuk menghasilkan beras pecah kulit (BPK). Apakah akan dijadikan beras putih atau merah, kulit arinya masih disisakan atau tidak, di sini tempatnya. Pada tahap ini beras akan dipoles (*polish*) menjadi beras bening dan mengkilap.

Tahap ketiga, *grading* bertujuan memisahkan beras utuh dengan beras rusak karena patah. *Grading* merupakan titik kontrol kualitas. Sebab selain ukuran, pada tahap ini juga beras disortir berdasarkan kualitas warnanya menggunakan mesin *color sorter*. Misalkan beras yang standar kita bagus warnanya bening mengkilap, beras yang nggak disortir warnanya kuning, merah, hijau, dan hitam. Selanjutnya akan dihasilkan beras kualitas prima yang siap dipasarkan. Sedangkan beras kualitas jelek masih bisa diolah untuk makanan ternak. RMU yang bagus harus disertakan dengan fasilitas *conveyor* (peralatan pemindahan) yang sesuai untuk menjamin *processing flow* (alur pengolahan) yang merata. Penggunaan RMU juga harus tepat

waktu, tepat sasaran, dan memiliki kapasitas sama rata untuk menghasilkan beras kualitas prima.

Usaha penggilingan padi di Indonesia diawali dengan mesin penggilingan padi berkapasitas besar. Dengan kapasitas mesin giling tersebut maka dikategorikan sebagai mesin penggilingan besar yakni dengan kapasitas 1,5 ton/jam. Namun seiring dengan semakin dibutuhkannya mesin tersebut oleh masyarakat, maka usaha penggilingan padi ukuran kecil di tingkat masyarakat mulai diminati yakni yang berukuran < 700 kg/jam yang diusahakan oleh petani pengusaha penggilingan kecil.

Penggilingan yang berkapasitas kecil membutuhkan investasi yang kecil pula. Berkembangnya mesin penggilingan yang kecil diharapkan dapat memperbaiki mutu dan menghasilkan rendemen yang tinggi agar ketersediaan beras secara nasional dapat dipertahankan, hal ini dibarengi dengan meningkatkan kinerja dari mesin penggilingan tersebut. Kualitas dan rendemen hasil penggilingan padi sangat dipengaruhi prosedur penggilingan juga oleh pengoperasian mesin, umur mesin serta manajemen dan perawatan mesin. Adapun kualitas dari penggilingan beras ditentukan oleh banyak faktor, tapi yang paling utama adalah proses penyosohan (pemolesan) beras. Pada kadar air yang tinggi, gabah relatif lunak dan akan diperlukan energi yang lebih banyak untuk menghasilkan beras pecah kulit, dan pada saat penyosohan menghasilkan beras patah yang tinggi. Sebaliknya kadar air gabah yang terlalu rendah menyebabkan banyaknya gabah yang retak sehingga meningkatkan jumlah beras patah saat penggilingan (Wijaya, 2009). Penyosohan yang kurang baik akan menurunkan nilai jual produk, sedangkan penyosohan yang berlebihan akan menurunkan rendemen dan pendapatan. Oleh karena perpaduan antara teknologi dan pengalaman sangat berperan.

Untuk memproses padi menjadi gabah, alat mesin giling merupakan salah satu alat yang sangat penting dalam menghasilkan beras pada saat panen selesai, selain itu dengan adanya mesin giling diharapkan beras yang dihasilkan berkualitas baik dengan persentase beras kepala yang tinggi.

Penutup

Kegiatan pascapanen bertujuan untuk mempertahankan mutu agar tetap dapat bertahan sampai pada tahap pengolahan dan umumnya dalam

menangani hasil panen terdapat masalah yang terkait dengan kehilangan dan penurunan kualitas hasil panen. Pelaksanaan panen harus dilakukan pada umur panen yang tepat, menggunakan alat dan mesin panen yang memenuhi persyaratan teknis, kesehatan ekonomis dan ergonomis. Panen dilakukan pada kadar air gabah berkisar 23-27% dan warna gabah 90-95% sudah tampak menguning dan panen pada masak optimum. Panen yang kurang masak akan meningkatkan butir kisut setelah dikeringkan dan setelah digiling terjadi peningkatan beras pecah.

Penggunaan sabit untuk memanen padi sangat dianjurkan, namun kehilangan hasil menggunakan sabit bergerigi 7,4% sedangkan kehilangan dengan sabit biasa sebesar 8,4%. Cara pemotongan berpengaruh terhadap kapasitas kerja dan tingkat kehilangan hasil panen, panen potong atas (dekat malai) dapat menekan susut hasil dibanding potong tengah dan potong bawah. Kegiatan penumpukan perlu ditangani dengan baik agar kehilangan dapat ditekan yakni waktu penumpukan dan pengangkutan padi menggunakan alas. Perontokan menggunakan alat dan mesin untuk menekan waktu prosesing serta biaya juga mengurangi kerusakan butiran sekecil mungkin. Penggunaan alat perontok mesin dapat menekan waktu kerja dan meningkatkan kapasitas kerja 12-15 kali lebih tinggi. Merontok gabah, kadar airnya harus lebih kecil 25%, karena bila terlalu tinggi akan memperlambat kerja perontok karena jerami yang basah akan mempengaruhi putaran silinder perontok. Apabila perontokan ditunda, kehilangan hasil semakin meningkat dan terjadi kerusakan gabah dan menurunnya mutu gabah hingga mutu beras.

Pengeringan gabah dengan *box dryer* dapat menghasilkan beras giling bermutu baik dan kehilangan hasil kurang dari 1%. Faktor yang sangat penting dalam penyimpanan adalah suhu, kelembapan relatif udara dari ruang penyimpanan dan kadar air. Kadar air yang aman untuk menyimpan gabah sekitar 13-14%, dapat menekan pertumbuhan serangga dan jasad renik serta lama penyimpanan dan aman di atas 6 bulan. Metode penyimpanan hermetic efektif untuk penyimpanan skala kecil dan menengah, memiliki kemampuan dalam pengendalian variasi kadar air dan hama serangga. Kualitas beras sangat ditentukan oleh proses penyosohan (pemolesan) beras. Penyosohan yang kurang baik akan menurunkan harga jual, penyosohan yang berlebihan akan menurunkan rendemen dan pendapatan.

Daftar Pustaka

- Almera, 1997. Grain losses a different harvesting time based on crop maturity. *In* L. Lantin. Rice Postharvest Operation. www.org/inpho/index.htm
- Ananto E. E., A. Setyono dan Sutrisno. 2003. Panduan teknis penanganan panen dan pascapanen padi dalam sistem usahatani tanaman ternak. Puslitbangtan, Bogor.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. 2008. Laporan Survei Susut Panen dan Pascapanen gabah/beras Tahun 2005, 2006 dan 2007. Kerjasama BPS, Pusdatin, Ditjen Tanaman Pangan dan Badan Litbang Pertanian. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Buzby, J.C., J. Hyman, H.Stewart, H.F Wells. 2011. The Value of Retail- and Consumer-Level Fruit and Vegetable Losses in the United States. *J. Consumer Affairs* 46 (3): 492–515.
- Dinas Pertanian Prov. Bali 2006. Laporan Tahunan 2006. Dinas Pertanian Prov. Bali.
- Dinas Pertanian Prov. Kalsel 2006. Laporan Tahunan 2006. Dinas Pertanian Prov. Kalimantan Selatan, Banjarmasin.
- Gustavsson, J., C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk, and A. Meybeck. 2011. Global Food Losses and Food Waste: Extent Causes and Prevention. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome. 29 p.
- Hasanah, M. 1990. Fisiologi Benih. Seed Technology Training for Researches Central Resch Inst. For Food Crops. Dec. 4, 1989-Jan. 27, 1990.
- Handaka dan Joko Pitoyo, 2007. Evaluasi Sifat Mekanis Tanah Untuk Mekanisasi Panen Padi Sawah (studi kasus di Sukamandi). *Jurnal Enjiniring Pertanian* Vol. V, No 2 Hal 81-87. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian. Bogor.
- Hasanuddin, A. 1996. Strategi dan Langkah Operasional Program Penelitian Tanaman Padi. Prosiding: Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi, 23-25 Agustus 1995. Buku I. Hlm. 26-45.
- Hasbi, 2012. Perbaikan Teknologi Pascapanen Padi di Lahan Suboptimal. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 1(2): 186-196, Oktober 2012.
- Herawati, H. 2008. Mekanisme dan kinerja pada sistem perontokan padi. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, Vol.6(2): 195-203, Desember 2008

- Hosokawa, A. 1995. Rice Postharvest Technology. The Food Agency Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan Yoshihito Makao, ACE Corporation, Tokyo 566 p.
- Kader, A.A. and R.S. Roller. 2004. The Role of Post-harvest Management in Assuring the Quality and Safety Horticultural Crops". Food and Agriculture Organization. Agricultural Services Bulletin 152: 52.
- Kader, A.A. 2005. Increasing Food Availability By Reducing Postharvest Losses of Fresh Produce. *Acta Horticulture* 682:2169-2176.
- Mejio, D.J. 2008. An overview on rice postharvest technology: Use of small metallic for minimizing losses. Agricultural Industries Officer, Agricultural and Food Engineering Technologies Service, FAO, Rome, FAO Corporate Document Repository. p 1-16
- Noor, H.Dj., I. Noor, NoorGINAYUWATI dan Muhammad. 2001. Karakterisasi mutu hasil dan peningkatannya melalui teknologi pascapanen dengan alsintan. Laporan Akhir Proyek/Bagian Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif (PAATP). Balai Penelitian Tan. Pangan Lahan Rawa Banjarbaru.
- Nugraha, S., A. Setyono dan D.S. Damardjati. 1990. Penerapan teknologi pemanenan dengan sabit. Kompilasi Hasil Penelitian 1988/1989. Pascapanen Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi.
- Nugraha S, 2012. Inovasi Teknologi Pascapanen untuk Mengurangi Kehilangan Hasil dan Mempertahankan Mutu Padi/Beras di Tingkat Petani. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* Vol 8 (1), 2012
- Papargyropoulou, E., R. Lozano, J.K.Steinberger, N. Wright, and Z. bin Ujang. 2014. The food Waste Hierarchy as a Framework for the Management of Food Surplus and Food Waste. *J. Clean. Prod.* 76: 106–115.
- Prabowo, S. 2006. Pengolahan dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Serta Kualitas Beras. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol.1, No. 2 2006.
- Rachmat, R. 2008. Teknologi Penyimpanan Gabah Secara Hermetik untuk Menekan Susut Kualitas dan Kuantitas. *Jurnal Pangan*. Edisi No. 51/XVII/Juli-September/2008 hal. 81-89
- Rokhani, H. 2007. Teknik penanganan pascapanen padi untuk menekan susut hasil. Modul pelatihan tenaga pendamping program pengawalan penanganan pascapanen dan pemasaran gabah oleh perguruan tinggi. Kerjasama Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Institut Pertanian Bogor dengan Dirjen Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Departemen Pertanian. 17 hlm.

- Setyono, A., Sutrisno dan S. Nugraha. 2000. Pengujian pemanenan padi sistem kelompok dengan memanfaatkan kelompok jasa pemanen dan jasa perontok. Seminar Hasil Penelitian Balitpa, Sukamandi 10-11 Nopember 2000.
- Setyono, A., Suismono, Jumali dan Sutrisno. 2006. Studi penerapan teknik penggilingan unggul mutu untuk produksi beras bersertifikat. Hlm. 633-646. *Dalam Inovasi Teknologi Padi Menuju Swasembada Beras Berkelanjutan*, Buku 2. Puslitbangtan, Bogor.
- Setyono, A., Sutrisno, S. Nugraha dan Jumali. 2007. *Application of Group Harvesting Technique, Rice Industry, Culture and Environment*, Book 2. Indonesia Center For Rice Research. P.565-568.
- Setyono, A., S. Nugraha dan Sutrisno. 2008. Prinsip penanganan pascapanen padi. Hlm. 439-461. *Dalam Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan* Buku I. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi.
- Setyono A. 2010. Perbaikan Teknologi Pascapanen dalam Upaya Menekan Kehilangan Hasil Padi. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian* 3 (3): 212-226.
- Siebenmorgen, T. J., G. Qin, C. Jia, 2005. Influence of Drying On Rice Fissure Formation Rates and Mechanical Strength Distributions. *American Society of Agricultural Engineers* ISSN 0001-2351, Vol. 48(5): 1835-1841.
- Umar, S. 1991. Pengaruh alat panen dan perontokan terhadap kehilangan dan kualitas gabah varietas Kapuas. *Buletin Kindai* 2(1) : 16-21.
- Umar, S, H.Dj. Noor dan Ida H. 1994. Pengaruh cara panen dan penundaan perontokan terhadap mutu hasil dan kehilangan padi varietas IR 72 di lahan pasang surut. Hal. 249-254. *Dalam* Isdijanto Ar-Riza *et al.* (Eds) *Budidaya Padi dan Lahan Pasang Surut dan Lebak* (Buku I). Puslitbangtan, Balittan Banjarbaru 1994.
- Umar, S., I. Muchroji dan Y.C Purwanta. 2001. Peningkatan tenaga putar mesin perontok padi tipe TH6-G88 terhadap kualitas gabah di lahan pasang surut Sumatera Selatan. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Inovasi Alat dan Mesin Pertanian Untuk Agribisnis. Badan Litbang Pertanian Deptan Bekerjasama dengan Perteta Jakarta. 10-11 Juli. hlm 13-19.
- Umar, S. dan T. Alihamsyah, 2014. *Mekanisasi Pertanian untuk Produksi Padi di Lahan Rawa Pasang Surut*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. IAARD Press. 176 hlm.

- Umar, S., S. Pangaribuan dan A. Suprpto. 2018. Evaluasi Kinerja Mini Combine Harvester di Lahan Pasang Surut. JTEP Keteknikan IPB, Vol. 6(2) April 2018.
- Wijaya. 2009. Pengaruh kadar air gabah terhadap mutu fisik beras giling. <http://faperta-unswagati.com/diakses> 26 Maret 2018.

DUKUNGAN ALSINTAN LAHAN RAWA PASANG SURUT UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI PANGAN

Sudirman Umar, Harsono, dan Maria T. Budiastuti

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jalan Kebun Karet, PO Box 31, Loktabat Urara-Banjarmaru
Email : sudirman_pbr@yahoo.co.id

Ringkasan

Kebijakan pemerintah dalam mengantisipasi peningkatan alih fungsi lahan subur untuk berbagai keperluan non pertanian maupun permintaan akan hasil pertanian adalah mengembangkan pertanian pada lahan suboptimal seperti lahan pasang surut. Masalah utama dalam pengembangan pertanian di lahan pasang surut adalah keterbatasan modal dan tenaga kerja. Alternatif pemecahan masalah tersebut adalah mengembangkan alat dan mesin pertanian (alsintan) pra dan pascapanen tepat guna. Hasil identifikasi terhadap jumlah alsintan di wilayah pasang surut menunjukkan bahwa rasio perbandingan alsintan terhadap areal usahatani masih sangat rendah. Dengan demikian hampir semua alsintan yang dibutuhkan dalam kegiatan usahatani di lahan pasang surut masih berpeluang untuk dikembangkan mulai dari alsin pengolahan lahan sampai ke penggilingan. Berdasarkan hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan alsin prapanen (traktor) dapat meningkatkan luas tanam dan keserempakan waktu tanam. Kapasitas kerja efektif untuk penyelesaian lahan dengan rotary 8,7 jam/ha, dengan traktor amfibi (rotavator) kapasitas kerja 3,28-3,35 jam/ha. Penggunaan atabela tipe drum 8 alur, kapasitas kerjanya 7,9 jam/ha dan dengan power seeder 3,51 jam/ha, dengan efisiensi masing-masing 60% dan 87,23%. Mesin tanam bibit padi Rice Transplanter, membutuhkan waktu kerja 6,15 jam/ha dan efisiensi 80,43% serta menekan biaya tanam sebesar 73,73%. Penggunaan *power thresher* tipe TH6-G88, kapasitas perontokan 420-720 kg/jam dengan kerusakan gabah <1%. Mesin panen padi Combine Harvester sistem kerjanya menggabungkan pekerjaan potong-angkut-rontok-pembersih-sortasi dan

pengantongan. Penggunaan mesin panen *combine harvester* menghasilkan kapasitas kerja 7,37 jam/ha dengan tingkat kebersihan gabah 93,30% dan efisiensi 65,83%. Pengeringan gabah dengan *box dryer* menghasilkan beras bermutu baik dengan susut <1%. Pengeringan menggunakan bahan bakar sekam membutuhkan waktu untuk mengeringkan 8-9 jam dan peningkatan rendemen giling 64% dan persentase beras kepala 70%.

Pendahuluan

Masalah yang muncul pada sektor pertanian sejak tiga dekade terakhir adalah semakin berkurangnya lahan pertanian produktif disebabkan terjadi konversi lahan untuk keperluan non-pertanian dan non-pangan, degradasi kualitas lahan, dan fragmentasi lahan sehingga penguasaan lahan petani semakin sempit. Masalah tersebut masih ditambah dengan perubahan iklim yang kian mengancam produksi pangan.

Salah satu sumber daya lahan untuk pengembangan pertanian adalah lahan sub optimal yang cukup besar dan tersebar di Indonesia. Lahan yang berpotensi untuk dijadikan lahan pertanian adalah lahan rawa pasang surut. Sebaran lahan pasang surut meliputi pulau-pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Irian Jaya. Walaupun lahan pasang surut cukup luas, namun pemanfaatan lahan pasang surut tersebut belum optimal. Selama ini, peranan lahan rawa terhadap ketahanan pangan nasional masih terbatas dan belum signifikan. Peningkatan produksi pangan nasional melalui pemanfaatan dan optimalisasi pengelolaan lahan rawa sangat besar dan prospektif bila melihat dari potensi dan peluang pengembangannya. Oleh sebab itu reklamasi lahan rawa pasang surut merupakan langkah strategis dalam upaya mengatasi masalah di atas dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam secara optimal untuk mengimbangi penciptaan lahan pertanian, peningkatan taraf hidup masyarakat, serta pemerataan pembangunan antar wilayah.

Untuk menjaga keseimbangan antara ketahanan pangan berkelanjutan, pembangunan ekonomi dan kelestarian sumber daya lahan serta lingkungan, pemerintah telah membuat peraturan terkait dengan pengembangan dan pengelolaan lahan rawa. Aspek lingkungan yang perlu mendapat perhatian khusus adalah keanekaragaman hayati, perubahan iklim, tata air, dan kelestariannya. Selain itu, pengelolaan lahan rawa melibatkan berbagai sektor pembangunan, antara lain pertanian, perikanan, peternakan, kehutanan, pekerjaan umum, lingkungan hidup, kesehatan dan pendidikan.

Dalam pembangunan nasional, peran sektor pertanian semakin strategis dan meningkat, terutama terkait dengan ketahanan pangan, energi terbarukan, daya saing dan kesejahteraan masyarakat. Berbagai masalah dan tantangan yang semakin kompleks serta persaingan yang semakin ketat, akibatnya berimbas pada upaya peningkatan produktivitas, efisiensi, kualitas dan nilai tambah. Salah satu inovasi yang berperan dalam pengembangan sistem pertanian industrial adalah pertanian dengan sistem mekanisasi. Mekanisasi pertanian berperan bukan hanya dalam hal perluasan areal tanam dan intensitas tanam, tetapi juga untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi usahatani.

Pengembangan mekanisasi pertanian dalam hal ini memanfaatkan sejumlah alat dan mesin pertanian, berjalan sesuai dengan perubahan struktur ekonomi nasional. Kondisi seperti ini akan mendorong terjadinya mobilitas tenaga kerja antar wilayah, sehingga terjadi perubahan struktural karena petani semakin kritis dalam menjalankan usahatannya. Dengan demikian usahatani yang ada bukan lagi usahatani keluarga yang subsisten, tetapi sudah mengarah ke usahatani komersial yang berorientasi pasar. Mekanisasi pertanian sangat diperlukan untuk menghantar pertanian subsisten ke pertanian transisi menuju pertanian modern dan mempersiapkan para petani untuk hidup lebih baik pada era modernisasi di masa akan datang. Pengembangan mekanisasi pertanian dan teknologi pascapanen yang mampu memberikan kontribusi optimal kepada pembangunan sistem dan usaha agribisnis. Dimana pengembangan tersebut bertujuan untuk memberikan landasan yang kuat bagi berlangsungnya pengembangan mekanisasi pertanian, sebagai wahana perubahan budaya pertanian tradisional ke budaya pertanian industrial atau modern.

Keberadaan alsintan di tingkat pedesaan merupakan suatu keberhasilan petani dalam mengusahakan usahatannya yaitu dengan mengurangi penggunaan tenaga kerja manusia untuk mendapatkan hasil yang lebih tinggi dengan sedikit menggunakan biaya. Selain itu alsintan yang digunakan dapat dimanfaatkan bersama dengan kelompok tani sehingga luas garapan semakin besar dan alsintan dapat dikelola secara berkelompok dengan sistem sewa dengan membentuk kelembagaan Usaha Pelayanan Jasa Alsintan. Selain dengan memanfaatkan alsintan, untuk mengatasi masalah teknis di lahan rawa khususnya lahan rawa pasang surut, sudah tersedia paket teknologi spesifik lokasi yang mampu mengangkat citra lahan rawa pasang surut (lahan suboptimal) menjadi lahan produktif sebagai sentra

produksi beras. Keberhasilan pengembangan pertanian lahan rawa harus didukung oleh sarana dan prasarana tata air yang memadai serta dukungan kelembagaan penunjang usahatani dan yang terpenting adalah partisipasi masyarakat petani.

Peluang Pengembangan Mekanisasi Pertanian

Pemanfaatan lahan rawa pasang surut untuk pertanian khususnya padi semakin luas. Sementara ketersediaan tenaga dan minat tenaga kerja potensial dan yang masih muda semakin menurun, oleh sebab itu sistem mekanisasi tidak dapat dihindari dan menjadi tuntutan masa depan. Umumnya petani lahan rawa pasang surut hanya menanam padi satu kali setahun. Hal ini disebabkan *man-land ratio* yang rendah dibanding dengan potensi lahan rawa pasang surut yang dapat dimanfaatkan. Umumnya tenaga kerja keluarga untuk berusahatani di lahan rawa pasang surut hanya 70% (Komaruddin *et al.* 2000), sehingga diperlukan tambahan tenaga kerja dari luar. Secara teknis pola tanam padi dapat dilakukan dua kali tanam dalam setahun (IP 200). Namun harus didukung dengan penggunaan alsintan terutama untuk alsin pra produksi seperti traktor dan alat mesin tanam bibit padi guna mengatasi kekurangan tenaga kerja yang tersedia.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan alsin prapanen dapat meningkatkan luas tanam dan keserempakan waktu tanam. Selain itu, alsintan pada proses panen dan pascapanen berperan meningkatkan pengamanan hasil, perbaikan mutu dan nilai tambah. Permasalahan yang dihadapi dalam penggunaan alsintan antara lain adalah: (1) rasio antara jumlah alsintan dengan luas lahan masih sangat kecil sekitar 0,3 (Soentoro, 1998) dan (2) penggunaan alsintan belum optimal sekalipun usaha pelayanan jasa alsintan (UPJA) sudah terbentuk. Peluang pengembangan alsintan di lahan rawa pasang surut cukup besar, seperti dalam meningkatkan areal tanam termasuk intensitas tanam, produktivitas, efisiensi, perbaikan kualitas, dan pengembangan agroindustri. Peluang pengembangan mekanisasi pertanian pada sub-sektor tanaman pangan, khususnya tanaman padi masih terbuka cukup luas. Sejak awal perkembangan alsintan, pertama kali yang dapat dimanfaatkan pada usahatani padi adalah penggilingan padi, kemudian diikuti oleh alsin olah tanah, perontok, panen dan tanam.

Umumnya lahan-lahan yang diusahakan untuk usahatani pertanian di wilayah pasang surut sentra produksi beras sebagian besar masih dengan cara olah tanah terbatas (*minimum tillage*), karena pada daerah-daerah yang sebaran alsin traktor dan *thresher* tersebut penanaman padi masih didominasi oleh padi lokal dengan produksi yang masih rendah. Misalnya penggunaan traktor di wilayah pasang surut kecamatan Mandastana dan Rantau Badauh, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan masih rendah, padahal luas lahan rawa pasang surut yang dikelola cukup luas. Demikian juga sebaran dan kepadatan *power thresher* di kecamatan Anjir Pasar dan Rantau Badauh, dan sebaran RMU di kecamatan Mekar Sari dan Anjir Muara masih rendah.

Hasil identifikasi terhadap jumlah alsintan di wilayah lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa rasio perbandingan jumlah traktor terhadap areal usahatani rawa pasang surut masih sangat rendah yaitu 275 ha/unit, *power thresher* 197 ha/unit dan RMU 123 ha/unit, termasuk pompa air yang paling rendah yakni 995 ha/unit (Umar dan Alihamsyah, 2014). Sebagai contoh, di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan di Kabupaten Barito Kuala tersedia 319 unit traktor untuk luasan 87.873 hektar berarti satu unit traktor melayani pekerjaan olah tanah seluas 275 hektar, padahal idealnya satu unit traktor hanya dapat melayani luasan 30-35 hektar. Data ini didukung oleh hasil survai Ananto *et al.* (2000) menunjukkan bahwa kapasitas kerja traktor rata-rata secara keseluruhan dengan menggunakan bajak singkal adalah 0,50 hektar per hari dengan luas rata-rata 33 hektar per tahun. Untuk kepadatan traktor pada lokasi Rantau Badauh yang tertinggi (66 unit) rasio antara traktor dan luas lahan pertanian masih 1 : 115 hektar, dan rasio tertinggi masih terdapat untuk satu unit traktor melayani 62 hektar.

Alat/mesin perontok padi (*power thresher*) di Kalimantan Selatan terdapat sebanyak 4.953 buah yang tersebar di seluruh kabupaten/kota, terdiri dari pedal *thresher* sebanyak 237 buah (terdapat di beberapa kabupaten) dan *power thresher* sebanyak 4.716 buah yang terdapat diseluruh kabupaten/kota. Jumlah *power thresher* di Kabupaten Barito Kuala 461 unit. Kepadatan *power thresher* di lahan pasang surut tertinggi di Kecamatan Rantau Badauh 99 buah berikut Anjir Pasar 70 buah. Kecamatan dengan kepadatan terendah adalah kecamatan Alalak (5 buah) kemudian Marabahan (4 buah).

Hasil analisis terhadap jumlah *power thresher*, rata-rata rasio perbandingan antara kepadatan *power thresher* dengan luas lahan untuk usahatani di Kabupaten Barito Kuala 191 hektar/unit, yang idealnya untuk satu unit *power thresher* melayani 40-45 hektar. Kecamatan dengan kepadatan tertinggi 99 unit *power thresher* (Rantau Badauh) ternyata setiap satu unitnya melayani 496 hektar. Selanjutnya untuk alat dan mesin giling *Rice Milling Unit* (RMU) secara keseluruhan untuk Kabupaten Barito Kuala satu unit penggilingan melayani 123 hektar dengan hasil rata-rata 3,2 t/ha = 393,6 ton. Kepadatan RMU tertinggi di kecamatan Mekar Sari sebanyak 105 melayani untuk luasan 7.115 hektar berarti satu unit mesin giling melayani gabah 217,6 ton, padahal idealnya setiap unit hanya melayani rata-rata 80 ton gabah. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa peluang untuk mengembangkan alsintan di lahan pasang surut yang salah satunya di kabupaten Batola masih sangat besar.

Lahan rawa pasang surut, mempunyai prospek yang baik untuk pengembangan pertanian. Lahan rawa telah direklamasi pemerintah sejak tahun 1969, yang diawali dengan pembangunan sistem jaringan tata air makro, yang merupakan sistem jaringan terbuka yang berfungsi untuk drainase. Namun pengaturan air masih bergantung pada kondisi alam, sehingga efektivitasnya masih rendah. Pada mulanya lahan direklamasi, lahan tidak bisa diolah karena dikhawatirkan racun pirit akan terangkat ke permukaan apabila tanah dibalik, akibatnya tanaman akan mati karena timbulnya racun. Dalam hal penyiapan lahan, kebiasaan petani adalah menebas tipis permukaan tanah yang ditumbuhi rumput menggunakan alat tradisional sederhana (tajak). Pengelolaan lahan yang luas akan membutuhkan waktu yang lama dengan biaya tinggi, pada kondisi pirit tidak terekspose tanaman akan tetap hidup hingga menghasilkan apabila pengelolaan lahan dengan cara olah terkendali dan tindakan seminim mungkin.

Daerah rawa pasang surut baik Kalimantan maupun Sumatera khususnya Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan serta beberapa daerah dengan potensi lahan rawa yang cukup besar, disamping *man-land ratio* yang rendah, juga mempunyai *machine-land ratio* yang rendah. Penggunaan beberapa alat dan mesin pertanian antara lain traktor, mesin tanam, mesin perontok dan mesin penggilingan (RMU) di Kalimantan Selatan sudah berkembang namun dibanding wilayah Sumatera Selatan sebaran alsintan relatif lebih sedikit. Mesin penggilingan (RMU) adalah mesin yang paling

pesat perkembangannya baik di Sumatera Selatan maupun Kalimantan Selatan. Dengan demikian peluang pengembangan alsintan di lahan rawa pasang surut khusus alsin praproduksi cukup besar dilihat peranannya dalam meningkatkan areal pertanaman termasuk intensitas pertanaman, produktivitas serta efisiensi, perbaikan kualitas dan untuk pengembangan agroindustri, sehingga akan terjadi peningkatan pendapatan dan kegiatan ekonomi lainnya.

Peluang pengembangan mekanisasi pertanian di subsektor tanaman pangan, khususnya tanaman padi, masih terbuka cukup lebar. Dari alur aktivitas kegiatan usahatani padi mulai dari pengolahan lahan hingga penggilingan, ada beberapa kegiatan yang penerapan mekanisasinya sudah tercapai, terutama penggilingan padi, sementara penerapan mekanisasi untuk kegiatan yang lainnya masih rendah, bahkan untuk kegiatan tanam, penyiangan dan panen masih menggunakan alat tradisional. Prospek dan peluang yang cerah akan diperoleh dari pengembangan alsintan budidaya dan pascapanen yang tepat sebelum memasuki proses pengolahan.

Modernisasi Pertanian

Indonesia memiliki proyeksi menjadi lumbung pangan dunia di tahun 2045. Pemenuhan kebutuhan pangan dalam negeri menjadi tolok ukur yang nantinya mengarah pada ekspor pangan. Dengan mekanisasi pertanian yang modern dan berwawasan agribisnis yang dikembangkan dan dibangun dari pertanian tradisional melalui proses modernisasi akan berkembang pesat di masa mendatang. Pada prinsipnya, modernisasi menuntut terjadinya perubahan dan pembaharuan sistem nilai dan budaya. Modernisasi berarti melakukan reformasi terhadap norma dan budaya yang tidak sesuai lagi dengan perkembangan zaman, kurang produktif, kurang efisien dan tidak memiliki daya saing. Perubahan tersebut perlu waktu, harus terjadi dalam lingkup integral dan tidak hanya mencakup aspek-aspek teknis, ekonomis, politis melainkan juga aspek penghidupan sosio-kultural.

Pengembangan lahan rawa menjadi lahan pertanian merupakan inovasi, dan teknologi menjadi kunci keberhasilan inovasi tersebut. Namun, teknologi dan mekanisasi pertanian yang dikembangkan tidak akan mengesampingkan para petani. Berdasarkan pengalaman kemampuan petani mengolah tanah dan mengelola lahan di beberapa daerah transmigrasi khususnya di daerah pasang surut, tidak dapat dijamin bahwa

lahan seluas 2-2,5 ha tersebut dapat digarap semua dengan tenaga kerja keluarga. Maksudnya, luas efektif sawah tidak akan mencapai luas lahan persawahan tersebut. Untuk dapat mencapai luas persawahan efektif 2-2,5 ha bagi setiap keluarga, tambahan tenaga berupa mesin pertanian tampaknya sangat diperlukan.

Indikasi rasio luas lahan dengan jumlah petani yang ada di daerah pemukiman pasang surut kurang berimbang karena luas rata-rata yang dimiliki 2,08-2,20 Ha, sedangkan daya garap lahan/keluarga tani yang paling maksimal sekitar satu hektar (Noorginayuwati *et al.* 1996). Dengan *land-man ratio* yang rendah dan sistem pengelolaan yang masih tradisional, maka intensitas tanam, produktivitas tanaman dan mutu hasil yang rendah memberi peluang masuknya alsintan, baik untuk kegiatan pra panen maupun pascapanen, sehingga menjadi pertanian modern dan dengan sendirinya perkembangannya menjadi modernisasi pertanian.

Adanya pergeseran nilai dan perilaku sosial budaya ini juga mengisyaratkan kuatnya harapan masyarakat pedesaan untuk menuju perbaikan taraf kehidupan mereka. Oleh karena itu, dalam melakukan program pemberdayaan masyarakat pedesaan, juga perlu dan harus melakukan transformasi nilai dan ilmu pengetahuan terlebih dahulu yang sesuai dengan modernisasi, sehingga pelaksanaan program pembangunan (pemberdayaan masyarakat pedesaan) dapat mengena pada sasaran yang diinginkan.

Pengembangan Mekanisasi Pertanian

Permasalahan pembangunan pertanian baik di dalam negeri, regional dan global adanya perubahan teknologi yang sangat cepat terjadi. Untuk itu diperlukan strategi pengembangan mekanisasi pertanian dan teknologi pascapanen yang mampu memberikan kontribusi optimal kepada pembangunan sistem dan usaha agribisnis. Strategi tersebut bertujuan untuk memberikan landasan yang kuat bagi berlangsungnya pengembangan mekanisasi pertanian, sebagai wahana perubahan budaya pertanian tradisional ke budaya pertanian industrial (modern). Sebagai proses pembelajaran, perubahan memerlukan waktu yang cukup lama, namun langkah ke depan untuk perubahan tetap harus ditempuh. Strategi yang perlu ditempuh adalah sebagai berikut:

a. Pengembangan teknologi melalui proses alih teknologi

Dalam proses ini tahapan alih teknologi perlu dilakukan dan diikuti sebagai proses pematangan budaya profesional dan industrial. Proses alih teknologi yang ditempuh adalah *Material Transfer*, *Design Transfer* dan *Capacity Transfer*. *Material Transfer* merupakan proses alih teknologi dengan membeli, tanpa harus memiliki kemampuan untuk melakukan modifikasi; *Design Transfer* adalah alih teknologi yang dilakukan dengan proses adopsi, modifikasi dan adaptasi, sedangkan pada *Capacity Transfer* sudah melakukan proses alih teknologi dengan meningkatnya kemampuan untuk rancang bangun, dan pabrikasi. Perjalanan yang dimulai dari peralihan teknologi dengan cara membeli sampai pada fase rancang bangun dan pabrikasi memerlukan investasi yang besar dengan konsekuensi kegagalan masih ada. Sebagai contoh adalah kegagalan Mekatani dalam membuat alsin pra produksi pada masa 1950. Oleh karena itu Riset di bidang Keteknikan (*Engineering*), Mekanisasi Pertanian, dan Pengembangan Teknologi Pascapanen menjadi sangat penting untuk dilakukan.

b. Peningkatan kemampuan sumber daya manusia

Kemampuan sumber daya manusia dibutuhkan tidak hanya untuk mengoperasikan alat dan mesin pertanian secara fisik sebagai operator teknologi, namun juga diperlukan dalam manajemen sistem teknologi. Manajemen Sistem Teknologi tersebut dimulai dari pemilihan (seleksi), pengujian dan evaluasi, serta penciptaan teknologi baru yang sepadan dengan perkembangan zaman. Pergeseran sistem pertanian dari padat tenaga kerja ke padat modal dengan menggunakan mekanisasi pertanian memerlukan keahlian dalam merencanakan, menganalisis, dan memberikan keputusan keputusan yang tepat.

c. Pengembangan kelembagaan mekanisasi pertanian

Kelembagaan berkaitan dengan *supporting system* yang dibutuhkan untuk melayani pengembangan mekanisasi pertanian, antara lain adalah keberadaan kelompok tani, asosiasi pengusaha, *leadership*, UPJA, lembaga kredit atau keuangan, lembaga penjamin kredit, asuransi, bengkel serta industri perawatan dan pemeliharaan yang perlu dihidupkan. Dengan adanya lembaga-lembaga tersebut, keberlanjutan operasi mekanisasi pertanian dapat dijamin berlangsung terus.

d. **Klasifikasi dan regionalisasi mekanisasi pertanian**

Klasifikasi atau regionalisasi mekanisasi diperlukan sebagai instrumen pengendalian, namun klasifikasi wilayah diperlukan sebagai informasi untuk menentukan jenis, tipologi, kelayakan, dan aspek aspek lain bagi pengembangan mekanisasi pertanian. Di dalam klasifikasi tersebut akan terlihat, sejauh mana dan pada batas mana, pemerintah harus berperan atau tidak berperan dalam pengembangan mekanisasi pertanian. Sebagai contoh, pada wilayah yang di ketahui pengembangan mekanisasi dapat berjalan dengan wajar, lancar dan secara alami bertumbuh, peran pemerintah tentu saja makin kecil, tetapi peran swasta makin besar. Sebaliknya, jika pada tempat-tempat tertentu, mekanisasi pertanian diperlukan untuk pertumbuhan tetapi kurang layak secara ekonomi, peran pemerintah adalah memberikan insentif bagi pertumbuhannya.

e. **Kemitraan antara riset, industri dan pengguna**

Kemitraan tumbuh karena saling ketergantungan dan saling membutuhkan. Riset perlu didorong untuk melakukan penelitian yang mampu dijual secara komersial kepada industri, dan jika diproduksi bermanfaat bagi pengguna. Agenda penelitian harus disusun sesuai dengan kebutuhan stake holdernya yaitu industri dan petani.

Kendala Pengembangan Alsintan

Alat dan mesin pertanian (alsintan) khusus di lahan rawa harus bersifat spesifik, karena dengan kondisi lahan yang masam menyebabkan daya pakai alsin terbatas. Adanya kondisi lahan yang beragam, jarak lokasi yang relatif jauh dari perkotaan, agroekosistem yang spesifik serta ketersediaan suku cadang yang terbatas, sehingga untuk mengembangkan alsin yang sesuai untuk lahan rawa pasang surut masih terbatas. Pengembangan alsintan di lahan rawa pasang surut diharapkan mendukung industrialisasi pertanian yang didasarkan pada potensi tanaman pangan yang berkembang di lahan rawa pasang surut seperti padi, jagung dan kacang-kacangan serta umbi-umbian.

Sampai saat ini, alsin sudah menjadi kebutuhan untuk usahatani di lahan pasang surut salah satunya untuk mengatasi keterbatasan tenaga kerja dalam berusahatani. Penerapan mekanisasi di lahan rawa pasang surut bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi usahatani.

Dengan membatasi pada kendala pengembangan alsintan di lahan rawa, sebenarnya peluang mekanisasi di lahan rawa cukup besar, terkait dengan kebutuhan dan jumlah alsintan yang digunakan dalam sistem usahatani terus meningkat setiap tahunnya.

Kendala Teknis

Pengembangan lahan rawa harus sejalan dengan usaha untuk memperluas luas tambah tanam (LTT) yang dicanangkan oleh pemerintah untuk mengatasi kekurangan pangan khususnya beras, sehingga lahan marjinal seperti pasang surut dapat dimanfaatkan secara optimal. Namun secara teknis untuk mengembangkan usahatani dengan sistem mekanisasi penuh, terdapat kendala antara lain kondisi topografi lahan serta terbatasnya infrastruktur jalan dan fasilitas perbengkelan untuk perbaikan alsintan. Adapun kendala teknis yang terdapat di wilayah pasang surut antara lain (a) sempitnya ukuran lahan usahatani dan luas lahan antara sesama petani ukurannya tidak beraturan, akibatnya mobilitas alsintan untuk pindah tempat operasi dari lahan satu ke lahan yang lain sulit karena jalan kebun untuk transportasi alsintan terbatas, (b) operasi alsintan hanya bersifat musiman, tidak memenuhi target kerja alsintan/tahun akibatnya titik impas penggunaan alsintan tidak tercapai, (c) rendahnya kapasitas dan efisiensi kerja karena operator kurang terampil serta tingginya kerusakan alat, (d) panen umumnya pada musim hujan sehingga memerlukan mesin pengering (*dryer*), sementara penggunaan *dryer* masih belum layak karena terbatas kapasitas dan hari kerja, (e) jadwal kegiatan usahatani yang kurang teratur karena harus berpindah-pindah tempat akibatnya menurunkan efisiensi, dan (f) fasilitas bengkel perbaikan yang belum tersedia di lokasi setempat dan harus dilakukan di luar lokasi dengan biaya tinggi sehingga banyak waktu terbuang.

Kendala Sosial Ekonomi dan Kelembagaan

Sebelum banyak alsintan masuk ke pedesaan, ketersediaan tenaga kerja masih cukup banyak bagi pertumbuhan sektor pertanian dan melimpahnya tenaga kerja di sektor pertanian justru menciptakan persoalan baru yaitu terjadinya fragmentasi lahan dan menurunnya luas penguasaan lahan per rumah tangga. Dengan semakin tersebarnya alsintan di pedesaan mulai dari alsin pra produksi sampai alsin pascapanen, pendapatan buruh tani

dan produktivitas tenaga kerja sektor pertanian semakin sulit ditingkatkan, akan melahirkan lebih banyak kemiskinan di sektor pertanian untuk masa yang akan datang. Sebagai akibatnya, penduduk miskin di sektor pertanian akan semakin banyak.

Dalam mengembangkan pertanian di lahan rawa khususnya lahan rawa pasang surut dapat ditemui beberapa masalah antara lain masalah sosial-ekonomi. Masalah yang paling umum yang sering dijumpai dalam melakukan kegiatan usahatani adalah keterbatasan tenaga kerja, tingkat pendidikan yang rendah, harga hasil pertanian yang rendah, dan lemahnya dukungan kelembagaan untuk penyediaan modal, sarana produksi dan pemasaran hasil, serta aksesibilitas wilayah yang rendah. Masalah tersebut menjadi faktor pembatas dalam melakukan kegiatan usahatani akibatnya terjadi kelambatan dalam menerima teknologi baru atau penerimaan terhadap informasi teknologi.

Daerah pasang surut yang telah direklamasi umumnya merupakan tempat pemukiman transmigran dengan populasi penduduk yang rendah, sehingga ketersediaan tenaga kerja untuk mengelola lahan dan usahatani sangat terbatas. Hal ini mengakibatkan tingkat pengelolaan usahatani tidak intensif. Oleh sebab itu perlu dukungan alat dan mesin pertanian, terutama untuk mengatasi kelangkaan tenaga kerja dan perbaikan mutu hasil.

Rendahnya keterampilan petani dan lemahnya permodalan, pola pengembangan alat dan mesin pertanian harus diarahkan kepada sistem Usaha Pelayanan Jasa Alsinta (UPJA), baik sebagai usaha perorangan atau berkelompok. Kemampuan tenaga kerja keluarga untuk menggarap lahan usahatani di lahan pasang surut umumnya kurang dari satu hektar atau lahan yang dialokasikan 2-2,5 ha per keluarga hanya mampu dikelola sekitar 70%, sehingga perlu tambahan tenaga kerja dari luar karena keterbatasan tenaga kerja, selain itu terbatasnya modal serta lahan yang diusahakan kurang produktif. Tingkat pendidikan dan keterampilan petani yang relatif rendah dari segi teknis maupun manajerial, menyebabkan rendahnya kinerja teknis alsintan, akhirnya biaya operasi alsintan tinggi dan tidak layak (Ananto dan Alihamsyah, 2014).

Pengembangan kelembagaan mekanisasi pertanian di pedesaan, bukan hanya terbatas pada institusi fisik (organisasi pemerintah), namun juga berkaitan dengan *supporting system* yang dibutuhkan untuk melayani pengembangan mekanisasi pertanian dan teknologi pascapanen.

Keberadaan kelompok tani desa, asosiasi pengusaha, leadership, UPJA, lembaga kredit atau keuangan desa, lembaga penjamin kredit desa, asuransi, bengkel dan industri perawatan dan pemeliharaan yang perlu dikembangkan. Dukungan lembaga lembaga tersebut, agar keberlanjutan operasi mekanisasi pertanian di pedesaan tetap berlangsung. Kemiskinan dan penghapusan kelaparan dapat dilakukan melalui pembangunan dan pengembangan mekanisasi pertanian dan pengembangan pedesaan yang berkelanjutan, yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian, produksi pangan dan daya beli masyarakat.

Umumnya petani melaksanakan pertanaman padi sekali setahun, namun secara teknis pola tanam padi dapat dilakukan dua kali tanam dalam setahun (IP 200), namun harus didukung dengan penggunaan alsintan untuk mengatasi kekurangan tenaga kerja. Sebagian besar petani di lahan rawa pasang surut masih menanam padi lokal, sedangkan varietas unggul yang ditanam antara lain varietas Ciherang, Mekongga, dan Inpara. Teknologi usahatani yang dikembangkan di lahan pasang surut harus bersifat spesifik lokasi dan disesuaikan dengan kondisi biofisik dan sosial kelembagaan.

Peran Alsintan di Lahan Rawa

Pengembangan mekanisasi pertanian dalam pembangunan pertanian yang juga merupakan pengembangan alat dan mesin pertanian tidak dapat berdiri sendiri, karena keberadaannya merupakan suatu subsistem penunjang dalam proses budidaya, pengolahan dan penyimpanan. Sebagai teknologi yang bersifat *indivisible* (tidak dapat terbagi), peran alat dan mesin pertanian tersebut sebaiknya dapat didistribusikan pada banyak pemakai, atau petani kecil yang tidak mempunyai cukup kemampuan untuk memilikinya. Berdasarkan studi yang telah berlangsung lama menyebutkan, bahwa alat dan mesin pertanian memiliki kaitan sangat erat dengan dinamika sosial ekonomi dari sistem budidaya pertaniannya.

Sebagai suatu usaha untuk melestarikan swasembada beras yang dicanangkan pemerintah dengan memanfaatkan lahan-lahan marjinal antara lain lahan rawa pasang surut, peran mekanisasi pertanian khususnya menggunakan alsintan pada perluasan areal baru, memberikan prospek yang cukup baik. Mekanisasi pertanian mempunyai peran tambahan dalam pertumbuhan produksi pertanian. Pertumbuhan ini dicerminkan

oleh kemampuan untuk meningkatkan produksi total hasil pertanian yang diwujudkan oleh jumlah fisik maupun nilai ekonomi dalam satu periode. Produksi dalam satu periode ditunjukkan oleh perubahan luas lahan pertanian yang dapat diusahakan, tingkat hasil dan jumlah pertanaman dalam satu tahun.

Sumbangan alsintan dalam pembangunan pertanian dapat diukur pada berbagai kasus, misalnya penggunaan pompa air pada lahan rawa saat kondisi kering mampu mengubah pola tanam dari padi-bero menjadi padi-padi atau padi – palawija-palawija. Demikian pula penggunaan mesin tanam bibit padi (*rice transplanter*) dapat mengefisienkan tenaga kerja tanam dengan sendirinya akan menekan biaya tanam. Perkembangan selanjutnya dengan menggunakan mesin panen (*combine harvester*), maka penggunaan tenaga kerja upah panen dapat diminimalisir sehingga biaya operasional dalam budidaya tanaman padi di lahan pasang surut dapat ditekan. Selanjutnya dengan menggunakan *power thresher* (mesin perontok) maka susut hasil saat perontokan dapat diturunkan dari > 5% menjadi kurang dari 2%. Penelitian terhadap perbaikan dan penyempurnaan mesin penggilingan padi mampu meningkatkan rendemen giling. Peran penting mekanisasi pertanian di lahan pasang surut saat ini, intinya dapat menjadikan lahan lebih produktif; tanam lebih cepat dan IP meningkat, sekaligus mengatasi permasalahan keterbatasan tenaga kerja dan meningkatkan kualitas hasil. Dengan demikian dengan sistem mekanisasi pertanian mampu meningkatkan kualitas hasil dan pada akhirnya mengangkat nilai tambah hasil pertanian dalam sistem agribisnis yang terbagi dalam empat sub sistem yaitu subsistem agribisnis hulu sampai pada subsistem agribisnis hilir (pengolahan dan pemasaran), peran alsintan diperlukan.

Kesesuaian alsintan dengan kondisi lahan merupakan hal yang perlu diperhatikan. Misalnya traktor roda dua dengan motor penggerak diesel 8,5 PK akan efektif pada lahan sawah datar. Traktor roda dua 8,5 PK ini kurang efektif bila dioperasikan pada daerah yang ukuran petakan sawah relatif kecil dan sulit mobilisasi alsin antar petakan. Disisi lain, untuk jenis lahan rawa dan lumpur relatif dalam maka jenis alsintan untuk pengolahan lahan adalah *hidrotiller* (kura-kura). Jika pada lahan yang belumpur dalam dialokasikan traktor roda dua tipe bajak yang cocok untuk lahan sawah dangkal tidak akan efektif dan tidak banyak manfaatnya untuk mengolah lahan. Oleh sebab itu ketepatan dan kesesuaian alokasi inilah yang perlu dalam memberikan bantuan alsintan.

Peningkatan Produktivitas

Mekanisasi pertanian dan teknologi pascapanen merupakan wahana untuk transformasi dari pertanian tradisional ke arah pertanian dengan budaya industri. Dengan mekanisasi pertanian termasuk teknologi pascapanen, akan didorong pergeseran kearah produktivitas dan efisiensi usaha tani tradisional ke usaha tani komersial atau modern. Dalam melakukan kegiatan usahatani di berbagai lahan keterkaitan alsintan dengan sistem budidaya komoditas sangat erat. Penggunaan alsintan pada sistem budidaya yang lebih maju terjadi perubahan kearah modernisasi dengan tingkat mekanisasi yang lebih baik sehingga terjadi peningkatan produksi dan produktivitas, akhirnya sampai pada tingkat tertinggi. Sistem mekanisasi yakni dengan menggunakan alsintan harus mampu memberikan produktivitas, efisiensi dan kualitas baik dari segi teknis maupun ekonomis.

Penerapan alsintan disetiap tahapan kegiatan produksi, dengan cara meningkatkan kapasitas kerja alsintan menyebabkan terjadi peningkatan produktivitas, sedangkan peningkatan produksi dicapai karena adanya penambahan luas areal tanam serta peningkatan indeks penanaman melalui penerapan alsintan terutama pada kegiatan penyiapan lahan, penanaman dan panen (Ananto dan Alihamsyah 2014). Efisiensi produksi dan pendapatan usahatani meningkat karena adanya penerapan alsintan budidaya, panen dan pascapanen serta pengolahan hasil pertanian. Peningkatannya terjadi akibat adanya pengurangan biaya kerja dan menekan susut hasil serta adanya nilai tambah hasil dan limbah pertanian. Mekanisasi pertanian menjadi hal penting dalam mendukung peningkatan produksi.

Teknologi Alsintan

Pengembangan lahan rawa menjadi lahan pertanian merupakan inovasi dan teknologi yang menjadi kunci keberhasilan inovasi tersebut. Namun, teknologi dan sistem mekanisasi pertanian yang dikembangkan tidak akan mengesampingkan tenaga kerja para petani. Mekanisasi yang dikembangkan untuk bidang pertanian justru untuk mensejahterakan dan mengangkat taraf hidup para petani. Saat ini petani memahami pentingnya penggunaan alsintan tidak hanya saat pengolahan lahan dan tanam, tetapi juga saat panen dan bahkan pascapanen, banyak petani di berbagai lokasi dengan katagori lahan pasang surut menggunakan alsintan. Misalnya untuk

menanam padi, petani menggunakan atabela yang merupakan salah satu prototipe alat tanam benih langsung.

Pengembangan alsintan di lahan pasang surut tidak hanya ditentukan berdasarkan kebutuhan tetapi juga oleh kondisi biofisik lahan, seperti kedalaman lapisan pirit, kekerasan tanah, dan ketebalan gambut. Ditinjau dari segi fisik, kimia dan biologi, kondisi lahan pasang surut relatif kurang baik. Lahan yang ada untuk pengembangan pertanian umumnya mengandung lapisan gambut dengan ketebalan 45 cm. Rata-rata kandungan kandungan bahan organik pada material gambut 50,51% dan fiber 43,17% (Hendriadi dan Salokhe, 2012). Bulk Density (BD) pada tanah-tanah rawa pasang surut sangat rendah (maks. 0,3 g/cm³), dan bila dalam kondisi tergenang nilai BD cenderung turun. Meningkatnya lengas tanah, kadar bahan organik dan fiber akan menurunkan BD tanah, pada kondisi jenuh dan tergenang kekuatan tanah (*soil strength*) menahan beban untuk mekanik akan turun. Kriteria tanah atau lahan yang dapat digunakan dengan mesin untuk mengolahnya, antara lain: (1) Mempunyai daya tumpu (*bearing capacity*) yang tinggi, lebih tinggi dari tekanan alat/mesin pertanian. Dengan daya dukung tanah yang tinggi, mesin akan dapat bergerak di lahan tanpa risiko ambles atau terperosok dan rusak. (2) Tidak mengandung senyawa racun yang jika terolah oleh mesin menyebabkan bahaya keracunan. Pada lahan rawa seperti di lahan sejuta hektare, racun tersebut berupa lapisan pirit dalam tanah yang jika terkena oksidasi menyebabkan pH tanah turun drastis sehingga terbentuk asam sulfat dan meracuni tanaman.

Sekitar 75% dari lokasi pasang surut Sumatera Selatan berpeluang tinggi dan secara teknis lahannya sudah dapat menggunakan traktor tangan ukuran 8,5 HP yang mempunyai berat sekitar 200-250 kg, sedangkan lahan yang berpeluang sedang dapat digunakan traktor dengan implemen pendukung sekitar 100-200 kg (Handaka *et al.*, 1998). Alsintan untuk usahatani di lahan rawa pasang surut yang sudah berkembang pesat hingga saat ini, terutama pada tipologi lahan potensial di sentra produksi padi adalah penggilingan padi (RMU), kemudian traktor tangan, *power thresher*, dan dalam 2 dekade terakhir semakin berkembang mesin pengering (*dryer*) serta *rice transplanter* dan *combine harvester* pada dekade terakhir.

Sebagai areal pertanian yang mempunyai *man-land ratio* yang rendah, bantuan alsintan akan meningkatkan kemampuan petani memperluas usahatani. Kasus di Rantau Badauh menunjukkan bahwa secara umum petani yang menggunakan traktor mempunyai lahan garapan rata-rata

lebih luas (2,85 ha) dibanding petani yang tidak memakai traktor ($<2,0$ ha), dan intensitas tanam meningkat lebih tinggi (Umar, 2013)

Alat Mesin Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan merupakan kegiatan yang menjadikan lahan kosong siap digunakan untuk berusahatani dan dapat menghasilkan. Umumnya dalam menyiapkan lahan untuk usahatani, petani melakukannya dengan cara: (1) sistem tanpa olah tanah, dan (2) sistem olah tanah sempurna. Seringkali penyiapan lahan pada cara tanpa olah tanah diawali dengan menebas/membabat rumput dan atau menggunakan herbisida kemudian membakar vegetasi. Penyiapan lahan dengan cara membakar dapat merusak lahan, khususnya bahan-bahan organik yang sudah ada dalam tanah terutama pada lahan bergambut/gambut akan hilang. Cara penyiapan lahan tanpa olah tanah dengan penyemprotan gulma dan pembakaran merupakan cara paling cepat dan murah, dan biasanya dikerjakan secara bertahap dengan tenaga kerja keluarga. Dalam mempersiapkan lahan agar dapat dimanfaatkan untuk usahatani khususnya dengan sistem tanpa olah tanah (*minimum tillage*), lahan harus digenangi hingga muka air sekitar 5 cm. Maksud dari penggenangan untuk memisahkan zat beracun dari pirit yang berasal dari tanah sulfat masam yang kemudian dibuang melalui saluran drainase. Sistem olah tanah minimum dilakukan dengan cara memapas rerumputan yang ada di permukaan tanah hingga kedalaman sekitar 5 cm. Bila lahan dikerjakan hingga kedalaman sekitar 20 cm dikuatirkan lapisan pirit yang berada pada kedalaman sekitar 20 cm akan ikut terangkat saat diolah. Hasil penelitian Umar (2006), penggunaan traktor tipe rotari untuk olah tanah pada batas kedalaman 14 cm sangat efektif dan menghasilkan efisiensi $> 76 \%$. Alat yang digunakan untuk menebas permukaan tanah dari rerumputan adalah sejenis parang yang disebut tajak dan alat ini merupakan alat tradisional yang sudah adaptif selama ratusan tahun.

Penyiapan lahan rawa pasang surut pada lahan tipe luapan A relatif lebih mudah dibandingkan dengan tipe lahan rawa pasang surut lainnya, karena kondisi gulma atau rumput yang tumbuh relatif sedikit. Lahan rawa pasang surut tipe luapan A, keadaan air pasang dan surut terjadi setiap hari sehingga gulma sulit berkembang. kebanyakan tumbuh rumput hanya pada bagian sekitar galangan atau tembokan, sehingga mudah dibersihkan.

Lahan tipologi B dan C (potensial), kondisi pasang surut tidak besar, pengolahan tanah dapat dilakukan menggunakan traktor dengan implemen

bajak singkal. Untuk menghancurkan tanah sekaligus meratakan dapat menggunakan gelebeg atau sisir. Selain itu pada lahan tipe luapan B/C apabila lahan bisa digenangi hingga jenuh, maka tanah dapat dikerjakan langsung menggunakan traktor rotary. Umumnya waktu kerja efektif yang dibutuhkan dalam menyelesaikan lahan satu hektar dengan alat rotari adalah 8,7 j/ha (Umar dan Noor, 1994 *dalam* Umar, 2013). Cara olah tanah menggunakan traktor dengan bajak singkal, diikuti gelebeg atau garu untuk pelumpuran dan perataan, kapasitas kerja traktor bervariasi antara 0,30-0,65 ha/hari, atau rata-rata 0,50 ha/hari. Penggunaan alsintan (traktor) telah memotivasi penggunaan teknologi lain secara lebih rasional. Petani mau menggunakan varietas unggul karena merasa terjamin penyediaan lahannya, sehingga bisa melakukan tanam serempak. Dampak positif lainnya adalah bahwa kondisi lahan yang diolah dengan traktor menjadi lebih rata dan bebas tunggul, karena petani dipaksa membersihkan batang kayu/tunggul bila akan diolah menggunakan traktor.

Tujuan dari pengolahan tanah adalah untuk memperbaiki struktur tanah agar mampu menahan air lebih lama, sekaligus mengendalikan gulma yang berada di permukaan tanah. Lahan yang telah diolah dua kali dengan traktor mengakibatkan tanah jadi gembur dengan struktur yang halus sekaligus meratakan permukaan tanah menggunakan implement gelebeg atau sisir. Setelah tanah menjadi gembur dan melumpur, akan meningkatkan kerapatan antar partikel tanah dan membentuk lapisan kedap air (*hard pan*), sehingga mampu menahan air lebih baik. Apabila setelah lahan diolah hingga pengolahan tanah kedua kondisi lahan menjadi rata dan bersih, kegiatan penanaman padi menjadi lebih mudah, baik tanam pindah, tebar langsung (tabela) maupun penggunaan mesin tanam bibit padi (*rice transplanter*).

Selain memproduksi dan mengembangkan beberapa alsin yang dapat digunakan untuk mengolah tanah di lahan rawa pasang surut, saat ini telah dikembangkan prototype alat olah tanah yang terbaru oleh Balitbangtan dalam hal ini Balai Besar Mekanisasi Pertanian. Prototipe dari alat olah tanam tersebut adalah jenis alsin olah tanah untuk lahan rawa khususnya pasang surut maupun lahan lebak pada kondisi air dalam yakni traktor amfibi (Rotavator). Alat mesin ini dapat bekerja pada lahan dengan kondisi yang berair sekitar 25 cm, namun kemampuan kerja traktor amfibi hingga kedalaman air 45 cm setinggi roda rotavator. Sistem kerja rotavator yaitu sebagai alat pembelah tanah sifatnya mencacah dengan pisau rotary

dengan kecepatan putar 350 rpm sehingga menghasilkan kapasitas kerja aktual 3,28 – 3,35 jam/ha atau kemampuan mengolah tanah sekitar 2 ha/hari dengan kecepatan kerja aktual 4,4-6,4 km/jam tergantung pada kedalaman tinggi muka air. Kemampuan traktor amfibi dapat mengolah tanah segera setelah padi dipanen di lahan rawa sehingga mempercepat pelaksanaan tanam padi musim berikutnya. Hal ini sangat mendukung program percepatan tanam padi IP 200 di lahan rawa pasang surut. Kedalaman olah tanah sekitar 13,7 – 16,4 cm dengan lebar kerja 164,9 – 170,9 cm. (Harsono, *et al.* 2016). Efisiensi yang dihasilkan tidak terlalu tinggi (<40%), dan semakin tinggi muka air efisiensi lapang semakin kecil. Dengan sistem kerja yang ada pada rotavator, semakin tinggi muka air kecepatan kerja olah tanah semakin cepat (5,41 km/jam), kecepatan kerja aktual tidak berubah dan cenderung tetap, namun kedalaman pembajakan semakin dalam.

Ada beberapa kejadian dalam melakukan olah tanah di lahan pasang surut, yakni sebelum dikerjakan lahan sudah tergenang atau lama menggenang dan lingkungan banyak terdapat rerumputan, untuk melakukan pengolahan tanah sebaiknya lahan langsung dikerjakan dengan cara olah tanah kedua menggunakan gelebeg. Juga apabila kondisi lahan sudah lama terjadi penggenangan sehingga perlu dilakukan pelumpuran. Alat yang digunakan untuk melumpurkan pada lahan-lahan yang kedalaman lumpurnya antara 25-40 cm dengan mesin traktor *hidrotiller*. Penggunaan traktor biasanya dilakukan dengan menyewa dari usaha pelayanan jasa (UPJA) yang dikelola secara perorangan. UPJA yang dikelola secara perorangan biasanya menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan dengan perusahaan traktor bantuan yang dikelola oleh kelompok tani.

Mesin Tanam Benih dan Bibit Padi

Kegiatan dalam berusaha tani padi di lahan pasang surut yang paling banyak memerlukan tenaga kerja adalah kegiatan tanam. Besarnya tenaga kerja yang diperlukan sekitar 25% dari jumlah hari kerja. Hasil penelitian Umar dan Indrayati (2013) bahwa untuk menyelesaikan satu periode usahatani padi yang menggunakan teknologi alsintan, biofilter, kompos, dan irigasi satu arah di lahan rawa pasang surut memerlukan waktu kerja 899,0 jam/ha, dan untuk kegiatan tanam waktu kerjanya sekitar 235 jam (23,40%), sedangkan tanam cara petani waktu yang dibutuhkan sebanyak 193,50 jam/ha.



Gambar 1. Atabela tipe drum dengan 8 penjatuhan, kapasitas kerja 7,9 jam/ha (Dok. SWAMPS II)

Umumnya petani lahan rawa pasang surut hanya menanam padi satu kali setahun atau dikenal dengan IP 100. Kebiasaan umum petani pasang surut, penanaman dilakukan dengan sistem tanam pindah (tapin) tetapi di beberapa daerah pasang surut di Sumatera Selatan berkembang tanam benih langsung (tabela=sonor). Berkembangnya penanaman padi varietas unggul, tidak

secara langsung petani lahan pasang surut yang biasa menanam padi lokal langsung mengganti tanamannya dengan varietas unggul. Sekitar 50% penanaman padi di lahan pasang surut masih menggunakan padi lokal, selain harga jual yang tinggi juga karena selera yakni tingkat kesukaan terhadap nasi pera dengan kadar amilosa $>25\%$. Penanaman padi lokal memakan waktu yang lama sejak persemaian hingga panen, yakni umurnya yang panjang sekitar 7 bulan. Kegiatan persiapan tanam sesuai dengan ketersediaan tenaga kerja keluarga, yang penanamannya dilakukan secara bertahap.

Di lahan pasang surut telah dilakukan penanaman benih langsung menggunakan alat tanam benih langsung (atabela) yang menggunakan atabela tipe drum. Pola penanaman menggunakan alat tanam (*seeder*) dikelompokkan 4 macam: (a) benih disebar di permukaan tanah (*broadcasting*), (b) penjatuhan secara acak dan diletakkan pada alur dengan kedalaman tertentu (*drill seedling*), (c) benih ditanam sistem tugal dengan interval sama (*pesicion drilling*), dan (d) penjatuhan kelompok benih secara acak (*hill dropping*).

Penggunaan atabela tipe drum bertujuan untuk mempersingkat waktu tanam dan mengatasi terbatasnya tenaga kerja tanam yang semakin sedikit. Atabela tipe drum 8 alur yang ditarik manusia kapasitas kerjanya 7,9 jam/ha (Ahmad *et al.* 2000). Persentase slip saat kerja di lapang sekitar 10%, berarti pengeluaran benih berkurang 10%, sedangkan atabela 6 alur kapasitas kerja yang dihasilkan 12,02 jam/ha dengan 2 orang operator, juga hasil pengujian alat tanam benih bermesin (*Power Seeder*) di lahan rawa pasang surut Sumatera Selatan menghasilkan kapasitas kerja 3,51

jam/ha (Umar dan Harjono 2000). Alat tanam suntik berguling (RIP/*rolling injection planters*) dengan pendorong traktor 5 HP, kapasitas kerja yang dihasilkan 0,024 ha/jam, kemudian ATL-4r dengan penggandeng traktor, kapasitas kerja aktual yang dicapai oleh alat tanam ini sebesar 5,19 j/ha dan efisiensi 74,17%. (Umar, 2008). Efisiensi masing-masing dari atabela 8 penjatuhan 60,00 %, atabela 6 penjatuhan 50,82% sedangkan *power seeder* 87,23%.



Gambar 2. Mesin tanam bibit padi (*rice transplanter*)

Dok. <http://www.google.com>

Umumnya penanaman padi dengan sistem tanam pindah (tapin) masih mendominasi penanaman padi di lahan pasang surut. Penggunaan benih sebagai bahan untuk semai tergantung kebutuhan. Di Lahan pasang surut Kalimantan Selatan, biasanya persemaian dilakukan dengan sistem semai kering, kemudian saat umur 25 hss, bibit padi dipindahkan ke lahan namun ditanam sistem ampak kemudian ditanam pindah untuk memperbanyak anakan yang dikenal dengan sistem lacak. Kebutuhan benih pada sistem tanam pindah: teradak-ampak-lacak ini sekitar 10 kg/ha. Masyarakat lokal petani Kalsel lebih suka menanam padi melalui pembibitan, karena dari performan bibit relatif baik dan segar, walaupun usahatani seperti ini memakan jumlah tenaga kerja yang banyak dan tingkat kejerihan kerja yang tinggi. Salah satu kendala dalam menghadapi musim tanam padi di lahan pasang surut adalah sistem tanam pindah (tapin) yang masih dikerjakan secara tradisional yakni teradak-ampak dan lacak. Kegiatan tersebut membutuhkan banyak tenaga kerja karena produktivitas dan efisiensi kerjanya rendah. Di beberapa wilayah sentra produksi padi telah terjadi kekurangan tenaga kerja tanam sehingga untuk menanam serempak terjadi penundaan, serta rendahnya luas garapan dan indeks pertanaman padi. Di samping itu apabila terjadi keterlambatan tanam dapat mengakibatkan risiko gagal panen akibat kekurangan air atau serangan hama dan penyakit. Oleh karena itu, diperlukan dukungan mesin tanam padi. Penggunaan mesin tanam bibit padi *rice transplanter* merupakan alternatif untuk

mengatasi keterbatasan tenaga kerja tanam. Pengembangan alsintan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian merupakan wujud nyata untuk mengatasi kekurangan tenaga kerja, yakni dengan memperkenalkan mesin tanam bibit padi sistem jarwo (jajar legowo) 2:1. Penanaman dengan sistem jajar legowo memungkinkan pertambahan populasi tanaman per hektar sekitar 33,31%. Dengan jarak tanam 20-40-20 memberi kesempatan pada sinar matahari berada disekitar tanaman padi, sehingga hasil yang dicapai akan berkualitas baik. Dengan sistem jarwo, produksi padi rata-rata mengalami peningkatan sekitar 10-15%. Penggunaan mesin tanam bibit padi jarwo transplanter bertujuan untuk mempercepat waktu tanam dan sekaligus meningkatkan produktivitas padi. Hasil kerja yang dicapai mesin tanam bibit padi jarwo setara 20 tenaga kerja tanam (Anonymous 2013). Hasil evaluasi penggunaan mesin tanam bibit padi sistem jarwo di lahan rawa pasang surut, kapasitas efektif untuk mengerjakan lahan seluas satu sebesar 6,15 jam dengan efisiensi 80,43%, menekan biaya tanam sebesar 73,73% (Umar *et al.* 2017). Keragaan sistem dan cara tanam padi di lahan sawah, terlihat pada Tabel (1).

Keunggulan dalam desain mesin penanam padi bibit yang telah dikembangkan yakni mesin penanam tersebut dapat digunakan untuk mendukung sistem tanam jajar legowo 2:1, dengan jumlah baris tanam adalah 4 baris. Jarak antar baris tanam adalah 20 dan 40 cm, dimana jarak antara baris satu dan dua adalah 20 cm, jarak antara baris dua dan tiga adalah 40 cm (jarak legowo), dan jarak antara baris tiga dan empat adalah 20 cm. Rancangan mesin penanam padi terdiri dari 5 komponen utama yaitu unit sistem penanam, unit sistem pengumpan bibit padi, unit sistem transmisi dan penggerak, unit sistem kendali dan rangka utama, dan unit pelampung. Kegiatan modifikasi difokuskan pada bagian unit sistem penanam dan sistem pengumpan bibit, dimana bagian tersebut disesuaikan dengan jarak tanam sistem jajar legowo 2:1.

Tabel 1. Keragaan cara dan alat tanam pada beberapa kondisi persawahan

Cara dan alat tanam	Kapasitas kerja (jam/ha)	Jumlah populasi (tanaman)	Kebutuhan benih (kg)	Efisiensi (%)
Tanam pindah	160	160.000	35	--
Atabela	8-12	*)	45-60	50,82
Power seeder	12,02	*)	25-30	87,23
<i>Transplanter :</i>				
Indo Jarwo	5-6	213.300	40	94,75
Tegel	6-8	200.000	35-40	89,60
Manual	27	160.000	35-40	86,79

Keterangan : *) tidak terhitung .

Sumber : Dari beberapa hasil penelitian

Mesin Panen dan Perontokan

Terkait dengan cara perontokannya, panen dapat dilakukan dengan berbagai cara dan alat. Lahan pasang surut yang didominasi dengan tanaman padi lokal, maka panen biasanya dilakukan menggunakan alat panen tradisional yakni ani-ani, tapi sudah jarang dijumpai. Dengan semakin berkembangnya teknologi, walau pertanian saat ini adalah padi lokal, panen sudah dilakukan menggunakan sabit bahkan mesin panen. Padi yang dipanen dengan ani-ani, gabahnya dilepas dengan cara diiles (diinjak), namun yang sekarang sudah umum dijumpai di daerah rawa pasang surut adalah panen dengan menggunakan sabit kemudian dirontok dengan cara dibanting (gebot) atau dengan mesin perontok (*power thresher*). Sudah sekitar dua dekade terakhir sentra produksi beras di wilayah pasang surut untuk melepas butiran gabah dari malainya sudah menggunakan *power thresher*. Baik di wilayah Sumatera Selatan maupun Kalimantan Selatan seperti di Delta Upang, Telang dan Delta Saleh, serta Tarantang, Batola pada umumnya, bila padi terlanjur dipanen sedangkan *power thresher* belum tersedia, maka akan timbul masalah yang berhubungan dengan mutu gabah. Biasanya sambil menunggu kesiapan jasa perontok (*power thresher*) gabah akan ditumpuk di tengah sawah dalam beberapa hari. Akibat lamanya gabah menumpuk karena tertundanya dalam melakukan perontokan, maka selama penumpukan terjadi peningkatan suhu gabah yang tinggi dan kondisi seperti ini adalah awal dari proses terjadinya kerusakan gabah, yakni butir gabah akan masak bahkan sampai hangus. Hal seperti ini mengakibatkan peningkatan susut hasil yang tinggi.

Hasil pengamatan terhadap gabah hasil giling yang bersumber dari gabah yang tertunda perontokannya hingga 2-3 hari, menghasilkan beras yang berbintik atau di Sumatera Selatan dikenal dengan beras batik dengan persentase beras pecah yang tinggi. Dengan demikian beras bintik yang dijual di pasaran harganya relatif rendah sehingga diperlukan perbaikan kualitas beras terutama berhubungan dengan gabah yang telah dipanen yang harus segera dirontok. Akibat cara perontokan dengan kecepatan putar yang tinggi maka gabah hasil giling adalah beras hancur yang kurang baik sehingga menurunkan kualitas beras.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mesin perontok tipe TH6-G88 dengan kecepatan putar 370 rpm sampai 700 rpm menghasilkan kapasitas perontokan 424,20-723,60 kg/jam dengan kerusakan gabah < 1 % (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh kecepatan putar dan kapasitas perontok (kg/jam) dengan power thresher type TH6-G88

Tenaga (HP)	Kapasitas perontok (kg/jam) sesuai putaran (rpm)				Rata-rata
	370	480	590	700	
5,5	438,0	547,8	630,0	754,2	592,5 ns
7,7	403,8	535,8	640,2	712,2	573,0 ns
8,5	430,2	547,8	604,2	703,8	571,5 ns
Rata-rata	424,2 d	543,6 c	624,6 b	723,6 a	
Peningkatan (%)	--	0,019	0,013	0,016	

Sumber : Umar *et al.* (2001).

Umumnya petani lahan pasang surut baik yang ada di Sumatera maupun Kalimantan menggunakan *power thresher* buatan bengkel lokal yang ada di lapangan. Berdasarkan hasil pengamatan kinerja *power thresher*, kapasitas kerjanya masih tergolong rendah dari kondisi normal yang diharapkan sekitar 600-700 kg/jam, terutama bagi *power thresher* yang dibeli dari bengkel di luar daerah pasang surut. Namun dengan modifikasi yang dilakukan oleh bengkel-bengkel lokal, saat ini kapasitas kerja dari mesin perontok tersebut telah dapat ditingkatkan. Oleh sebab itu, untuk mengatasi tertundanya perontokan, sangat diharapkan bantuan *power thresher*. Perontokan dengan pedal thresher mulai ditinggal petani karena kapasitas kerjanya rendah, hampir sama dengan gebot (Herawati 2008). Perontokan padi menggunakan mesin *power thresher* dapat menekan

kehilangan hasil padi <3% (Hasbullah dan Indaryani 2009). Dan menurut Deputi Statistik Produksi BPS (2009), susut perontokan dapat ditekan menjadi 0,18% menggunakan *power thresher* pada putaran silinder 450 rpm.

Mesin Stripper dan Reaper

Kegiatan panen adalah bagian akhir dalam proses produksi dan ini menjadi sangat kritis karena tenaga kerja merupakan salah satu faktor pembatas. Berdasarkan perhitungan kebutuhan tenaga kerja selama satu periode musim tanam, ternyata untuk melakukan panen, tenaga kerja yang dibutuhkan untuk melakukan panen sekitar 25 % dari total tenaga kerja pada satu rangkaian kegiatan usahatani, seperti halnya pada pengolahan tanah dan tanam. Pertimbangan utama dalam melakukan substitusi tenaga kerja adalah susut panen yang besar (6-9 %). Penelitian menunjukkan bahwa untuk menekan agar susut panen menjadi rendah, panen harus dilakukan pada saat yang tepat, terutama untuk varietas-varietas yang mudah rontok. Kelangkaan tenaga kerja merupakan masalah yang sering timbul pada saat akan dilaksanakan panen, sehingga memberi peluang mundurnya waktu panen, akibatnya susut akan menjadi besar. Teknologi mekanisasi alat dan mesin panen yang sudah ada saat ini adalah “*reaper, stripper, combine harvester*”. Hasil pengujian dengan teknologi panen dengan beberapa mesin tersebut memberikan angka susut bervariasi dari angka 0,1 % sampai maksimum 2 %.

Mesin panen *stripper* atau mesin penyisir adalah salah satu mesin yang mengambil gabah dengan cara menyisir atau merontok gabah yang masih ditekakkan malai tanaman padi tanpa memotong batang tanamannya. Apabila tanaman padi sudah disisir, kemudian alat dan mesin *stripper* meninggalkan tegakan jerami di lapang dan gabah yang sudah terlepas dari malainya kemudian dimasukkan ke dalam bak penampung. Apabila bak telah terisi penuh dilakukan pergantian bak penampung yang lain yang sudah disiapkan sebagai cadangan untuk menghindari kehilangan waktu saat mesin masih bekerja. Penggunaan mesin panen seperti *stripper* yang berukuran besar perlu dukungan kondisi lahan antara lain *cone index* atau *foot sinkage* yang cukup agar dapat dioperasikan dengan baik khususnya di lahan pasang surut. Hasil pengukuran yang dilakukan oleh Sulistiaji *et al.* (2007), panen yang dilakukan di lahan pasang surut Kalimantan Tengah, diperoleh data bahwa nilai *foot sinkage* 0-20 cm pada kondisi kering dan

nilai *small cone index* 2,5-3,0 kg/2 cm² hingga kedalaman lapisan olah sekitar 25 cm. Pemanfaatan mesin panen *stripper* tidak terlalu berkembang karena bentuknya terlalu besar dan berat sehingga mesin panen tersebut kurang disukai petani namun di beberapa daerah lahan kering Sulawesi Selatan, mesin *stripper* cukup berkembang. Mesin panen *stripper* ini di lahan pasang surut banyak digunakan untuk memanen padi tanaman singgang (*ratoon*).

Mesin panen padi *reaper* dapat digunakan di lahan pasang surut terutama untuk penanaman padi varietas unggul yang waktu panennya bertepatan dengan musim kemarau (tanam ke 2). Sistem kerja mesin *reaper* adalah memotong batang padi dan hasil potongan direbahkan ke samping mesin yang sedang berjalan, sehingga masih menggunakan tenaga kerja manusia untuk mengumpulkannya. Walau kondisi lahan sedikit berair, mesin *reaper* masih dapat dioperasikan.

Mesin Combine Harvester

Perekayasaan teknologi mekanisasi untuk tanaman padi sangat penting, mengingat saat ini tenaga kerja di sektor pertanian semakin langka. Dalam kurun 10 tahun terakhir, terjadi pergeseran 5 juta rumah tangga tani ke sektor industri dan jasa informal lainnya. Selain itu, pengembangan teknologi mekanisasi pertanian dapat membantu mengurangi biaya produksi. Untuk mengatasi kondisi lahan sawah di Indonesia yang umumnya sempit dan berlumpur dalam, Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan teknologi mekanisasi pertanian, berupa alat mesin pertanian modern untuk pengelolaan, pengendalian, dan pemrosesan padi. Teknologi ini diharapkan dapat memberikan dukungan pada program swasembada pangan dalam mencapai surplus padi atau target produksi padi.

Mesin panen padi Indo Combine Harvester merupakan mesin yang menggabungkan pekerjaan potong-angkut-rontok-pembersih-sortasi-pengantongan dalam satu proses kegiatan. Penggabungan kegiatan ini dapat menekan susut hasil panen hingga hanya 1,87%, dibanding susut hasil panen secara “gropyokan” yang mencapai 10%. Tingkat kebersihan gabah panen dapat mencapai 99,5%. Ciri pembeda mesin panen padi Indo Combine Harvester adalah pada gaya tekan mesin ke permukaan tanah sebesar 0,13 kg/cm², sedangkan mesin-mesin yang ada di pasaran sebesar 0,20 kg/cm². Makin kecil nilai gaya tekan mesin ke permukaan tanah akan memperkecil peluang terjadinya mesin terperosok ke dalam

tanah. Pertimbangan ini sangat penting karena umumnya kondisi sawah di Indonesia memiliki fasilitas infrastruktur drainasenya kurang baik sehingga tanahnya lembek. Selain itu dengan lebar kerja 1,2 meter Indo Combine Harvester sangat cocok untuk petakan sawah yang sempit. Mesin panen padi ini diharapkan mampu mengatasi kelangkaan tenaga kerja serta menurunkan susut panen padi.

Di lahan pasang surut Kalimantan Selatan telah dilakukan pengujian dan evaluasi mesin panen mini combine harvester. Pengujian pertama dilakukan di lokasi kebun percobaan pada kondisi lahan yang masih jenuh air dan untuk mengevaluasi penggunaan mesin mini *combine harvester*, pengujian dilakukan di lokasi petani pasang surut pada kondisi lahan cukup berair dengan tinggi muka air sekitar 7 cm. Hasil pengukuran dengan alat *soil penetrometer* diperoleh daya sanggah tanah pada lahan pengujian di lahan pasang surut sekitar 1,19 kg/cm² dan diketahui gaya tekan mesin ke permukaan tanah mesin *combine harvester* sebesar 0,092 kg/cm². Hasil evaluasi terhadap kinerja mesin *combine harvester*, dengan lebar pemotongan 113 cm dan tinggi pemotongan batang padi rata-rata 47 cm dan kecepatan maju 1,76 km/jam, kapasitas kerja yang dihasilkan sebesar 7,37 jam/ha (Umar *et al.* 2017). Kepadatan tanaman (31,1 rumpun/m²) tidak mempengaruhi beban pisau pemotong serta putaran silinder perontok. Putaran silinder per menit yang sangat tinggi = 1200 rpm, batang padi yang diumpankan ke dalam silinder perontok tidak mempengaruhi kinerja *thresher* dalam *combine harvester*. Jumlah gabah terontok/menit 8,92 kg dengan tingkat kebersihan gabah 93,30%. Akibat dari putaran silinder yang cukup tinggi menyebabkan butir rusak 2,30% dengan susut hasil 2,92% dan efisiensi 65,83%.

Selain itu di beberapa lokasi pasang surut di Kalimantan Selatan, terdapat beberapa mesin panen *combine harvester* yang berukuran besar merk Crown tipe CCH-200 yang beroperasi menggunakan mesin berbahan bakar solar, mesin penggeraknya 60 PK, kapasitas kerja 3 jam/ha. Mesin panen yang digunakan di lahan pasang surut tersebut sifatnya sewa oleh penyewa jasa yang didatangkan dari provinsi lain. Mesin panen yang dijalankan pada lahan petani sudah dalam kondisi kering, sehingga mesin *combine* tersebut dioperasikan dengan kecepatan tinggi. Akibat dari pengoperasian mesin yang terlalu dengan kecepatan tinggi, mengakibatkan banyak butir gabah yang tercecer, sehingga petani merasa dirugikan. Upah yang dibayarkan petani dihitung Rp5.000 – 7.000/blek (Umar, 2014), tergantung jarak lahan dengan jalan utama.

Mesin Pengeringan

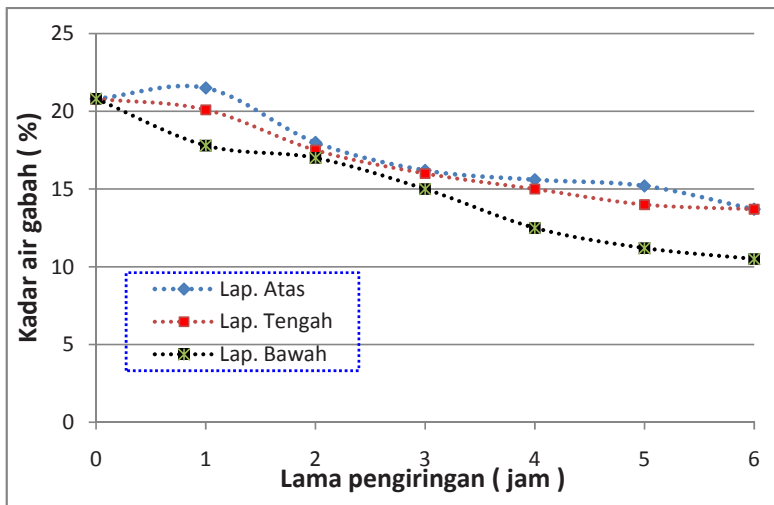
Salah satu tahapan proses penanganan pascapanen yang sangat menentukan adalah pengeringan, hal ini berkaitan dengan mutu beras yang akan dihasilkan setelah diproses lebih lanjut ke penggilingan. Kadar air panen merupakan faktor penting dalam mempertahankan kualitas gabah agar dapat lama disimpan. Batasan kadar air simpan $\leq 13\%$, hal ini akan terlihat apabila gabah diproses lanjut menjadi beras. Umumnya di lahan pasang surut panen padi varietas unggul dilaksanakan pada bulan Januari akhir sampai dengan Februari saat curah hujan masih ada, sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan penjemuran gabah segera. Untuk menghindari terjadinya penumpukan gabah setelah dirontok dalam kondisi kadar air sekitar 27-22%, maka diperlukan mesin pengering (*bed dryer*) agar dapat segera dikeringkan. Untuk menghindari kerusakan gabah dan sekaligus penurunan kualitas beras maka petani hanya melakukan penjemuran hingga batas kadar air giling ($\pm 14\%$), sehingga waktu untuk penjemuran diperpendek. Apabila petani akan menggunakan sebagai konsumsi atau akan dijual maka akan dilakukan penjemuran kembali. Untuk mempertahankan kualitas beras maka perlakuan pengeringan dengan menggunakan mesin pengering perlu dilakukan. Hasil pengamatan di beberapa lokasi RMU, ternyata pemilik RMU juga mempunyai mesin pengering yang disatukan dengan maksud untuk menghindari waktu yang lama dalam menangani proses pengeringan. Mesin-mesin pengering yang ada memegang peran penting saat petani menjual gabah basah sehingga pemilik RMU dapat langsung menangani proses pengeringan untuk menghindari penyusutan dan kehilangan hasil yang semakin tinggi. Dalam rangka pengembangan mesin pengering perlu diperhatikan mutu beras yang dihasilkan, pengoperasian oleh operator dan transportasi untuk mengantarkan gabah ke lokasi pengeringan. Selain itu bila kondisi tidak hujan maka kebanyakan petani hanya mengandalkan sinar matahari untuk mengeringkan gabah, sehingga mesin pengering tidak beroperasi. Selanjutnya untuk pengembangan mesin pengering, hasil kajian di Sumatera Selatan terhadap penempatan mesin pengering yang menjadi satu dengan RMU adalah paling baik, dan mesin pengering yang terpisah dengan RMU praktis tidak berkembang. Keefektifan dari mesin pengering disatukan dengan RMU adalah pengangkutan gabah untuk dikeringkan sekaligus untuk kemudian gabah bisa langsung digiling.

Untuk merawat gabah dalam penyimpanan di kemudian hari setelah dipanen, caranya melalui proses pengeringan baik dengan cara menjemur atau dengan mesin pengering (*dryer*). Hasil panen padi, oleh petani biasanya dijemur di permukaan tanah beralaskan tikar atau terpal plastik, sedangkan di unit penggilingan, menjemur gabah di atas lantai jemur atau menggunakan mesin pengering seperti *box dryer* atau *bed dryer*. Gabah hasil pengeringan *box dryer* saat digiling menghasilkan beras bermutu baik dengan susut <1% (Sutrisno *et al.* 2006). Pengeringan merupakan salah satu tahap kegiatan dalam penanganan pasca-panen padi yang sangat menentukan mutu beras. Dengan terbatasnya fasilitas penjemuran menyebabkan kapasitas penjemuran tiap keluarga rata-rata hanya 600 kg setiap kali penjemuran. Dengan asumsi tidak ada hujan selama masa panen, dan jumlah gabah yang dimiliki petani sekitar 10 ton (diperoleh dari hasil gabah 5 t/ha dan luas panen 2 ha/keluarga), maka jika setiap kali pengeringan selesai dalam 3 hari, petani baru akan selesai menjemur gabahnya setelah 37- 40 hari. Ini menggambarkan bahwa sebagian besar gabah akan mengalami penundaan penjemuran. Oleh sebab itu, di daerah pasang surut sudah sering dijumpai beras dengan mutu rendah karena pengaruh keterlambatan pengeringan. Hasil padi yang digiling dari gabah yang tertunda penjemurannya dikenal dengan nama beras berbintik atau beras batik. Penggunaan mesin pengering akan berkembang jika biaya pengeringan lebih murah daripada upah penjemuran yang berlaku di lapangan. Kelemahan penjemuran gabah adalah memerlukan tempat jemur (lantai) yang luas, bergantung pada cuaca, bila cuaca panas maka kandungan air dalam gabah cepat berkurang tetapi bila cuaca kurang terang (panas) maka waktu untuk mengeringkan lebih lama, serta sulit dikontrol dan mudah terkontaminasi. Hasil pengukuran kandungan air dari gabah hasil jemur dibawah sinar matahari selama satu hari sekitar 15-17% dengan persentase susut 2,81% (Raharjo *et al.* 2012). Sedangkan menurut Nugraha *et al.*, (2007) di lahan pasang surut susut penjemuran 1,52% dan Sutrisno *et al.* (2006), menyebutkan kehilangan akibat penjemuran sekitar 1,5% - 2,2%.

Pada dasarnya pengeringan menggunakan mesin seperti *box dryer* atau *bed dryer* memanfaatkan tambahan panas dari pemanas (kompor) sehingga terdapat beberapa keuntungan seperti tidak memerlukan tempat yang luas, kondisi pengeringan dapat dikontrol, dan kualitas pengeringan lebih seragam. Pengeringan menggunakan mesin pengering dapat dilakukan dengan cara ditumpuk dengan ketebalan 40 cm dan pengeringan dilakukan

secara kontinu. Untuk pengeringan dengan cara ditumpuk menggunakan bed dryer, sedangkan pengeringan kontinu dimana pemasukan dan pengeluaran bahan yang dikeringkan dilakukan terus menerus (kontinu) selama proses pengeringan. Penggunaan mesin pengering dapat mengurangi susut hasil pascapanen sampai 2,18% (Simanjuntak 2012).

Dari kajian pola penempatan mesin pengering, terlihat bahwa kinerja mesin pengering yang ditempatkan menyatu di RMU masih layak, dengan demikian dapat dikatakan, bahwa mesin pengering akan efektif bila ditempatkan menyatu dengan penggilingan RMU.



Gambar 3. Pola penurunan kadar air pada setiap lapisan yang menggunakan bak pengering

Sumber: Sutrisno *et al.* 2008

Mesin pengering tipe bak datar, biaya operasionalnya relatif rendah, perawatannya mudah, pengoperasionalnya sederhana. Mesin pengering tipe *box dryer* memiliki 3 lapisan gabah yang sama mengeluarkan uap air. Setiap lapisan memperlihatkan perbedaan penurunan kadar air selama pengeringan dan pengeringan gabah menggunakan *box dryer*, kadar air hasil gabah yang dikeringkan tidak seragam.

Di lahan pasang surut Sumatera Selatan dilakukan pengujian pengering yang menggunakan bahan bakar sekam waktu pengeringan sekitar 8-9 jam dan meningkatkan mutu gabah dan peningkatan rendemen giling

dari 59,6% menjadi 62,09% (Sutrisno *et al.* 1999). Selanjutnya Sutrisno *et al.* (2004) melaporkan bahwa pengeringan dengan bahan bakar sekam (BBS) rendemen pengeringan 87,5% dan rendemen penggilingan 64%, persentase beras kepala yang dihasilkan dengan pengering bahan bakar sekam sebesar 70%.

Pada tahun 2008, di desa Telang Rejo dan Delta Telang I, Kabupaten Musi Banyuasin telah dilakukan modifikasi mesin pengering *box dryer* menggunakan bahan bakar sekam menjadi kapasitas 10 ton, dan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rendemen pengeringan *box dryer* BBS sebesar 87,5%, rendemen giling 65% (Sutrisno dan Raharjo 2008)

Mesin Penggilingan

Sebelum ada penggilingan padi yang seperti saat ini, aslinya penggilingan padi yang sudah berkembang di masyarakat adalah alat penggilingan padi manual. Penggilingan berdasarkan gesekan antar biji menghasilkan beras pecah yang tinggi sehingga rendemen rendah, kemudian berkembang menggunakan penggilingan batu yakni mesin pengupas gabah tipe Engelberg. Hingga saat ini mesin penggilingan dua phase (*double-pass*) semakin berkembang yang menghasilkan rendemen beras cukup tinggi serta beras kepala juga yang tinggi. Namun di wilayah pengembangan produksi beras khususnya di daerah pasang surut terjadi keterbatasan operasional mesin giling karena keterbatasan bahan baku (gabah). Dengan berkembangnya usaha penggilingan padi, masalah terbesar yang dihadapi adalah persaingan yang ketat untuk mendapatkan jumlah gabah/padi sebagai bahan baku. Kegagalan panen akan mengurangi jumlah stok gabah yang akan digiling dan akan menurunkan kinerja RMU. Pada masa lalu pengembangan RMU dihadapkan pada permasalahan bahwa petani biasanya lebih memperhatikan jumlah atau berat beras yang diperoleh (rendemen beras) dibanding mutu beras. Hasil giling pada dekade lalu di tingkat pasar tidak membedakan mutu, sehingga petani kurang menyadari pentingnya mutu beras giling.

Secara umum, mesin-mesin yang digunakan dalam usaha industri jasa penggilingan padi adalah mesin pemecah kulit/sekam, (*huller* atau *husker*), mesin pemisah gabah dan beras pecah kulit (*brown rice separator*), mesin penyosoh atau mesin pemutih (*polisher*), mesin pengayak bertingkat (*sifter*). Mesin pemecah kulit/sekam gabah kering giling berfungsi untuk

memecahkan dan melepaskan kulit gabah. Input bahan dari mesin ini adalah gabah kering giling (GKG), yaitu gabah dengan kadar air sekitar 14% basis basah dan outputnya berupa beras pecah kulit (BPK) yang berwarna putih kecoklatan (kusam) atau disebut juga *brown rice*. Mesin pemecah kulit gabah yang banyak digunakan dewasa ini adalah mesin tipe *rubber roll* yang prinsip kerjanya memecah kulit gabah dengan cara memberikan tenaga tarik akibat kecepatan putar yang berbeda dari dua silinder karet yang dipasang berhadapan. Persentase gabah terkupas, beras patah dan beras menir tergantung pada kerapatan dan kelenturan silinder karet ini. Silinder yang telah mengeras atau yang terlalu rapat satu sama lain akan meningkatkan jumlah beras patah dan beras menir, sedangkan jarak kedua silinder yang renggang akan menyebabkan persentase gabah tidak terkupas meningkat. Biasanya gabah yang tidak terkupas akan dipisahkan dari beras pecah kulit dan dimasukkan lagi ke dalam pengumpan hingga semuanya terkupas. Pekerjaan ini dilakukan menggunakan mesin lain yang disebut mesin pemisah BPK dan gabah, atau secara umum disebut pengayak.

Gabah yang diumpankan ke dalam mesin pemecah kulit biasanya tidak seluruhnya terkupas, besar kecilnya persentase gabah tidak terkupas ini tergantung pada penyetelan mesin. Bagian yang tidak terkupas tersebut harus dipisahkan dari beras pecah kulit untuk diumpankan kembali ke dalam mesin pemecah kulit. Pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan mesin pemisah gabah dari beras pecah kulit, yang dapat menyatu atau terpisah dengan mesin pemecah.

Selanjutnya beras pecah kulit mengalami proses penyosohan yang dilakukan menggunakan mesin penyosoh atau disebut juga mesin pemutih. Hasil dari proses penyosohan adalah beras putih yang siap dipasarkan atau dimasak. Mesin penyosoh yang umum digunakan di Indonesia adalah mesin tipe *friksi jetpeller*. Beras pecah kulit yang diumpankan ke dalam mesin ini didorong memasuki silinder dengan permukaan dalam tidak rata dan pada bagian dalamnya terdapat silinder lain yang lebih kecil dan mempunyai permukaan luar yang tidak rata serta berlubang-lubang. Beras pecah kulit akan berdesakan dan bergesekan dengan permukaan silinder yang tidak rata sehingga lapisan kulit arinya (*aleurone*) yang berwarna kecoklatan terkikis. Kulit ari yang terkikis ini menjadi serbuk dedak yang dapat menempel pada permukaan beras dan juga permukaan dinding silinder, sehingga dapat menurunkan kapasitas penyosohan. Oleh karena itu mesin penyosoh tipe *jetpeller* dilengkapi dengan hembusan udara yang kuat dari dalam silinder

kecil yang berlubang-lubang, sehingga mendorong dan melepaskan serbuk dedak dari permukaan beras dan dinding silinder untuk mendapatkan beras putih yang bersih dan menjaga kapasitas giling tidak menurun. Selain itu hembusan udara ini juga berfungsi untuk menjaga suhu beras tetap rendah selama proses penyosohan sehingga penurunan mutu akibat perubahan kimia (menyebabkan *cracking* pada beras) yang disebabkan oleh panas dapat dicegah.

Beras putih hasil proses penyosohan kemudian perlu dipisahkan menurut kelompok mutunya yaitu beras utuh dan beras kepala sebagai mutu terbaik, beras patah sebagai mutu kedua, dan beras menir sebagai mutu ketiga. Pemisahan dilakukan menggunakan mesin pengayak bertingkat (*sifter*) atau silinder pemisah (silinder separator). Ketiga macam mutu beras tadi akan dicampurkan kembali dengan perbandingan tertentu untuk menentukan harga jual sebelum beras dikemas bila akan dipasarkan. Pengemasan umumnya menggunakan karung plastik berukuran 50 kg.

Pengembangan Alsintan Melalui UPJA

Kepemilikan lahan bagi petani lahan pasang surut yang cukup luas tidak dapat dikerjakan secara penuh karena keterbatasan tenaga kerja, dengan demikian luas yang dapat dikerjakan hanya sekitar 70%. Untuk memanfaatkan lahan yang luas tersebut, petani mencoba melakukan kegiatan usahatannya dengan memanfaatkan luas lahan terbatas. Petani menggunakan padi lokal karena penggunaan tenaga kerja yang tidak terlalu banyak dan efektif, selain itu juga karena petani mempunyai keterbatasan modal untuk membiayai usahatani tersebut.

Keterbatasan modal dan keterampilan, tidak adanya jiwa wirausaha serta mahal nya harga alsintan dan skala usahatani yang sempit, maka pengembangan alsintan lebih diarahkan kepada usaha pelayanan jasa alsintan (UPJA) dan secara individu tidak perlu membeli alsintan untuk kebutuhan usahatannya, sehingga petani cukup menyewa jasa alsintan tanpa menanggung risiko investasi. Pengembangan kelembagaan UPJA merupakan bagian dari usaha menumbuhkan kelembagaan agribisnis di pedesaan, mencakup usaha jasa untuk pengolahan tanah, usaha jasa panen (*thresher*), usaha jasa pengeringan (*dryer*), usaha jasa penggilingan (RMU), usaha perbengkelannya. Usaha pelayanan jasa sewa alsintan dapat dilakukan sebagai usaha perorangan oleh petani/pengusaha lokal

atau secara berkelompok, baik oleh kelompok tani maupun koperasi. Baik perorangan maupun berkelompok, usaha jasa penyewaan alsintan dapat dilakukan, karena usaha seperti ini akan membantu para petani pengguna yang mempunyai modal usahatani yang relatif kecil. Usaha penyewaan jasa ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis alat yang menggunakan satu penggerak (mesin) karena waktu kerja masing-masing alat tidak bersamaan. Sebagai suatu usaha maka pengelolaan jasa alsintan bertujuan untuk mencari keuntungan, sehingga harus menguntungkan dan layak serta dapat membayar biaya operasionalnya sehingga dapat mandiri dan berkelanjutan.

Pengembangan alsintan dengan sistem sewa biasanya memerlukan tenaga yang memiliki tingkat pengetahuan dan keterampilan tertentu, umumnya tenaga semacam ini di daerah pasang surut masih sangat terbatas. Pengembangan alsintan dengan sistem sewa dapat dilakukan melalui lembaga desa yang sudah ada seperti pengusaha lokal, KUD, kelompok tani dan kelompok swadaya masyarakat setempat, sedangkan petani hanya menyewa alsintan sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan. Keberlanjutan pengembangan sistem penyewaan alsintan di lahan pasang surut perlu didukung oleh kelembagaan teknis maupun ekonomi yang memadai. Untuk pengembangan alsintan secara berkelanjutan harus tersedia bengkel dan suatu keharusan bagi bengkel untuk memiliki mesin las listrik dan menyediakan suku cadang pada setiap lokasi pengembangannya.

Pada pengusahaan alsintan yang berasal dari bantuan atau hibah, seringkali petani pengguna atau manajemen operasional tidak memperhitungkan biaya penyusutan alsintan tetapi hanya memperhitungkan biaya operasinya saja. Hal ini akan menimbulkan kesulitan dana pada saat akan melakukan *replacement*. Oleh sebab itu, dalam mewujudkan usaha jasa alsintan yang mandiri dan berkelanjutan, harus diperhitungkan biaya penyusutan alat dan pengelolaannya. Hal ini juga akan menimbulkan persaingan tidak sehat dengan UPJA yang tidak mendapat bantuan dan dikelola secara komersial.

Penutup

Keterbatasan tenaga kerja serta modal dalam berusahatani di lahan pasang surut, alternatif untuk menekan penggunaan tenaga dalam kegiatan prapanen hingga pascapanen adalah dengan memanfaatkan alat dan mesin pertanian. Tujuan dari menggunakan alsin terutama untuk mengefisienkan biaya sehingga selama proses produksi hingga pengolahan biaya dapat ditekan.

Fungsi dari masing-masing alsin diharapkan dapat dilaksanakan sesuai dengan penanaman sehingga hasil yang dikerjakan dapat memperoleh efisiensi yang tinggi. Dalam menangani proses produksi di lahan pasang surut, terdapat masalah yang cukup kompleks dalam mencapai hasil yang diinginkan antara lain: panen harus dilakukan pada umur panen yang tepat. Bila mengolah tanah, penggunaan traktor baik dengan bajak singkal atau rotary sehingga waktu kerja dapat ditekan demikian juga penggunaan rotavator, semakin luas lahan yang bisa dikerjakan sehingga dapat menekan biaya dan mengefisienkan biaya, karena dengan menggunakan traktor selain waktu lebih pendek biaya juga lebih murah. Penggunaan alat/mesin tanam dapat mempercepat waktu tanam dan meningkatkan efisiensi sehingga biaya dapat diperkecil dan ini semua dapat mengatasi keterbatasan tenaga kerja demikian juga masalah panen, dengan mesin panen *combine harvester* waktu dan tenaga kerja semakin sedikit. Mesin panen padi ini diharapkan mampu mengatasi kelangkaan tenaga kerja serta menurunkan susut panen padi.

Untuk menghindari kerusakan gabah dan sekaligus penurunan kualitas beras maka petani hanya melakukan penjemuran hingga batas kadar air giling ($\pm 14\%$), sehingga waktu untuk penjemuran diperpendek. Kadar air saat panen sekitar 27-22%, untuk menghindari penumpukan gabah setelah dirontok dalam kondisi kadar air tinggi maka diperlukan mesin pengering (*bed dryer*) agar gabah dapat segera dikeringkan.

Pada dasarnya pengeringan menggunakan mesin seperti *box dryer* atau *bed dryer* memanfaatkan tambahan panas dari pemanas (kompor) sehingga terdapat beberapa keuntungan seperti tidak memerlukan tempat yang luas, kondisi pengeringan dapat dikontrol, dan kualitas pengeringan lebih seragam.

Dalam kegiatan penggilingan dikelompokkan atas mesin giling yakni penggilingan padi menggunakan mesin pemecah kulit/sekam, (*huller* atau *husker*), mesin pemisah gabah dan beras pecah kulit (*brown rice separator*), mesin penyosoh atau mesin pemutih (*polisher*), mesin pengayak bertingkat (*sifter*). Mesin pemecah kulit/sekam gabah kering giling berfungsi untuk memecahkan dan melepaskan kulit gabah. Dari rangkaian gerak mesin giling akan diperoleh beras kualitas yang tinggi apabila gabah ditangani dengan baik sejak dilakukan pemanenan yang sesuai berdasarkan umur optimal padi.

Daftar Pustaka

- Ahmad, DR, T. Alihamsyah dan EE Ananto. 2000. Evaluasi teknis berbagai cara dan alat tanam padi (tabela) di lahan pasang surut. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengembangan Pertanian Lahan Rawa. Cipayung, 25-27 Juli 2000.
- Ananto EE, Sutrisno, Astanto dan Soentoro. 2000. Pengembangan alat dan mesin pertanian menunjang sistem usahatani dan perbaikan pascapanen di lahan pasang surut Sumatera Selatan. Badan Litbang Pertanian, Deptan.
- Ananto, EE., dan T. Alihamsyah. 2014. Pengembangan mekanisasi pertanian: Keberhasilan dan Permasalahan. Kemandirian Pangan Indonesia. Badan Litbang Pertanian. Hlm 212-238.
- Anonimous. 2013. Mentan Kenalkan Mesin Tanam Padi Produksi. Balitbangtan. www.litbang.deptan.go.id/.../Press-Release-Jarwo-BPS
- BPS Nasional. 2009. Penduduk Indonesia menurut provinsi 1971, 1980, 1990, 1995, dan 2000. Jakarta: BPS.
- Handaka, A. Hendriadi, Harjono, dan EE. Ananto. 1998. Pewilayahan mekanisasi pertanian pada lahan pasang surut. Hlm 11-25. Seminar Nasional Hasil Penelitian Menunjang Akselerasi Pengembangan Lahan Pasang Surut. Banjarbaru,. 21-22 Maret 1998.
- Harsono, Marsudi, M.T. Budiastuti, Puji W, Dedy A. Nasution, Budiaman, Arif S dan Rosmeika. 2016. Rekayasa dan Pengembangan mesin untuk penyiapan lahan sawah rawa pasang surut. Laporan Akhir. BBMP, Balitbangtan, Kementerian Pertanian 2016.
- Hasbullah, R., dan R. Indaryani 2009. Penggunaan teknologi perontokan untuk menekan susut dan mempertahankan kualitas gabah. JTEP, Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.23(2): 111-118. Oktober 2009.

- Hendriadi, A, dan V.M Salokhe, 2012. Penelitian sifat-sifat mekanika tanah pada lahan gambut. *Jurnal Enjiniring*. Vol I(1): 1-13.
- Herawati, H. 2008. Mekanisme dan kinerja pada sistem perontokan padi. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah* Vol 6(2): 195-203.
- Komarudin, D. R. Ahmad, E.E. Ananto, Astanto, dan T. Alihamsyah. 2000. Evaluasi kelayakan teknis dan sosial ekonomi alat tanam benih langsung di tingkat petani, hlm. 93-100. *Dalam Ismail et al.*, (Ed). *Memacu Pembangunan Pertanian Lahan Pasang Surut*. Jambi, 27-28 Maret 2000.
- Noorginayuwati, Noor M, Djamhuri M. 1996. Identifikasi sebab dan akibat degradasi sumber daya lahan gambut dalam perspektif kebakaran lahan. Makalah pada Kongres III dan Seminar Nasional Masyarakat Konservasi Tanah dan Air. Malang, 4-6 Desember 1996.
- Nugraha S., Thahir R, dan Sudaryono. 2007. Keragaan kehilangan hasil pascapanen padi pada 3 (tiga) agroekosistem. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* Vol. (3): 42-49.
- Raharjo B., Soehendi R, Hasbi, Hersyamsi, Hutapea Y, Soemantri YU, Herawati E. 2012. Adaptasi alat dan mesin panen model stripper harvester di lahan pasang surut Sumatera Selatan. Laporan Akhir Penelitian Insentif Riset SINas. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Sumatera Selatan.
- Soentoro, 1998. Pengembangan mekanisasi pertanian tinjauan aspek ekonomi dan kelembagaan. *Prosiding Perspektif Pemanfaatan Mekanisasi Pertanian dalam Peningkatan Daya Saing Komoditas*. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor, Jawa Barat.
- Sulistiadji, K., Rosmeika, dan A. Gunanto. 2007. Evaluasi kinerja mesin panen mekanis untuk mendukung pengembangan lahan pasang surut. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian. Balitbangtan.
- Simanjuntak, Y.H. 2012. Produksi Padi : Dryer tekan susut pascapanen 2,18%. www.bisnis.com/produksi-padi-dryer [4-03-2018].
- Sutrisno, Astanto dan EE. Ananto. 1999. Pengaruh cara pengeringan gabah terhadap rendemen dan mutu beras di lahan Pasang Surut. Laporan Proyek Pengembangan SUP Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan. 22 hlm.
- Sutrisno, S. Nugraha, dan S. Lubis. 2004. Pengeringan padi varietas Cilosari menggunakan mesin pengering bahan bakar sekam tungku model ABC di desa Baturimpang, NTB. Laporan Teknis Intern Balai Besar Penelitian Pascapanen.

- Sutrisno, D.R. Achmad, Jumali dan A. Setyono. 2006. Pengaruh kapasitas kerja terhadap efisiensi pengeringan gabah menggunakan *box dryer* bahan bakar sekam. Hlm. 331-341. Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian. BBP Mektan, IPB, Asosiasi Perusahaan Alat dan Mesin Pertanian Indonesia.
- Sutrisno dan B. Raharjo. 2008. Rekayasa mesin pengering padi bahan bakar sekam (BBS) kapasitas 10 ton terintegrasi untuk meningkatkan nilai ekonomi penggilingan padi di lahan pasang surut Sumatera Selatan. Jurnal Pembangunan Manusia edisi 6.
- Umar, S. dan Harjono. 2000. Pengujian teknis kinerja alat tanam benih langsung di lahan pasang surut Sumatera Selatan. *Dalam Pros. Seminar Pengelolaan Tanaman Pangan Lahan Rawa*. Puslitbangtan, Banjarbaru, 4-5 Juli, hlm 243-249.
- Umar, S. 2006. Peningkatan efisiensi alat dan mesin pertanian pada usahatani padi di lahan rawa. Prosiding Seminar Nasional inovasi Teknologi Untuk Mendukung Revitalisasi Pertanian Melalui Pengembangan Agribisnis dan Ketahanan Pangan. Badan Litbang Pertanian, BB Pengkajian dan Pengembangan Tekn. Pert. BPTP Sulut. Manado, 22-23 Nop 2006, p. 448-456.
- Umar, S. 2008. Pengembangan alat tanam biji-bijian pada beberapa kondisi lahan untuk peningkatan efisiensi. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta, 18-19 November 2008.
- Umar, S. 2013. Pengelolaan dan Pengembangan Alsintan untuk Mendukung Usahatani Padi di Lahan Pasang Surut (Management and Development of Tool and Farm Machinery to Support of Rice Farming on the Tidal Swamp). JTP Univ. Mulawarman. Vol. 8(2): 37-48.
- Umar, S., dan L. Indrayati, 2013. Efisiensi energi dan produksi pada usahatani padi di lahan Sulfat Masam Potensial. AGRITECH Jurnal Teknologi Pertanian. Fak. Teknologi Pertanian, Univ. Gajah Mada Vol. 33(2): 244-249.
- Umar, S. dan T. Alihamsyah. 2014. *Mekanisasi Pertanian untuk Produksi Padi di Lahan Rawa Pasang Surut*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. IAARD Press. 176 hlm.
- Umar, S. 2014. Panen padi dengan mesin Crown Combine Harvester di lahan pasang surut tipologi B. Laporan Kunjungan Pelaksanaan Panen di Kecamatan Anjir, Kabupaten Batola, 30 Juli 2014.
- Umar, S., dan S. Pangaribuan. 2017. Evaluasi penggunaan mesin tanam bibit padi (*rice transplanter*) sistem jajar legowo di lahan pasang surut. Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol.6 (2) : 105-114.

INOVASI TEKNOLOGI LAHAN GAMBUT

3

AMELIORASI LAHAN GAMBUT TERDEGRADASI UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN

Eni Maftu'ah dan Maulia Aries Susanti

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712. Kalimantan Selatan
eni_balittra@yahoo.com

Ringkasan

Lahan gambut merupakan sumberdaya alam yang multifungsi antara lain: berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, pemendam karbon, air, habitat flora dan fauna dan berperan penting dalam ekosistem global, sehingga pemanfaatannya perlu kehati-hatian. Keberlanjutan pertanian di lahan gambut sangat terkait dengan aspek sosial, ekonomi dan lingkungan. Pertanian ramah lingkungan merupakan salah satu cara untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan di lahan gambut. Lahan gambut terdegradasi di Indonesia luasnya diperkirakan mencapai 4,4 juta ha berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai areal pertanian produktif dengan berlandaskan pada tata guna lahan gambut dan menerapkan sistem pertanian ramah lingkungan. Salah satu masalah yang dihadapi dalam pemanfaatan lahan gambut sebagai areal pertanian produktif adalah produktivitas lahan rendah dan tingginya emisi GRK. Ameliorasi sangat diperlukan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan daya dukung tanah gambut sebagai media tumbuh. Namun disisi lain jenis amelioran tertentu juga dapat meningkatkan emisi GRK. Pemilihan jenis amelioran yang dapat memperbaiki kesuburan tanah, tetapi dapat menekan emisi GRK sangat diperlukan. Mekanisme amelioran dalam memperbaiki kesuburan tanah gambut terutama ketersediaan hara P, Cu, dan Zn serta mitigasi emisi GRK perlu diketahui untuk bisa menentukan jenis amelioran yang tepat. Amelioran yang mengandung kation logam mampu menekan kehilangan P, meningkatkan kelarutan Cu dan Zn, meningkatkan kestabilan bahan gambut dan menekan laju dekomposisi gambut, sehingga emisi karbon dapat ditekan. Beberapa jenis amelioran yang mampu memperbaiki

kesuburan tanah gambut sekaligus menekan emisi GRK antara lain: tanah mineral, biochar, zeolit, kompos dan pupuk kandang.

Kata Kunci: gambut terdegradasi, berkelanjutan, ameliorasi, rendah emisi

Pendahuluan

Lahan gambut terdegradasi di Indonesia diperkirakan luasnya mencapai 4,4 juta ha (Agus *et al.* 2014). Lahan gambut terdegradasi pada kawasan budidaya terjadi jika muka air tanahnya lebih dari 40 cm di bawah permukaan dan atau tereksposnya sedimen berpirit dan atau pasir kuarsa di bawah lapisan gambut (PP 57 tahun 2016). Degradasi lahan gambut dalam hal penurunan fungsinya sebagai media tumbuh tanaman, dicirikan oleh salah satu sifat atau kombinasi dari beberapa sifat berikut ini yaitu: menurunnya kemampuan memegang air, meningkatnya kemasaman tanah, menurunnya karbon organik total (TOC) dan N-total (Anshari 2010).

Pengelolaan lahan gambut terdegradasi untuk lahan pertanian menjadi penting dengan semakin menurunnya luas lahan produktif dan meningkatnya kerusakan lahan. Lahan gambut terdegradasi perlu ditangani secara serius untuk menghindari degradasi lahan lebih lanjut, serta untuk menghindari terjadinya kebakaran lahan dan emisi gas rumah kaca (GRK). Pemanfaatan lahan gambut terdegradasi menjadi lahan pertanian produktif oleh berbagai pihak dipandang sebagai tindakan dilematis. Oleh karena itu diperlukan teknologi yang teruji untuk menurunkan emisi GRK dan mencegah kerusakan lahan lebih lanjut. Dalam pemanfaatan lahan gambut terdegradasi harus tetap memperhatikan zonasi kawasan, yaitu pada lahan gambut dengan kedalaman kurang dari 3 m, sedangkan pada lahan gambut kedalaman lebih 3 m merupakan kawasan konservasi.

Pertanian berkelanjutan memenuhi tiga aspek yaitu ekonomi, ekologi (lingkungan) dan sosial. Menurut Radjagukguk (2004) sistem pengelolaan lahan gambut berkelanjutan untuk pertanian diperlukan tiga hal yaitu: (1) mempertahankan nilai ekonomis dari sistem pertanian; (2) mempertahankan sumberdaya pertanian gambut; dan (3) mempertahankan ekosistem lain yang dipengaruhi oleh kegiatan pertanian di lahan gambut. Menurut Noor *et al* (2014), sistem pertanian berkelanjutan meliputi tiga aspek yaitu: (1) secara ekonomi menguntungkan, (2) secara ekologi aman dan ramah lingkungan, dan (3) secara sosial dapat diterima atau tidak

bertentangan dengan adat istiadat dan kepercayaan masyarakat setempat. Untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan diperlukan praktik-praktik dalam penyediaan unsur hara dan pengendalian hama, gulma dan penyakit tanaman yang sinergis dengan kaidah biologi harus digalakkan dan dilibatkan secara proporsional (Aryantha 2002).

Kondisi biofisik lahan gambut terdegradasi yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman budidaya merupakan salah satu masalah yang harus diatasi. Masalah utama dalam peningkatan produktivitas lahan gambut terdegradasi adalah kesuburan tanah rendah serta emisi GRK. Umumnya pada tanah gambut kemasaman tanah tinggi, ketersediaan unsur hara terutama P dan unsur mikro seperti Cu, Zn rendah, dan basa-basa rendah.

Kemasaman tanah gambut disebabkan dissolusi asam-asam organik sebagai hasil dekomposisi bahan organik yang lebih lanjut. Produk dekomposisi gambut yang sudah lanjut adalah substansi humat (Mackowiak *et al.* 2001). Asam humat terdiri dari materi bahan organik yang tahan lapuk dengan berat molekul tinggi, dan umumnya berwarna gelap dan sudah tahan terhadap pelapukan biologis (Logan *et al.* 1997). Humat merupakan bahan tanah lapuk karena secara fisik terlindungi dari aktivitas mikroba dekomposer serta terjadinya kompleks organomineral sehingga dapat melindungi dari serangan enzimatik mikrobial (Qualls *et al.* 2003). Purwanto *et al.* (2005) dalam Purwanto (2011) menunjukkan bahwa proporsi karbon aromatik gambut tropis mencapai 32,3%- 49,8%. Proses degradasi senyawa ini akan menghasilkan asam-asam organik golongan fenolat yang bisa menghambat perkembangan akar tanaman, sehingga produktivitas tanaman rendah.

Masalah lain dalam pemanfaatan lahan gambut terdegradasi adalah emisi gas rumah kaca. Pemanfaatan amelioran yang mengandung kation polivalen selain mampu memperbaiki kesuburan tanah gambut, juga mampu mengurangi emisi GRK melalui proses kompleksasi asam-asam organik, baik alifatik maupun aromatik. Ameliorasi menggunakan bahan yang mengandung kation logam sebagai jembatan kation untuk meningkatkan polimerisasi asam fenolik turunan dengan menghubungkan molekul fenolik individual menghasilkan struktur seperti rantai, dan ini menghasilkan peningkatan stabilitas bahan gambut sehingga dapat menurunkan emisi karbon dan meningkatkan ketersediaan P (Sabiham *et al.* 1997; Sabiham 2010). Kation polivalen akan menjadi inti koordinasi dan mengikat beberapa asam organik monomer membentuk senyawa kompleks.

Tulisan ini menguraikan tentang pentingnya amelioran dalam memperbaiki kesuburan tanah gambut serta mitigasi GRK serta mekanismenya, sehingga dapat digunakan untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan di lahan gambut terdegradasi.

Pertanian Berkelanjutan di Lahan Gambut

Lahan gambut adalah sumberdaya alam yang multi fungsi sebagai media tumbuh tanaman, pemendam karbon, air, sebagai habitat flora dan fauna dan berperan penting dalam ekosistem global. Lahan gambut juga berfungsi dalam mendukung keanekaragaman hayati (Morrogh-Bernard *et al.* 2003; Posa *et al.* 2011) dan mata pencaharian bagi masyarakat lokal (Silvius dan Suryadiputra 2005).

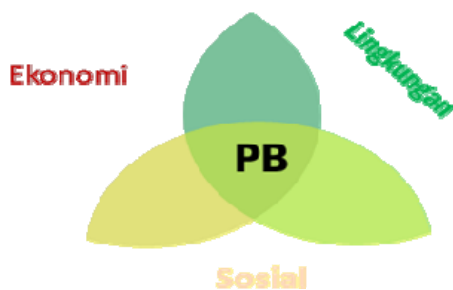
Lahan gambut sebagai penyedia jasa ekosistem dapat ditingkatkan melalui kegiatan pengelolaan lahan yang meningkatkan keanekaragaman hayati dan upaya mitigasi GRK, bukan fokus hanya pada upaya pembasahan gambut. Kegiatan pengelolaan lahan secara bijak akan memberi nilai lebih besar bagi masyarakat lokal, pelaku usaha kecil, komersial, dan pemerintah (Law *et al.* 2015). Pengelolaan lahan gambut perlu menerapkan pendekatan konservasi, yang meliputi perlindungan, pengawetan, dan peningkatan fungsi dan manfaat. Oleh karena itu, lahan gambut dibagi dalam 2 kawasan yaitu kawasan lindung (konservasi) dan kawasan budidaya (Tim Sintesis Kebijakan 2008). Kawasan budidaya dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian dengan sistem pertanian berkelanjutan.

Pertanian berkelanjutan merupakan pemanfaatan ekosistem pertanian dengan mempertahankan keanekaragaman hayati, meningkatkan produktivitas, regenerasi kapasitas dan kemampuan untuk berfungsi pada saat ini maupun dimasa depan, baik secara ekologis, ekonomi, maupun sosial di tingkat lokal, nasional dan global, dan itu tidak membahayakan ekosistem lain (Lewandowski *et al.* 1999). Sistem pertanian berkelanjutan berorientasi pada penghematan sumberdaya, mendukung secara sosial, kompetitif dan menguntungkan secara ekonomi dan berwawasan lingkungan.

Pemanfaatan lahan gambut sudah sepatutnya dilaksanakan dengan cara bijaksana, sebagai upaya untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan. Beberapa hal yang melatarbelakangi pemanfaatan lahan gambut secara bijaksana antara lain: (1) lahan gambut mempunyai sifat dan karakter yang spesifik, seperti adanya subsidiensi, dan sifat *irreversible drying*, (2) adanya

kegiatan penebangan liar (*illegal logging*) atau eksploitasi sumberdaya alam, (3) perubahan iklim, (4) adanya bahaya api di lahan gambut, (5) pengembangan lahan gambut yang tidak tepat, dan (6) tekanan sosial (Daryono 2009).

Pertanian di lahan gambut dapat berkelanjutan, jika pengelolaan lahan disesuaikan dengan lokasi dan kondisinya. Meminimalkan tindakan yang dapat menyebabkan dampak lingkungan (misalnya emisi GRK, erosi, subsiden dan kebakaran), termasuk pertimbangan kemungkinan dampak terhadap keanekaragaman hayati. Dari sudut pandang ekonomi dan sosial, sistem pertanian seharusnya memberikan nilai tambah bersih, memberikan pekerjaan dan penghasilan yang cukup lama untuk orang-orang yang terlibat (Wichtmann dan Wichmann 2011). Perman *et al.* (1995) memberikan gambaran tentang konsep keberlanjutan yang mencakup tiga dimensi: ekonomi, sosial dan lingkungan (Gambar 1). Dimensi ekonomi berkaitan dengan pemanfaatan sumberdaya untuk kesejahteraan manusia, dan sumberdaya alam tertentu akan tersedia tanpa batas waktu atau diperpanjang masa pakainya sampai batas waktu yang lama. Selain itu, dimensi ekonomi berkaitan dengan kemampuan mempertahankan kapasitas produksi untuk memenuhi kebutuhan pangan saat ini dan masa depan melalui penggunaan sumberdaya secara efisien (menghasilkan output maksimum dari serangkaian masukan yang diberikan (Slangen 2001).



Gambar 1. Aspek pertanian berkelanjutan (PB)

Sumber: Perman *et al.* 1995

Dimensi lingkungan berkaitan dengan kemampuan mempertahankan sumberdaya alam, sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang berbahaya dari kegiatan pertanian. Pemanfaatan lahan gambut harus memperhatikan dimensi lingkungan, sebagai dampak dari kegiatan pengelolaan lahan gambut.

Pemanfaatan lahan gambut dapat menyebabkan emisi, subsidensi, *irreversible drying*, pencemaran air dan tanah, serta menyebabkan hilangnya habitat alami dan keanekaragaman hayati. Namun, sistem pertanian yang dikelola secara ramah lingkungan dapat meningkatkan serapan karbon, dan menjaga keanekaragaman hayati dan lansekap, serta mencegah kebakaran lahan.

Dimensi sosial menyangkut bidang sosial, budaya dan kelembagaan, yang menggambarkan peraturan dalam masyarakat, baik peraturan formal maupun informal atau elemen lainnya seperti motivasi, kepercayaan, komitmen, nilai dan norma atau kode etik bersama dalam masyarakat dan preferensi konsumen. Elemen sosial mempengaruhi stabilitas sistem sosial dan budaya, kebutuhan untuk partisipasi luas dalam membuat keputusan tentang aspek etis dari pemanfaatan lahan gambut, dan keterlibatan masyarakat dan pihak berwenang, serta memastikan keamanan pangan dan perlindungan lingkungan. Dimensi sosial tidak mudah dihitung, dan ada unsur subjektivitas yang kuat dalam masalah keadilan, kesetaraan, kepercayaan dan komitmen.

Sifat komponen pertanian berkelanjutan, antara dimensi ekonomi, lingkungan dan sosial saling melengkapi dan sampai batas tertentu tumpang tindih (Gambar 1). Sektor pertanian yang efisien dapat berinvestasi di bidang lingkungan dengan menerapkan pengelolaan lahan pertanian secara ramah lingkungan. Sektor yang efisien secara ekonomi akan mendapatkan hasil maksimal dari sistem pertanian, dengan harga produksi pertanian yang mencerminkan biaya produksi mereka dan tetap berkontribusi untuk menjaga harga pangan tetap terjangkau oleh masyarakat luas. Sistem pertanian berkelanjutan dapat diwujudkan dengan menjaga sumberdaya lahan, menghasilkan produk pertanian ramah lingkungan, menguntungkan bagi pelaku pertanian dan harga produk terjangkau bagi masyarakat luas.

Sistem pertanian berkelanjutan di lahan gambut melibatkan partisipasi masyarakat secara aktif. Partisipasi masyarakat dalam pemanfaatan lahan gambut seharusnya dapat mendorong kemampuan masyarakat untuk mengoptimalkan penggunaan sumberdaya alam tanpa merusak lingkungan. Sebagai contoh bentuk partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lahan gambut oleh petani di Desa Kalampangan antara lain: pembuatan parit di sekeliling lahan penanaman untuk mencegah timbulnya kebakaran gambut dan mencegah kekeringan, implementasi pengelolaan air gambut oleh pemerintah, penggunaan amelioran dalam meningkatkan kesuburan lahan gambut, dan transfer pengetahuan mengenai pertanian, pola tanam dan peralatan pertanian kepada masyarakat setempat (Hakim dan Andjarwati 2010).

Pemanfaatan lahan gambut secara bijaksana berbeda dengan pendekatan secara tradisional maupun pemanfaatan yang bertitik berat pada satu sektor saja. Pemanfaatan secara bijaksana bertujuan mengelola lahan gambut secara terintegrasi dan optimum untuk keperluan ekonomi, sosial, budaya dan fungsi ekologi. Selain itu pengelolaan secara bijaksana melibatkan pengelolaan partisipatif dari para pihak. Pemanfaatan lahan gambut secara bijaksana bertujuan meminimalkan konflik dan memaksimalkan luas persetujuan bersama (*area agreements*) (Daryono 2009).

Praktik pertanian berkelanjutan di lahan gambut sangat erat terkait dengan jenis komoditas yang dikembangkan dan tindakan pengelolaan lahannya termasuk ameliorasi. Penggunaan tanaman *introduce* dari lahan kering yang memerlukan drainase dalam tidaklah sesuai dengan konsep pertanian berkelanjutan. Beberapa praktik pertanian berkelanjutan yang dapat dikembangkan di lahan gambut antara lain: persiapan lahan tanpa bakar, pemilihan jenis tanaman yang mempunyai nilai ekonomi dan adaptif dengan sifat gambut, ameliorasi untuk perbaikan sifat kimia, biologi dan fisika tanah yang rendah emisi GRK, pengelolaan air yang tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tanaman, namun yang lebih penting adalah menjaga kelembapan gambut, pengendalian HPT yang ramah lingkungan.

Pemilihan jenis komoditas yang diusahakan sangat mempengaruhi tingkat pengelolaan lahan gambut. Menurut Sabiham (2006), ada dua pendekatan dalam mengusahakan tanaman di lahan gambut, yaitu: 1) pendekatan pada kondisi drainase alami. Pada kondisi drainase alami tanaman yang adaptif adalah jenis padi lokal, dan sagu dari spesies rawa gambut yaitu *Metroxylon sago*, 2) pendekatan pada kondisi drainase buatan. Pengelolaan lahan gambut pada kondisi lahan dengan drainase buatan, kedalaman air tanah harus dipertahankan 40–60 cm, sehingga tanaman yang cocok antara lain: padi, palawija, hortikultura, dan tanaman berperakaran dangkal lainnya.

Ameliorasi di Lahan Gambut

Ameliorasi merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk menjamin keberhasilan dalam pemanfaatan lahan gambut. Ameliorasi merupakan cara atau kegiatan untuk memperbaiki sifat tanah agar tanaman

dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik, dengan menggunakan bahan pembenah tanah. Penggunaan bahan amelioran (bahan pembenah tanah) ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat tanah dalam waktu yang relatif lama, sehingga selain mampu meningkatkan kesuburan tanah juga memberikan nilai keuntungan lain yaitu penurunan biaya produksi.

Saat ini telah banyak bahan pembenah tanah yang mampu memperbaiki kesuburan tanah, namun pengaruhnya pada tanah gambut justru dapat mempercepat dekomposisi, sehingga emisi GRK meningkat. Pemilihan bahan amelioran yang mampu memperbaiki dan sekaligus juga menekan emisi GRK menjadi penting dalam upaya pemanfaatan lahan gambut secara berkelanjutan.

Mekanisme Ketersediaan Hara di Lahan Gambut

Kesuburan tanah gambut terdegradasi pada umumnya sangat rendah. Faktor penghambat yang harus diatasi dalam pengelolaan tanah gambut terdegradasi adalah rendahnya pH tanah, kandungan asam organik yang tinggi, dan kejenuhan basa sangat rendah, ketersediaan N, P, K, dan unsur mikro (Cu dan Zn) rendah. Bahan gambut mengandung asam humat tinggi, sehingga mempengaruhi jerapan unsur hara pada tanah. Ion dengan muatan negatif seperti P dalam tanah gambut mudah terlindi (tercuci) ke area di luar perakaran, sedangkan ion logam dengan afinitas tinggi seperti Cu dan Zn terikat kuat oleh bahan humat, sehingga ketersediaannya juga rendah.

Masalah kesuburan tanah di lahan gambut yang sering dijumpai adalah rendahnya ketersediaan P, padahal umumnya kandungan P-total dalam tanah gambut tinggi. Fraksi P tertinggi pada tanah gambut adalah dalam bentuk organik yaitu bentuk inositol fosfat, fosfolipid, asam nukleat, gula fosfat dan fosfoprotein. Tanah gambut terdegradasi mengandung fosfor organik yang berasosiasi dengan asam fulvat dan humat pada lapisan atas rendah dan meningkat dengan semakin meningkatnya kedalaman tanah gambut (Ziolek 2007).

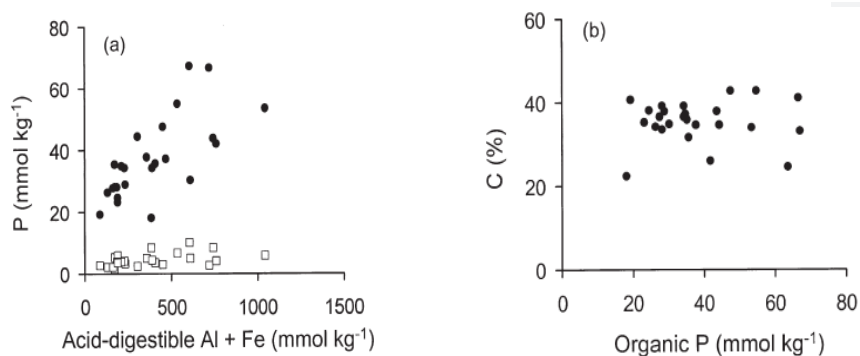
Tanah gambut mempunyai kemampuan menyerap pupuk P rendah. Hal ini karena pada tanah gambut banyak mengandung gugus fungsional yang reaktif baik gugus fungsional dengan berat molekul rendah yaitu asam sitrat, oksalat dan malat serta gugus fungsional dengan berat molekul tinggi yaitu asam humat dan fulvat. Gugus tersebut mempunyai muatan negatif, sehingga diperlukan jembatan kation agar unsur P dapat bertahan dalam

kompleks pertukaran. Pemberian kation akan menggantikan sejumlah ion H^+ , tergantung dari valensi kation yang digunakan. Selanjutnya akan terjadi pertukaran antara ion OH^- dengan $H_2PO_4^-$, sedang kation akan berfungsi sebagai jembatan dua atom oksigen yang menghubungkan gugus reaktif bahan organik dengan ion fosfat. Jumlah ion H^+ yang dilepaskan dalam reaksi penjerapan akan menentukan jumlah P yang dijerap, sehingga jumlah jerapan P akan ditentukan oleh kondisi valensi kation yang menjadi jembatan kation.

Ketersediaan fosfat di lahan gambut dipengaruhi oleh fisikokimia tanah diantaranya yaitu pH, potensial redoks, besi, aluminium, dan kalsium. Besi dan Aluminium dapat secara nyata meningkatkan jerapan fosfat. Kompleks bahan organik-aluminium/besi-fosfat akan memberikan dampak langsung terhadap jerapan fosfat di lahan gambut. Kelarutan fosfat juga dipengaruhi oleh pH dan Eh tanah, dalam kondisi oksidatif fosfat lebih stabil. Penurunan Eh akan meningkatkan kelarutan fosfat dari hasil reduksi $FePO_4$. Asam organik (karboksilat) dan CO_2 terlarut juga akan meningkatkan kelarutan fosfat dari $CaPO_2$ (kalsium fosfat).

Selain berbentuk ion, fosfat juga berasosiasi dengan bahan organik atau disebut P organik (Turner *et al.* 2007). Fosfat organik secara umum dapat dibedakan menjadi 2 yaitu (1) bentuk yang mudah termineralisasi (asam nukleat, phospholipids, sugar fosfat) dan (2) bentuk yang sukar termineralisasi (pitin). Teknik fraksionasi untuk analisis kimia dapat menentukan besarnya masing-masing pool yaitu (a) pool fosfat labil, (b) fosfat yang terhidrolisis dalam asam, (c) fosfat yang berikatan dengan asam fulvat, (d) fosfat yang berikatan dengan asam humat, dan (e) fosfat organik sisa (*residual organic phosphate*) (Reddy dan De Laune 2008).

Fosfat organik tidak berasosiasi dengan Al dan Fe, tetapi dari beberapa studi diketahui bahwa fosfat organik dijerap oleh tapak permukaan pengendapan Al dan Fe (Giesler *et al.* 2005). Jerapan fosfat organik berhubungan positif dengan kandungan karbon dan konsentrasi Al dan Fe (Gambar 2). Pelepasan fosfat organik tidak berkaitan dengan penambahan pupuk fosfat, akan tetapi sangat berhubungan dengan perubahan muka air tanah yang mengakibatkan perubahan kondisi oksidasi dan reduksi tanah gambut. Kompleksasi Aluminium-asam organik berat molekul rendah (oksalat) dimungkinkan juga dapat mengadsorpsi fosfat (Cristofaro *et al.* 2000)



Gambar 2. Hubungan antara kelarutan Al + Fe dengan organik P (bulatan diarsir hitam) dan anorganik P (kotak tidak diarsir) dan kandungan C dengan konsentrasi P organik

Sumber: Giesler *et al.* 2005

Bentuk fosfat labil (fosfat yang terekstrak dengan 0,5 MNaHCO₃) yang terdapat pada permukaan gambut oksidatif (Eh > 400mV) dan reduktif (Eh < -220mV) tidak berbeda, akan tetapi konsentrasi P labil tersebut lebih banyak pada lapisan atas gambut dibandingkan lapisan bawah (Litoar *et al.* 2004). Lebih lanjut Jordan *et al* (2007) menjelaskan konsentrasi P labil paling rendah pada horizon gambut saprik (kandungan asam humat tinggi) (0,5 µg/g berat kering), dan sebaliknya paling tinggi pada horizon yang sedikit terhumifikasi (5,5 µg/g berat kering). Fosfat sensitif redoks paling tinggi pada horizon saprik (434 µg/g berat kering), dan paling rendah pada gambut yang sedikit terhumifikasi (20,7 µg/g berat kering). Fosfat yang berikatan dengan oksida logam (347 µg/g berat kering) dan P yang berikatan dengan asam organik labil (159,2 µg/g berat kering) tertinggi pada gambut yang terhumifikasi sempurna. Fosfat yang berikatan dengan humat meningkat dari 152 µg/g berat kering pada gambut yang sedikit terhumifikasi menjadi 587 µg/g berat kering pada gambut yang terhumifikasi sempurna.

Laju kompleksasi dan disolusi fosfat di lingkungan pertanian dapat diketahui menggunakan model EPIC yang dapat menggambarkan perubahan antara pool labil dan P yang aktif (larut) akibat pemupukan dan juga dapat menggambarkan disolusi fosfat dari tanah atau sedimen ke aliran permukaan (run off) (Vadas *et al.* 2006). Banyak fosfat anorganik yang ditambahkan ke dalam tanah menjadi bentuk labil, tetapi juga ada yang secara cepat diubah ke pool aktif dan teradsorpsi. Pada saat pool labil menurun terjadi transfer dari pool aktif ke labil sehingga menggambarkan buffer fosfat.

Potensial redoks tanah berkorelasi negatif dengan pelarutan fosfat, potensial redoks rendah (kondisi lebih reduktif) meningkatkan pelarutan fosfat. Akibatnya peluang kehilangan P pada tanah yang digenangi lebih tinggi (Hutchison dan Hesterbeg 2004). Pada kondisi reduktif terjadi peningkatan pH karena deprotonisasi group fungsional asam dan bahan organik terlarut (BOT) meningkat meliputi group karboksilat, hidroksida, dan sitrat. Mekanisme pelarutan P di lahan rawa gambut meliputi: (1) pelarutan reduktif mineral Fe (III) yang mengikat P, (2) kompetisi permukaan jerapan mineral antara bahan organik terlarut dengan PO_4 melalui pertukaran ligan, (3) bahan organik terlarut meningkatkan kelarutan permukaan Fe dan Al, serentak membebaskan PO_4 , (4) membentuk kompleks larut BOT-Fe/Al- PO_4 , dan (5) peningkatan pH akan menurunkan jerapan PO_4 .

Ketersediaan hara dan degradasi senyawa yang sulit terdekomposisi seperti lignin dapat terjadi karena aktivitas mikroorganisme. Faktor yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme heterotropik antara lain C-organik dan kandungan unsur hara. Keanekaragaman mikroorganisme heterotropik dibatasi oleh ketersediaan N anorganik pada tanah gambut dengan P yang melimpah dan oleh P anorganik pada tanah gambut oligotropik (Wright dan Reddy 2007). Mikroorganisme yang berperan dalam penyediaan P antara lain mikoriza dan mikroorganisme pelarut P (Maftu'ah dan Maas 2011). Mikoriza berperan dalam pelepasan P yang terfiksasi oleh asam organik. Mikoriza diduga menghasilkan enzim yang terlibat dalam metabolisme yang berlokasi di dalam vakuola hifa intra mikoriza arbuskula diantara batas sitoplasma inang dengan hifa jamur yang mengakumulasi fosfat. Enzim tersebut disebut fofatase yaitu enzim yang berperan dalam mengkatalisi hidrolisis fosfomonoester organik (P organik) menjadi molekul anorganik yang siap diserap oleh tanaman.

Kemampuan mikroorganisme pelarut P mempengaruhi penyediaan P dalam tanah gambut oligotropik ditentukan oleh populasi mikroorganisme. Mikroorganisme selain menyediakan unsur fosfat juga menjadi penjerap (imobilisasi P). Peran mikroorganisme dalam penyediaan P terkait dengan proses mineralisasi dan imobilisasi P. Rasio C/P di dalam gambut merupakan faktor yang menentukan terjadinya mineralisasi dan imobilisasi P. Pada rasio C/P > 300 akan terjadi imobilisasi dan rasio C/P 200 akan terjadi mineralisasi, dan rasio diantara 200-300 terjadi sedikit mineralisasi (Reddy dan De Laune 2008). Dekomposisi fosfat organik tergantung pada

hidrolisis enzimatis dan aktivitas metabolisme yang melibatkan aktivitas mikroorganisme. Pada kondisi aerob aktivitas mikroorganisme lebih banyak dibandingkan pada kondisi anaerob. Nilai kritis C/P untuk terjadinya mineralisasi pada kondisi anaerobik lebih tinggi.

Pada tanah gambut oligotropik dengan tingkat dekomposisi saprik dan fibrik dengan dikapur maupun tidak, peran mikroorganisme dalam penyediaan P tidak signifikan (Rahayu 2003). Hal ini karena aktivitas mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yaitu pH, kelembapan dan suhu. Pada tanah gambut pH sangat masam, sedangkan untuk terjadinya mineralisasi P diperlukan pH sekitar 5, karena aktivitas enzim fosfatase yang optimum pada pH tersebut (Shand dan Smith 1997).

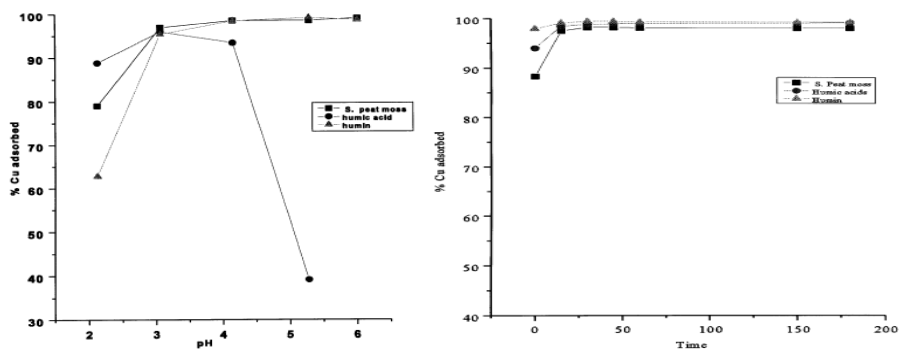
Selain fosfor, ketersediaan unsur mikro (Cu dan Zn) di lahan gambut pada umumnya rendah. Konsentrasi unsur mikro dalam larutan tanah dipengaruhi oleh berbagai macam reaksi diantaranya pengkompleksan oleh ligan organik maupun anorganik, serapan dan pelapukan ion, pengendapan dan pelarutan padatan, dan keseimbangan asam basa. Senyawa humat sangat potensial sebagai pengkelat karena mampu membentuk kompleks yang mantap dengan ion logam. Kemampuan khelating asam humat terhadap ion logam (Cu dan Zn) akibat adanya gugus fungsional yang mengandung O yang tinggi, termasuk karboksil (COO^-), fenolik, alkoholik, enolik-OH, $\text{Cu}=\text{O}$. Afinitas khelating antara gugus fungsional dengan ion metal dari terendah $-\text{O}^-$ (enolat) $> -\text{NH}_2$ (amine) $> -\text{N}=\text{N}-$ (azo) $> \text{ring N} > -\text{COO}^-$ (karboksilat) $> -\text{O}-$ (ether) $> \text{C}=\text{O}$ (karbonil) (Stevenson, 1983). Menurut Erdogan *et al* (2007), interaksi logam dengan asam humat disebabkan adanya gugus karboksil, alkohol, fenol karbonil, fosfat, sulfat, amida dan sulfida. Ikatan antara Cu dan Zn dengan asam humat membentuk *inner sphere complex* melalui atom O dan N sehingga sulit tersedia bagi tanaman (Hizal dan Apak 2006 dalam Erdogan *et al*. 2007).

Gambaran tentang ikatan antara substansi humat dengan logam (Cu dan Zn) diketahui melalui pengembangan model sederhana yang melibatkan keragaman kompleks alami dari substansi humat dan variabel elektrostatik antar group fungsional. Model tersebut digunakan untuk pendekatan kompleksasi antara humat dan ion logam (Jeong *et al*. 2007). Lebih lanjut dijelaskan bahwa model yang paling menggambarkan adsorpsi Cu dan Zn adalah pada tipe ikatan *bidentate* dengan grup karboksil. Keberadaan ikatan *bidentate* dalam kompleksasi logam tergantung pada

rasio logam/asam humat. Pada rasio logam/asam humat rendah peluang untuk terjadinya tipe ikatan *bidentate* lebih besar, karena pada rasio logam/asam tinggi pada kondisi alamiah kemungkinan terjadi kecil.

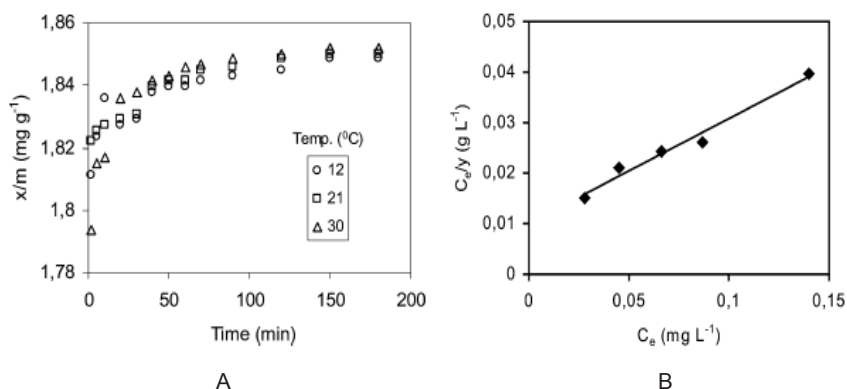
Karakteristik jerapan kation Cu dan Zn oleh asam humat dapat dipengaruhi oleh kelarutan asam humat, pH dan konsentrasi larutan elektrolit. Mekanisme utama adsorpsi asam humat pada permukaan mineral dipengaruhi oleh, pertukaran anion, pertukaran ligan pada permukaan kompleksasi, interaksi hidrofobik, ikatan hidrogen dan jembatan kation (Erdogan *et al.* 2007). Interaksi antara asam humat dengan kation logam akan meningkat dengan meningkatnya pH sampai batas tertentu, menurun dengan meningkatnya konsentrasi ion logam kompetitor dan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam humat. Terdapat perbedaan kemampuan adsorpsi antara ion logam dengan asam humat, $Fe > Pb > Cu \geq Al > Zn$, $Fe > Pb > Al > Cu > Zn$ pada pH 2,5 dan 3,5 sedangkan pada pH 4,5 dan 5,5 $Fe = Pb = Cu = Al > Zn$. Analisis dengan menggunakan FTIR ikatan asam humat dengan Cu terjadi pada panjang gelombang 3400, 2950, 150, 1370, 1230, 1020, 750 dan 660cm^{-1} . Sedangkan untuk Zn – humat terjadi pada panjang gelombang 2405, 2920, 1696, 1595, 1364, 1225, 1040 dan 665cm^{-1} .

Unsur Cu lebih reaktif terhadap asam-asam fenolat sederhana seperti p-hidroksibenzoat, sedangkan unsur Fe lebih reaktif terhadap asam-asam fenolat yang lebih kompleks seperti asam ferulat, asam sinapat dan asam p-kumarat (Tadano *et al.* 1992). Kompleksasi dan disolusi Cu dan Zn oleh asam humat tergantung pada besarnya jumlah ion logam yang ada atau ditambahkan ke dalam larutan tanah. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya jumlah ion logam yang ditambahkan (Bunzl *et al.* 1976). Selain konsentrasi awal ion logam, kompleksasi dan disolusi ion logam pada tanah gambut juga dipengaruhi oleh pH, suhu tanah dan waktu pengukuran (Torresdey *et al.* 2000; Gundogan *et al.* 2004) (Gambar 3).



Gambar 3. Persentase adsorpsi Cu akibat perubahan pH tanah dan waktu adsorpsi Cu oleh asam-asam organik pada konsentrasi Cu^{2+} 0,1mM dengan pH 4,0

Sumber: Torresdey *et al.* 2000



Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi Cu(II) oleh gambut pada pH 5,5 (A), Persamaan Langmuir isotherm Cu(II) pada suhu 21°C dan pH 5,5 $r^2 = 0,98$ (B)

Sumber: Gundogan *et al.* 2004

Ion logam yang dijerap oleh asam humat dapat secara bertahap dilepas kembali oleh asam fulvat (Zunino dan Martin 1977). Nilai pH tanah mempengaruhi pelepasan ion Cu oleh asam humat, pada pH < 4 terjadi peningkatan adsorpsi ion Cu dan selanjutnya menurun dengan semakin meningkatnya pH tanah (Gambar 4). Hal ini berkaitan dengan kelarutan dan keberadaan gugus fungsional yang reaktif (karboksil) pada pH rendah sehingga terjadi kompleksasi antara ion logam dengan senyawa humat.

Mekanisme pelepasan Cu dapat dengan menambah kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} sebagai kation kompetitor dalam kompleksasi logam dengan asam humat, serta peningkatan pH sehingga kelarutan Cu^{2+} dan Zn^{2+} meningkat.

Amelioran Rendah Emisi GRK

Ameliorasi menggunakan bahan yang tepat merupakan salah satu upaya menekan emisi GRK di lahan gambut. Beberapa bahan amelioran memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap emisi GRK di lahan gambut, ada yang meningkatkan emisi GRK dan sebaliknya ada yang mampu menekan emisi GRK. Bahan amelioran yang memberikan efek percepatan dekomposisi bahan gambut, justru akan meningkatkan emisi karbon, sedangkan bahan amelioran yang mampu menstabilkan bahan gambut dapat menekan emisi karbon.

Dekomposisi bahan gambut dapat ditekan dengan meningkatkan kestabilan bahan gambut yang salah satunya dengan khelating, Permukaan koloid organik gambut sebagian besar merupakan muatan negatif yang dikontrol oleh gugus fenolik-OH dan karboksilat (COOH). Menurut Tan (1998), 54% kapasitas pertukaran asam organik berhubungan dengan kelompok COOH dan akan melepaskan H^+ pada pH 3,0-5,5. Kondisi ini sangat penting bagi koloid organik dalam proses interaksi kation, yang menyebabkan reaksi kompleks (chelation). Fakta ini juga dapat digunakan untuk memecahkan masalah dalam kaitannya dengan disintegrasi bahan organik melalui pelepasan C (Sabiham 2010).

Gambut dengan kandungan senyawa organik alifatik dan aromatik tinggi kaya dengan gugus fungsional yang mengandung oksigen seperti: C-O, -OH dan COOH yang merupakan tapak-tapak reaktif dalam mengikat kation (Stevenson 1994). Kompleks antara asam humik dengan kation logam mempunyai kestabilan yang berbeda. Efektivitas kation dari paling tinggi ke rendah dalam meningkatkan stabilitas gambut secara berturut adalah $\text{Fe}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ (Tan 2003).

Reaksi atau pH tanah, jenis, sumber dan konsentrasi senyawa organik mempengaruhi afinitas tiap logam terhadap senyawa organik (Senesi 1994). Kerdoff dan Schnitzer (1980) dalam Schnitzer (1986) melaporkan

konstanta stabilitas (log K) senyawa kompleks yang terbentuk antara asam fulvat dengan kation meningkat dengan meningkatnya nilai pH dari 3,5 - 5,0 urutan stabilitas logam sebagai berikut:

pH 3,5 : Cu > Fe > Ni > Pb > Co > Ca > Zn > Mn > Mg

pH 3,7 : Hg > Fe > Al > Pb > Cu > Cr > Cd > Zn > Ni > Co > Mn

pH 4,7 : Hg ~ Fe ~ Pb ~ Al ~ Cu ~ Cr > Cd > Ni > Zn > Co > Mn

pH 5,0 : Cu > Pb > Fe > Ni > Mn > Co > Ca > Zn > Mg

pH 5,8 : Hg ~ Fe ~ Pb ~ Al ~ Cr ~ Cu > Cd > Zn > Ni > Co > Mn.

Kation Cu menempati urutan ikatan terkuat dengan senyawa organik dan kation Mg terendah, sedangkan ion logam berat Pb, Ni dan Cr lebih reaktif terhadap asam fulvat dibandingkan ion Mn dan non logam. Logam berat Pb, Cd dan Cr pada tanah gambut berada dalam bentuk stabil sehingga tidak dapat diserap tanaman. Mekanisme *chelating* gugus fungsional dengan ion logam seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme *chelating* ion logam dengan gugus fungsional gambut

Sumber: Schnitzer 1986

Asam-asam organik golongan karboksil (COOH) akan terurai secara sempurna menjadi CO₂ dan CH₄ melalui peristiwa oksidasi reduksi (Van der Gon dan Neue 1995). CO₂ juga bisa dilepaskan saat kelompok metoksi (-OCH₃) diubah menjadi gugus -OH selama pembentukan fenol-OH melalui proses demetilisasi, hidroksilasi dan oksidasi. Gas metana (CH₄), diproduksi pada kondisi anaerobik kuat dengan adanya bakteri (methanogen) (van der Gon dan Neue 1995).

Kation Fe³⁺ memiliki potensi sebagai jembatan kation untuk meningkatkan polimerisasi turunan asam fenolik dengan menghubungkan molekul fenolik secara individu menjadi rantai yang kompleks, sehingga konsentrasi asam fenolat menurun, dan stabilitas bahan gambut meningkat. Pemberian bahan amelioran berupa tanah mineral dapat menurunkan konsentrasi asam siringat, asam kumarat dan asam vanilat (Hartatik dan

Suriadikarta 2006). Dengan adanya ikatan antara koloid mineral dengan bahan gambut menyebabkan degradasi gambut dapat dihambat, sehingga gambut sebagai sumberdaya alam dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama. Beberapa jenis bahan amelioran yang mampu menurunkan emisi karbon di lahan gambut antara lain sebagai berikut.

Tanah mineral. Pemberian bahan amelioran berupa tanah mineral yang mengandung Fe tinggi, seperti tanah sulfat masam dan oksisol mampu menurunkan konsentrasi asam-asam organik dan meningkatkan produksi padi (Sabiham 2010). Proporsi Fe^{3+} pada bahan gambut sekitar 55,1–78,6% dari total Fe yang terekstrak berada dalam bentuk khelating dan ikatan yang kuat dengan bahan gambut (Sabiham *et al.* 1997). Selanjutnya juga dijelaskan bahwa aplikasi Fe^{3+} mampu menekan emisi CO_2 dan CH_4 , dengan semakin tinggi dosis kemampuan menekan emisi karbon juga semakin meningkat (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh aplikasi Fe^{3+} terhadap produksi CO_2 dan CH_4 (ug/g/jam) dan kelarutan Fe (ppm) pada sampel gambut dari Jambi dan Kalimantan Tengah

Dosis Fe^{3+} (% jerapan maksimum)	Gambut dari Jambi			Gambut dari Kalimantan Tengah		
	CO_2	CH_4	Fe terlarut	CO_2	CH_4	Fe terlarut
2,5	36,2	17,8	16,3	37,0	16,7	16,2
5,0	30,9	15,2	18,5	30,5	14,1	18,9
7,5	28,6	14,8	26,3	28,0	13,4	27,6

Sumber: Sabiham 2010

Tanah sulfat masam dapat digunakan sebagai amelioran, karena banyak mengandung Fe^{3+} . Pemberian tanah mineral berpirit akan menyumbangkan besi pada tapak erapan gambut. Selain Fe, Aluminium juga dapat menyerap P dengan kekuatan jerapan yang tidak dipengaruhi oleh Eh (Litoar 2005). Hara P dari tapak reaktif gambut dapat dilepaskan secara lambat dan kebutuhan tanaman dapat terpenuhi. Akan tetapi dalam pemberian amelioran dengan tanah berpirit ini perlu diwaspadai sebab adanya unsur ikutan yaitu H-dd dan sulfat.

Biochar. Biochar adalah residu pirolisis berbentuk arang yang mengandung karbon tinggi. Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota tanah serta mengurangi pencemaran. Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah, sekaligus

untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Maftu'ah dan Indrayati 2013).

Efektivitas biochar dalam memperbaiki tanah gambut antara lain tergantung pada jenis bahan baku biochar, suhu pirolisis dan ukuran biochar. Suhu dan tekanan parsial mengontrol jumlah abu mineral dalam biochar (Bridgwater dan Boocock 2006). Biochar dari cangkang kelapa mampu menekan emisi CO₂ sampai 26% dibandingkan kontrol, sedangkan biochar sekam padi mampu menekan emisi N₂O sampai 52% dibandingkan kontrol (Maftuah *et al.* 2016).

Pemberian biochar mampu meningkatkan pH tanah, ketersediaan P, K dan Ca-dd (Masulili *et al.* 2010). Biochar mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman dan produktivitas tanaman (Glaser *et al.* 2002). Namun mekanisme spesifik kontribusi biochar terhadap perbaikan kesuburan tanah dan emisi belum banyak diungkap. Biochar berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman melalui nutrisi yang dilepaskan, sedangkan secara tidak langsung melalui perbaikan daya sangga tanah dalam menahan hara, peningkatan pH tanah, perbaikan sifat fisik tanah dan pengaruhnya terhadap peran dan populasi mikrobia (Graber *et al.* 2010). Pengaruh penambahan biochar terhadap respirasi tanah dan emisi CO₂ bervariasi (Zimmerman *et al.* 2011), tergantung jenis biochar, jenis tanah, kadar C-organik pada fraksi (Cheng *et al.* 2006; Steiner *et al.* 2008; Kuzyakov *et al.* 2009). Kemampuan biochar dalam menekan emisi GRK di lahan gambut tergantung pada jenis biochar (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh biochar dalam menekan emisi CO₂ dan N₂O di lahan gambut pada pertanaman jagung di Kalampangan, Kalteng.

Jenis biochar	Emisi	
	CO ₂	N ₂ O
	kg/ha/musim	
Biochar cangkang kelapa	1500	450
Biochar sekam padi	2500	780
Tanpa amelioran	4100	1400

Sumber: Maftu'ah *et al.* 2016

Aplikasi biochar ke lahan gambut dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama N₂O dan ini terkait dengan pengurangan jumlah bakteri ammonium-oxidizing. Biochar dari sekam padi menunjukkan penurunan N₂O 63% (Hadi *et al.* 2013). Menurut Maftuah dan Linda (2013) biochar cangkang kelapa mampu meningkatkan pH tanah, N- total, K-dd, tinggi

tanaman, jumlah anakan dan produksi padi di lahan gambut. Biochar mempengaruhi biota, dan efeknya tergantung pada pH dan sifat fisik biochar seperti struktur pori, luas permukaan dan kandungan mineral (Lehman *et al.* 2011).

Zeolit. Zeolit merupakan salah satu bahan amelioran yang dapat diaplikasikan di tanah gambut. Zeolit merupakan mineral aluminosilikat dengan bentuk tetrahedral. Zeolit merupakan kristal berongga yang terbentuk oleh jaringan aluminium silika tetrahedral tiga dimensi dan mempunyai struktur yang relatif teratur dengan rongga yang di dalamnya terisi oleh logam alkali atau alkali tanah sebagai penyeimbang muatannya. Rongga-rongga tersebut merupakan suatu sistem saluran yang di dalamnya terisi oleh molekul air. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $(\text{AlO}_4)^{5-}$ dan $(\text{SiO}_4)^{4-}$ yang saling berhubungan melalui atom oksigen dan didalam struktur tersebut Si_4^+ dapat diganti Al_3^+ dengan substitusi isomorfik. Formula untuk satuan molekul zeolit adalah $\text{Mx/n} \{ (\text{AlO}_2)_x (\text{SiO}_2)_y \} \cdot z \text{H}_2\text{O}$. M : kation alkali/alkali tanah, n : valensi logam alkali/alkali tanah { } : kerangka alumina, z : jumlah molekul air yang terhidrat, x dan y : jumlah tetrahedron per unit sel (Jumaeri *et al.* 2007).

Agar efektivitas zeolit meningkat dan untuk menghilangkan zat-zat pengotor diperlukan aktivasi dengan perlakuan asam dan garam. Komposisi zeolit antara lain: $\text{SiO}_2 = 62,75\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,71\%$; $\text{MnO} = 5,58\%$; $\text{CaO} = 3,39\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,01\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,29\%$; $\text{K}_2\text{O} = 1,28\%$; $\text{MgO} = 0,85\%$. Zeolit dengan rasio Si/Al tinggi (10-100) dapat bersifat hidrofobik dan dapat menyerap molekul-molekul organik. Menurut hasil penelitian Mutngimaturahmah (2007) pori-pori zeolit alam Wonosari yang telah diaktifkan menggunakan larutan HCl 6 N dan NH_4NO_3 2 N serta kalsinasi pada suhu 300°C memiliki ukuran pori antara 3 sampai $14 \text{ \AA}$, sedangkan tanpa aktivasi memiliki ukuran pori 2-3 $\text{ \AA}$. Zeolit dapat berfungsi sebagai adsorben dengan ukuran porinya yang besar. Zeolit juga dapat berperan sebagai penukar ion dari dalam zeolit dengan ion yang ada dalam larutan, dan sebagai katalisator karena mempunyai kisi-kisi yang aktif.

Aplikasi zeolit secara signifikan mengurangi kehilangan amonia hingga 25,33%, meningkatkan pH tanah, amonium tukar, nitrat yang tersedia, dan kation yang dapat ditukarkan dan mengurangi keasaman tertukar (Palanivell *et al.* 2015). Zeolit merupakan adsorban yang baik untuk menyerap CO_2 , N_2O dan CH_4 dari udara (Saha *et al.* 2010). Berdasarkan

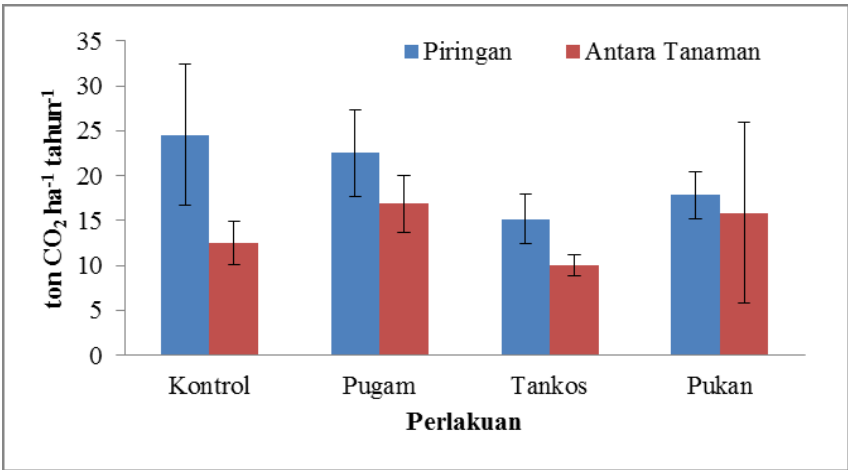
penelitian Natpinit *et al.* (2016), pemberian zeolit mampu menekan emisi pada pertanaman padi baik emisi CH₄ maupun CO₂ sampai 50% dibandingkan kontrol (Tabel 3).

Tabel 3. Emisi CH₄ dan CO₂ pada pertanaman padi

Perlakuan	Emisi kumulatif (g/m ²)		Fluks (mg/m ² /jam)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
Kontrol	42,57	86,40	30,71	57,77
Zeolit	20,87	42,35	15,05	28,32

Sumber: Palanivell *et al.* 2015

Kompos. Limbah pertanian dan perkebunan sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos. Berdasarkan beberapa penelitian, pemanfaatan kompos mampu menekan emisi CO₂ di lahan gambut. Kompos dari tandan kosong (tankos) kelapa sawit terdiri dari tandan kosong kelapa sawit yang dicampur dengan pupuk kandang dan dolomit dengan perbandingan 100:30:5 yang dikomposkan selama 3 bulan, mampu menekan emisi CO₂ di pada pertanaman sawit di lahan gambut (Adriany *et al.* 2014). Kompos yang diformulasi dari 40% gulma insitu, 40% pukan ayam dan 20% dolomit mampu menurunkan emisi CO₂ pada pertanaman bawang merah di lahan gambut (Balittra 2017).



Gambar 7. Emisi CO₂ akibat pemberian amelioran pada piringan pertanaman sawit di lahan gambut

Sumber: Adriany *et al.* 2014

Pupuk kandang. Pengaruh pupuk kandang terhadap mitigasi emisi CO₂ tidak konsisten, tergantung pada jenis/kualitas pupuk kandang, jenis gambut, penggunaan lahan/jenis tanaman dan kondisi lingkungan. Pupuk kandang ayam cukup efektif dalam menurunkan emisi CO₂ sampai 10,70% di lahan gambut yang digunakan untuk budidaya kelapa sawit (Setyanto *et al.* 2014). Namun, berdasarkan penelitian Adriany *et al.* (2016) pemberian amelioran pupuk kandang ayam pada penggunaan lahan gambut yang berbeda tidak memberikan pengaruh nyata terhadap emisi CO₂, dan jenis penggunaan lahan yang lebih berpengaruh terhadap emisi CO₂.

Tabel 4. Pengaruh pupuk kandang ayam terhadap emisi CO₂ di lahan gambut

Perlakuan	Emisi CO ₂ (t/ha/tahun)							
	Baseline*	Jagung		Bera		Nanas		Rerata Penurunan emisi CO ₂
		Emisi CO ₂	%	Emisi CO ₂	%	Emisi CO ₂	%	%
Pukan ayam	28,50	11,37	60	8,32	78	21,50	21	53
Dolomit	21,37	8,07	62	11,14	48	15,48	38	49
Kontrol	22,98	9,69	58	7,97	22	17,85	22	34
Cara petani	24,49	7,73	68	10,33	58	16,15	3	43

Keterangan: * Hasil pengukuran sebelum aplikasi amelioran, %: persentase penurunan dari baseline.
 Sumber: Modifikasi dari Sopiawati *et al.* 2014

Berdasarkan penelitian Sopiawati *et al* (2014) aplikasi pupuk kandang sebagai bahan amelioran mampu menurunkan emisi CO₂ lebih besar dibandingkan pemberian dolomit maupun kontrol. Selain itu besarnya emisi yang dapat ditekan adanya pemberian amelioran juga sangat tergantung pada kondisi penggunaan lahan (Tabel 4). Penelitian Wibowo *et al.* (2014) pukan ayam mampu menekan emisi CO₂ pada pertanaman nenas di lahan gambut dari 57-58 t/ha/tahun menjadi 47-48 t/ha/tahun atau sekitar 17,5 persen dibandingkan kontrol.

Penutup

Pemanfaatan lahan gambut terdegradasi harus mempertimbangkan aspek keberlanjutan. Ameliorasi sangat diperlukan untuk memperbaiki kesuburan tanah gambut terdegradasi agar dapat dimanfaatkan sebagai areal pertanian produktif. Pemilihan jenis amelioran menjadi penting agar dapat memperbaiki kesuburan lahan serta menekan emisi GRK. Efektivitas bahan amelioran sangat ditentukan oleh kualitas bahan. Faktor lingkungan

seperti pH tanah, Eh dan DHL perlu mendapat perhatian dalam penentuan amelioran. Selain itu komposisi kimia dan kualitas amelioran akan sangat menentukan efektivitasnya. Beberapa jenis bahan amelioran yang dapat meningkatkan kesuburan tanah gambut sekaligus menekan emisi GRK antara lain: tanah mineral yang mengandung logam, biochar, zeolit, kompos dan pupuk kandang. Pemilihan amelioran yang tepat menjadi salah satu kunci rehabilitasi lahan gambut terdegradasi.

Daftar Pustaka

- Adriany, T.A., A. Wihardjaka, P. Setyanto, Salwati. 2014. Pengaruh pemberian amelioran pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut Provinsi Jambi terhadap emisi CO₂. Hlm:...*Dalam A. Wihardjaka et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi Untuk Mitigasi Emisi Grk Dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Adriany, T. A., A. Pramono dan P. Setyanto, 2016. Pemberian amelioran pupuk kandang ayam pada penggunaan lahan gambut yang berbeda terhadap emisi CO₂. *Ecolab* 10(2): 47 – 102.
- Agus, F, Wahyunto, H. Sosiawan, I.G.M. Subiksa, P. Setyanto, A. Dariah, Maswa, N.L. Nurida, Mamat, I. Las. 2014. Pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi: Trade-off keuntungan ekonomi dan aspek lingkungan. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. BBSDLP. Bogor.
- Anshari, G. Z. 2010. A preliminary assessment of peat degradation in West Kalimantan. *Biogeosciences Discuss.* 7:3503-3520.
- Aryantha, I. P. 2002. Development of sustainable agricultural system, one day discussion on the minimization of fertilizer usage. Menristek-BPPT, 6th May 2002, Jakarta.
- Balittra. 2017. Laporan Hasil Penelitian T.A 2017. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Bridgwater, A.V., and D.G.B. Boocock. 2006. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Volume 2. CPL Press. 1843 p.
- Bunzl, K., W. Schmidt, and W. Sansoni, 1976. Kinetics of ion exchange in soil organic matter, IV adsorption and desorption of Pb²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺ and Ca²⁺ by peat. *Jurnal of Soil Science* 27:32-41
- Cheng, C. H., J. Lehman, J.E. Thies, S.D, Burton and M.H. Engelhard, 2006. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes,

Organic Geochemistry 37: 1477-1488.

- Cristofaro, A. De., J.Z. He, D.H. Zhou, and A. Violante, 2000. Adsorption of phosphate and tartate on hydroxyl-Aluminum-oxalate precipitates. *Soil Sci. Soc.Am.J.* 64;1347-1355.
- Daryono. H. 2009. Potensi, permasalahan dan kebijakan yang diperlukan dalam pengelolaan hutan rawa gambut secara lestari. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 6(2):71-101
- Erdogan, S., A. Baysal, O. Akba, and C. Hamamci, 2007. Interaction of metals with humic acid isolated from oxidized coal. *Polish J. of Environ. Stud.* 16(V):771-675
- Giesler, R., T. Anderson, L. Lovgren, and P. Persson, 2005. Phosphate sorption in aluminium-and iron- rich humus. *Soil. Sci. Soc.Am. J.* 69:77-86
- Graber E.R., Y. Meller-Harel, M. Kolton, E. Cytryn, A. Silber, D. Rav David, L. Tsechansky, M. Borenshtein and Y. Elad, 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337:481-496.
- Gundogan, R., B. Acemioglu, and M.H.Alma, 2004. Copper (II) adsorption from aqueous solution by herbaceous peat. Science Direct. *Journal of Colloid and Interface Science* 269:303-309.
- Hadi, A., A. Ghofur, A. Farida, T. Subekti, and Dedi Nursyamsi, 2013. Gas emissions from the production and use of biochar in the peatland of Kalimantan. In *Biochar for future food security: learning from experiences and identifying research priorities*. Keiichi Hayashi (Eds). JIRCAS, IRRI, IAARD.
- Hakim, A. M.A, dan D. E. Andjarwati. 2010. Partisipasi masyarakat dalam upaya pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. (Studi kasus di Desa Kalampangan, Kecamatan Sebangau, Palangkaraya, Kalimantan Tengah). *Jurnal Sosek Pekerjaan Umum* 2(1):1-9.
- Hartatik, W. dan D.A. Suriadikarta, 2006. Teknologi pengelolaan hara lahan gambut. *Dalam Karakteristik dan pengelolaan lahan rawa*, I. Las (eds). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Hustchison, K.J. and D. Hesterbeg. 2004. Dissolution of phosphorus enriched Ultisol as affected by microbial reduction. *J. Environ. Qual.* 33:1793-1802.
- Jeong, C.Y., C.W. Park, J.G. Kim and S.K. Lim, 2005. Carboxylic content of humic acid determined by modeling, calcium acetate, and precipitation methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:86-94

- Jordan, N. , G. Boody, W. Broussard, J. D. Glover, D. Keeney, B. H. McCown,, G. McIsaac, M. Muller, H. Murray, J. Neal, C. Pansing, R. E. Turner, K. warner, and D. Wyse, 2007. Sustainable Development of the Agricultural Bio-Economy. *Science*. 316:1570-1571.
- Jumaeri, W. Astuti dan W.T.P Lestari, 2007. Preparasi dan karakterisasi zeolit dari abu layang batubara secara alkali hidrotermal. *Reaktor* 11(1): 38-44.
- Kuzyakov, Y., I. Subbotina, H.Q. Chen, I. Bogomolova, and X.L. XU, 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ^{14}C labeling. *Soil Biology and Biochemistry* 41:210-219.
- Law. E.A., B. A. Bryan, E. Meijaard, T. Mallawaarachchi, M. Struebig, and K. A. Wilson, 2015. Ecosystem services from a degraded peatland of Central Kalimantan: implications for policy, planning, and management. *Ecological Applications* 25(1):70–87.
- Lehmann J, M. C. Rillig, J. Thies, C. A. Masiello, W. C. Hockaday and D. Crowley, 2011. Biochar effects on soil biota e A review. *Soil Biology & Biochemistry* 43:1812-1836.
- Lewandowski I., Hardtlein M., Kaltschmitt M. 1999. Sustainable crop production: Definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. *Crop Sci*. 39: 184–193.
- Litaor, M.I., O. Reichmann, K. Auerswald, A. Haim and M. Shenker. 2004. The geochemistry of phosphorous in peat soil of a semiarid Altered Wetland. *Applied and Environmental Microbiology* 65(10):4393-4398
- Litoar, M.I., 2005. O. Reichmann, A. Haim, K. Auerswald, and M. Shenker. 2005. Sorption characteristics of phosphorus in peat soils of a semiarid Altered wetland, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:799-808
- Logan, E. M., I.D. Pulford, G.T. Cook, A.B. Mackenzie, 1997. Complexation of Cu^{2+} and Pb^{2+} by peat and humic acid. *European J. of Soil Science*, 48:685p.
- Mackowiak, C.L., P.R. Grossl and B.G. Bugbee, 2001. Beneficial effect of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1744-1750.
- Maftu'ah, E. dan A. Maas, 2011. The role of Mycoriza Arbuskula Vesukula (VAM) on idle peat land rehabilitation. Proceedings of Palangkaraya International Symposium and workshop on tropical peatland. 108-113p.
- Maftu'ah, R.S. Simatupang, H. Subagio and D. Nursyamsi, 2016. Effectiveness of Some Ameliorants to Reduce CO_2 and N_2O Emission

- at Corn Planting in Peat Land. *Journal of Wetlands Environmental Management* 4(1): 55–64
- Maftu'ah, E. and L. Indrayati. 2013. The use of biochar to improve soil properties and growth of paddy in peatland. *AGRIVITA* 35(3):290-295.
- Masulili, A., Utomo, W.H. and Syechfani, 2010. Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The Characteristics of Rice Husk Biochar and Its Influence on the Properties of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science* 2(1): 39-47.
- Morrogh-Bernard H, Husson S, Page S.E, Rieley J.O. 2003. Population status of the Bornean orang-utan (*Pongo pygmaeus*) in the Sebangau peat swamp forest, Central Kalimantan, Indonesia. *Biol Conserv.* 110:141–152.
- Mutngimaturrohman. 2007. Aplikasi zeolit alam terdealuminasi dan termodifikasi HDTMA sebagai adsorben fenol. *Skripsi*. UNDIP. Semarang. (jumlah halaman?)
- Natpinit, P., R. Anuwattana, T. Ditkaew, T. Suppinunt, R. Anuwattana, T. Ditkaew, T. Suppinunt. 2016. Application of rice stubble synthesized zeolite for greenhouse gas reduction. applied environmental research. *App. Envi. Res.* 38(2):23-31. Journal homepage : <http://www.tci-thaijo.org/index.php/aer>.
- Noor, M., D. Nursyamsi, M. Alwi, dan A. Fahmi. 2014. Prospek pertanian berkelanjutan di lahan gambut: dari petani ke peneliti dan peneliti ke petani. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(2): 69-79.
- Palanivell, P. O. H. Ahmed, K. Susilawati and N. M. A. Majid. 2015. Mitigating ammonia volatilization from urea in waterlogged condition using clinoptilolite zeolite. *International Journal of Agriculture & Biology*. ISSN Print: 1560–8530; ISSN Online: 1814–9596 14–041/2015/17–1–149–155 <http://www.fspublishers.org>.
- Posa, M. R. C., L. S. Wijedasa, and R. T. Corlet. 2011. Biodiversity and conservation of tropical peat swamp forests. *J. BioScience* 61(1):49-57.
- PP 57 tahun 2016. Perubahan atas peraturan pemerintah nomor 71 tahun 2014 tentang perlindungan dan pengelolaan ekosistem gambut. www.hukumonline.com/pusatdata.
- Purwanto, B.H. 2011. Pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. Paper disampaikan dalam workshop teknologi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di lahan gambut, Solo 8 Desember 2011.
- Qualls, R.G., A. Takiyama, and R.L. Wershaw. 2003. Formation and loss of humic substances during decomposition in a Pine Forest Floor. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:899–909.

- Radjaguguk, B. 2004. Developing sustainable agriculture on tropical peatland: Chalanges and prospects. Pp 707-712. *In* J. Palvanen (ed). Proceeding of the 12th International Peat Congress. Wise use of peatlands. Vol 1. Oral presentations. Tampere, Findland. 6-11 June 2004.
- Rahayu. 2003. Pengaruh paraquat terhadap mineralisasi nitrogen, fosfor, dan sulfur bahan gambut pangkoh, kalteng. Tesis. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 119 halaman.
- Reddy, K.R. and De Laune R.D. 2008. Wetland science and applications. CRC Press & Francis.
- Sabiham, S., T.B. Prasetyo, and S. Dohong. 1997. Phenolic acid in Indonesian peat. Pp. 289-292. *In* Rielely and Page (Eds). Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat and Peatland. Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Sabiham, S. 2010. Properties of Indonesian peat in relation to the chemistry of carbon emission. Proc.of Int. Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries. Bogor, Indonesia Sept. 28-29 2010.
- Sabiham, S. 2006. Pengelolaan lahan gambut indonesia berbasis keunikan ekosistem. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Pengelolaan Tanah. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, 16 September 2006.
- Saha, D., Z. Bao, F. Jia, and S. Deng, 2010. Adsorption of CO₂, CH₄, N₂O, and N₂ on MOF-5, MOF-177, and Zeolite 5A. *Environ. Sci. Technol.* 44:1820–1826
- Schnitzer, M. 1986. Binding of humic substances by soil mineral colloids. Pp:77-102. *In* P.M. Huang and M. Schnitzer (Eds.). Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication Number 17. *Soil Soc. Am., Inc. Madison.*
- Senesi, N. 1994. Spectroscopic studies of metal ion humic substance complexation in soil. *In* 15th World Congress of Soil Sci. Acapulco. Mexico.
- Setyanto, P., A. Wihardjaka, E. Yulianingsih dan F Agus. 2014. Emisi gas rumah kaca dari saluran drainase di lahan gambut Jabiren, Kalimantan Tengah. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. A. Wihardjaka et al. (Eds). Badan Litbang pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Shand, C.A. dan S. Smith. 1997. Enzymatic release of phosphate from model substrates and P compounds in soil solution from a peaty podzol. *Biol Fertil Soil* 24 (2): 183-187.

- Silvius, M.J. and Suryadiputra, N. 2005. Review of policies and practices in tropical peat swamp forest management in Indonesia. Wetlands International, Wageningen, The Netherlands.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, and Reaction*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 443p.
- Slangen, L. H .G. 2001. Sustainable agriculture. getting the insitutions right. CEESA Discussion Paper No. 1, 1.ISSN 1616-9166
- Sopiawati, T., A. Wihardjaka, P. Setyanto, T. Sugiarti, 2014. Emisi CO₂ dari pertanaman jagung (*Zea mays*) dan Nenas (*Ananas comosus*) di lahan gambut Kalimantan Barat. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. A. Wihardjaka *et al.* (Eds). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Steiner, C., K. C. Das, M. Garcia, B. Förster, and W. Zech. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic ferralsol. *Pedobiologia* 51 (5□6):359-366.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, and Reaction*. Edisi ke 2. John Wiley & Sons, Inc. New York. 496 halaman.
- Tadano, K. Yonebayashi, and N. Saito. 1992. Effect of phenolic acids on growth and accurence of sterility in crop plants. Pp.358-369. In K. Kyoma, P. Vajarman, and A. Zakaria (eds). Coastal Lowland Ecosystems in Southern Thailand and Malaysia .Showado-Printing co.Skyooku. Kyoto.
- Tan, K.H. 1998. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Diterjemahkan oleh: Goenadi DH. Cetakan kelima. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 295 halaman.
- Tan, K.H. 2003. Humic matter in soil and environment, principle and controversies. Marcel Dekker, Inc. New York. 359p.
- Tim Sintesis Kebijakan, 2008. Pemanfaatan dan konservasi ekosistem lahan rawa gambut di Kalimantan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 1(2):149-156.
- Torresdey, J.LG., L. Tang, and J.M Salvador. 2000. Copper adsorption by sphagnum peat moss and its different humic fractions. *Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research*. Texas.
- Turner, B.L., S. Newman, A.W. Cheesman and K.R. Reddy, 2007. Sample pretreatment and phosphorus speciation in wetland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71;1538-1546
- Vadas, P.A., T. Krogstad, and A.N. Sharpley, 2006. Modeling phosphorus transfer between labile and nonlabile soil pools: updating the EPIC Model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:736-743.

- Wibowo, H., T. Sugiyarti, S. Marwanto dan. F. Agus, 2014. Emisi Gas CO₂ pada lahan gambut yang dibuka untuk budidaya studi kasus di Provinsi Kalimantan Barat. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. A. Wihardjaka et al. (Eds). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Wichtmann, W. and S. Wichmann. 2011. Social and economic aspects of a sustainable biomass production. *Journal of sustainable energy & environment*. Special issue:77-81.
- Wright, A.L. and K.R. Reddy, 2007. Substrate-induced respiration for phosphorus enriched and oligotrophic peat soil in an everglades wetland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1579-1583.
- Zimmerman, B.G., B. Gao, and M.Y. Ahn. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 43:1169–1179.
- Ziolek, M. 2007. Phosphorous form in organic soil with a varying degree of transformation (on the example of the Lublin Polesie Region). *Polish Journal of Soil Science* 11 (2):179-194.
- Zunino, H., and J.P. Martin. 1977. Metal binding of organic macromolecules in soil. Hypothesis interpreting the role of soil organic matter in the translocation of metal ions from rock to biological systems. *Soil Sci* 123: 65-76.

TEKNOLOGI PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN HORTIKULTURA DI LAHAN GAMBUT

Masganti dan Khairil Anwar

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa Banjarbaru
Jln. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru
masgambut59@yahoo.com

Ringkasan

Lahan gambut tersebar luas di Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua, dan sebagian kecil di pulau Sulawesi, Jawa, dan Maluku. Diperkirakan luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14,95 juta hektar. Meskipun potensi luasnya tinggi, tetapi produktivitas tanaman di lahan ini masih tergolong rendah, sehingga secara ekonomi tidak/kurang menguntungkan. Tanaman hortikultura merupakan salah satu komoditas andalan karena menjadi sumber pangan, sumber pendapatan, dan sumber devisa negara melalui ekspor sayur dan buah-buahan. Tanaman hortikultura yang berkembang di lahan gambut antaranya (a) tanaman buah terdiri dari nanas, pisang, pepaya, jeruk, semangka, melon, rambutan, dan nangka, (b) sayuran buah terdiri dari tomat, cabai, mentimun, pare, kubis, terong, bawang merah, kacang panjang, dan kool, dan (c) sayuran daun terdiri dari kangkung, bayam, caisin, sawi, dan selada. Berbagai permasalahan yang dihadapi berkaitan dengan pemanfaatan lahan ini adalah kesuburan tanah yang rendah, sifat fisik dan biologi yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Di beberapa lokasi lahan gambut, tanaman hortikultura berkembang baik dan mempunyai prospek ekonomi yang baik. Pemanfaatan lahan gambut sebagai media budidaya tanaman hortikultura perlu terus ditingkatkan melalui dukungan teknologi pengelolaan air, penataan lahan, pemilihan komoditas, penataan tanaman, pengaturan pola tanam, amelorasi, pemupukan, dan pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT).

Pendahuluan

Lahan gambut tersebar luas di Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua, dan sebagian kecil di pulau Sulawesi, Jawa, dan Maluku. Diperkirakan luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14,95 juta hektare (Wahyunto *et al.* 2014; Ritung *et al.* 2015). Sebagai media tumbuh tanaman, lahan gambut telah lama dimanfaatkan petani untuk menghasilkan bahan pangan dan komoditas perkebunan (Masganti dan Yuliani 2009; Wahyunto *et al.* 2013; Masganti *et al.* 2015).

Meskipun dari segi luas lahan gambut mempunyai potensi yang besar, akan tetapi produktivitas lahan ini masih tergolong rendah (Las *et al.* 2012; Suriadikarta 2012; Masganti 2013). Menurut Masganti *et al.* (2017), pemilihan lahan gambut sebagai pemasok bahan pangan pada masa mendatang didasarkan atas pertimbangan: (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan di lahan gambut bersifat komplementer dengan pola produksi di Pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan non pertanian masih rendah, dan (7) tersedia teknologi produksi.

Produktivitas lahan gambut sangat tergantung dari pengelolaan dan tindakan manusia. Beberapa peneliti melaporkan bahwa produktivitas lahan gambut menurun akibat degradasi kesuburan tanah, sifat fisika, dan biologi tanah (Masganti 2013; Maftu'ah *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2017). Lahan gambut yang tidak terdegradasi mempunyai kadar N-total, P-tersedia, unsur-unsur basa, kadar abu, dan kemampuan memegang air yang lebih rendah (Utami *et al.* 2009; Masganti 2012), sehingga pada musim hujan mudah mengalami banjir dan pada musim kemarau mudah kering dan terbakar (Masganti *et al.* 2015; Noor 2017) serta efisiensi dan efektivitas pemupukan rendah (Masganti, 2013). Penurunan produktivitas lahan gambut bahkan menyebabkan sebagian lahan ditinggalkan atau diterlantarkan (Las *et al.* 2012; Masganti 2013; Wahyunto *et al.* 2013).

Lahan gambut selain dikenal sebagai penghasil komoditas tanaman pangan, dan tanaman perkebunan juga dikenal sebagai penyedia produk tanaman hortikultura (Masganti dan Yuliani 2009; Masganti 2013; Masganti *et al.* 2015). Meski belum lama dikembangkan sebagai pemasok tanaman hortikultura, akan tetapi beberapa daerah atau kawasan gambut seperti

Bereng Bengkel di Kalimantan Tengah, dan Rasau Jaya di Kalimantan Barat telah menjadi sentra produksi atau pemasok sayuran di wilayah tersebut.

Tanaman hortikultura yang berkembang di lahan gambut antaranya: (a) tanaman buah terdiri dari nanas, pisang, pepaya, jeruk, semangka, melon, rambutan, dan nangka, (b) sayuran buah terdiri dari tomat, cabai, mentimun, pare, kubis, terong, bawang merah, kacang panjang, dan kool, dan (c) sayuran daun berupa kangkung, bayam, caisin, sawi, dan selada (Masganti dan Yuliani 2009; Masganti 2013; Masganti *et al.* 2015).

Peningkatan produksi tanaman hortikultura di lahan gambut perlu terus didukung karena: (a) tersedianya lahan gambut yang luas, (b) sumber pendapatan baru petani yang menjanjikan, (c) tersedianya pasar, dan (d) dinamika harga di pasaran, terutama bawang merah dan cabai merah. Peningkatan produksi tanaman hortikultura khususnya tanaman buah dan sayuran di lahan gambut dilakukan melalui teknologi peningkatan produksi antaranya pengelolaan air, penataan lahan, pemilihan komoditas, penataan tanaman, pengaturan pola tanam, amelorasi, pemupukan, dan pengendalian OPT.

Produksi Hortikultura Indonesia

Tanaman hortikultura merupakan komoditas andalan petani dan pemerintah Republik Indonesia karena merupakan sumber pangan, sumber pendapatan dan sumber devisa negara melalui ekspor sayuran dan buah-buahan (BPS 2016). Secara umum tanaman hortikultura terdiri dari 3 (tiga) jenis tanaman, yakni: (1) tanaman buah, (2) tanaman sayuran, dan (3) tanaman hias.

Total produksi buah Indonesia pada tahun 2015 mencapai 17.756.618 ton yang berasal dari 22 komoditas. Secara umum produksi buah-buahan Indonesia pada tahun 2015 mengalami peningkatan dibanding tahun 2014. Lima komoditas unggulan buah tahunan dengan produksi tinggi yakni pisang, mangga, jeruk, nanas, dan durian (BPS, 2016). Sentra produksi pisang terdapat di Provinsi Lampung, Jatim, dan Jabar. Sentra produksi mangga terdapat di pulau Jawa yakni Provinsi Jatim, Jateng dan Jabar. Buah jeruk banyak dihasilkan dari Provinsi Sumut, Jatim, dan Kalbar, sedang provinsi penghasil nanas terbesar adalah Lampung, Sumut, dan Jateng. Pada tahun 2015, durian banyak dihasilkan dari Provinsi Jatim, Jabar, dan Jateng.

Produksi buah-buahan Indonesia pada tahun 2015 sebanyak 20 komoditas diekspor ke manca negara, khususnya ke Thailand, Malaysia, dan Hongkong. Total nilai ekspor mencapai 35,98 juta US\$. Angka ini bernilai penting bagi petani hortikultura, khususnya buah-buahan tahunan. Perbaikan teknologi, terutama dalam mengantisipasi iklim ekstrem menjadi sangat penting. Fluktuasi produksi, terutama penurunan produksi salah satunya disebabkan petani tidak mempunyai pengetahuan yang cukup untuk mengatasi gangguan iklim, sehingga sebagian tanaman tidak berbuah. Hasil pengamatan di lapang beberapa kabupaten yang menjadi sentra produksi durian dan duku (langsar) di Kalsel mengalami penurunan produksi yang cukup drastis akibat deraan iklim.

Seperti halnya dengan buah-buahan, pada tahun 2015 produksi sayuran Indonesia mengalami peningkatan dibandingkan produksi pada tahun 2014 (BPS 2016). Tiga jenis sayuran utama yang mengalami peningkatan produksi terbesar adalah petai (13,13%), jengkol (9,37%), dan melinjo (7,78%). Akan tetapi luas pertanaman ketiga jenis sayuran tersebut masih tergolong rendah. Oleh karena itu untuk memenuhi permintaan pasar yang tinggi, perlu dilakukan ekstensifikasi karena teknik budidaya ketiga jenis sayuran tersebut tidak “Rumit” dengan input yang relatif rendah.

Tabel 1. Perbandingan produksi komoditas utama tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan Indonesia tahun 2014 dan 2015

No.	Jenis Tanaman	Produksi (ton)		Pertumbuhan (%)
		2014	2015	
1.	Pisang	6.862.567	7.299.275	6,36
2.	Mangga	2.431.329	2.178.833	-10,39
3.	Jeruk Siam/Keprok	1.785.264	1.744.833	-2,29
4.	Nanas	1.835.490	1.729.603	-5,77
5.	Durian	859.127	995.735	15,90
6.	Petai	230.406	261.063	13,31
7.	Melinjo	197.648	213.025	7,78
8.	Jengkol	53.661	58.691	9,37

Sumber: BPS (2016)

Produksi tanaman petai pada tahun 2015 dipasok dari 5 (lima) provinsi utama yang menyumbang 84,93% yakni Jateng, Jabar dan Jatim, masing-masing 27,86%; 25,22% dan 23,75% dari total produksi 261.063 ton. Tanaman jengkol tidak tumbuh merata di Indonesia. Pulau Sumatera merupakan penghasil jengkol terbesar, tetapi provinsi penghasil jengkol

terbanyak terdapat di Jabar (18,63%), Lampung (15,22%), dan Jateng (8,65%) dari total produksi 58.691 ton. Sedangkan total produksi melinjo pada tahun 2015 mencapai 213.025 ton yang dihasilkan dari Provinsi Jabar (44.483 ton), Jateng (42.303 ton), dan Banten (28.520 ton). Perbandingan produksi 8 (delapan) komoditas utama tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan Indonesia tahun 2014 dan 2015 disajikan dalam Tabel 1.

Potensi Lahan Gambut untuk Budidaya Hortikultura

Lahan gambut sangat potensial dikembangkan sebagai sentra produksi hortikultura (Mulyani *et al.* 2011; Lestari *et al.* 2013). Wahyunto *et al.* (2014) dan Ritung *et al.* (2015) memperkirakan luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14,95 juta hektare yang tersebar luas di Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua, dan sebagian kecil di Pulau Sulawesi, Maluku, dan Jawa. Akan tetapi sampai saat ini, kontroversi atau prokontra pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian masih terjadi terkait dengan pemanfaatan untuk pertanian dan perhatian terhadap lingkungan (Agus dan Subiksa 2008; Agus *et al.* 2013).

Petani telah cukup lama membudidayakan tanaman hortikultura di lahan gambut (Masganti dan Yuliani 2009; Masganti 2013; Masganti *et al.* 2015). Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa komoditas hortikultura dibudidayakan petani di 3 (tiga) kelas kedalaman gambut, yakni gambut dangkal (50-100 cm), gambut sedang (101-200 cm), dan gambut dalam (201-400 cm), dan juga banyak dibudidayakan di lahan bergambut (kedalaman <50 cm). Diantara ketiga kelas kedalaman gambut tersebut, potensi gambut dangkal paling luas, diikuti gambut sedang dan terendah gambut dalam (Ritung *et al.* 2011). Angka ini bersifat dinamik karena adanya perubahan kelas kedalaman gambut akibat kebakaran lahan dan pembukaan lahan baru (Masganti *et al.* 2015; 2017; Noor 2017).

Berdasarkan data luas lahan gambut menurut ketebalannya, maka dari tiga pulau besar (Sumatera, Kalimantan, dan Papua) tersedia lahan seluas 11.920.203 ha (Ritung *et al.* 2011). Jika diasumsikan bahwa dari luas tersebut, 10% sesuai untuk budidaya tanaman hortikultura, maka tersedia lahan seluas 1,2 juta hektar untuk peningkatan produksi tanaman hortikultura.

Tabel 2. Luas lahan gambut di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua berdasarkan kedalamannya

Pulau	Kedalaman gambut (cm)				Total (ha)
	50-100	101-200	201-400	>400	
Sumatera	1.767.303	1.707.827	1.242.959	1.718.560	6.436.649
Kalimantan	1.048.611	1.389.813	1.072.769	1.266.811	4.778.004
Papua	2.425.523	817.651	447.747	-	3.690.921
Total	5.241.437	3.915.291	2.763.475	2.985.371	14.905.574

Sumber: Ritung *et al* (2011)

Pemanfaatan lahan gambut untuk peningkatan produksi tanaman hortikultura berkompetisi dengan kelapa sawit. Pertumbuhan kelapa sawit Indonesia selama tiga dekade terakhir mengalami pertambahan yang sangat signifikan (Dirjenbun 2017). Bahkan diperkirakan perkebunan kelapa sawit telah menggunakan sekitar 4,0-4,5 juta hektare lahan gambut (Masganti dan Susilawati 2018). Untuk itu diperlukan perencanaan pembangunan pertanian yang terintegrasi, tanpa menghambat pertumbuhan komoditas lainnya.

Kendala Pengembangan Hortikultura di Lahan Gambut

Potensi lahan gambut sebagai media tumbuh tanaman hortikultura sangat luas. Diperkirakan luas lahan gambut yang dimanfaatkan untuk budidaya tanaman hortikultura sekitar 50.000-60.000 ha atau baru sekitar 5% dari potensi yang tersedia. Kendala pengembangan tanaman hortikultura di lahan gambut antara lain: (a) sifat kimia tanah, (b) sifat fisika tanah, dan (c) sifat biologi tanah (Wiratmoko *et al.* 2008; Hartatik *et al.* 2011; Sabiham dan Sukarman 2012).

Sifat Kimia Tanah

Tanah gambut dikenal sebagai tanah dengan tingkat kemasaman tinggi karena tersusun dari asam-asam organik hasil pelapukan bahan organik yang terus menerus, dan buruknya kondisi drainase. Potensi pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian berkorelasi positif dengan tingkat kematangan gambut. Semakin matang gambut, maka semakin tinggi potensinya (Masganti 2013; Mulyani dan Sarwani 2013). Oleh karena itu pemanfaatan lahan gambut memerlukan input kapur, bahan amelioran atau pembenah tanah yang lebih banyak dari tanah mineral (Dariah *et al.* 2015; Hartatik *et al.* 2015).

Tingkat kemasaman gambut yang tinggi menyebabkan ketersediaan hara menjadi terbatas, tetapi unsur-unsur toksik bisa tersedia dalam jumlah yang tinggi (Maftu'ah *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2014), sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. N-total tersedia dalam jumlah yang sangat bervariasi dari rendah-sangat tinggi, tetapi N tidak tersedia semua bagi tanaman. Kadar P dalam tanah gambut juga bervariasi, dari kategori sangat rendah hingga tinggi, akan tetapi tanah gambut juga dilaporkan mempunyai kemampuan memegang/menyimpan P yang rendah, sehingga efisiensi dan efektivitas pemupukan menjadi rendah dan memerlukan pupuk P yang lebih banyak (Masganti 2013; Hartatik *et al.* 2015). Kemampuan tanah gambut menyerap P berkaitan dengan rendahnya kadar unsur-unsur basa dalam tanah gambut (Masganti 2013).

Kemampuan tanah gambut mempertukarkan kation (KTK) lebih tinggi dari tanah mineral karena bahan tanah gambut tersusun dari komponen yang berukuran koloid yang menyebabkan luas permukaan kontakannya lebih luas, sehingga kemampuannya mempertukarkan kation lebih besar (Hartatik *et al.* 2011; Sabiham dan Sukarman 2012).

Kendala pengembangan lahan gambut sebagai sentra tanaman hortikultura berkaitan dengan sifat kimia tanah adalah ketersediaan hara mikro, terutama Cu, B dan Zn yang tergolong rendah (Wiratmoko *et al.* 2008; Hartatik *et al.* 2011). Hal ini disebabkan terbentuknya senyawa organik-metalik yang menyebabkan hara mikro menjadi tidak tersedia. Oleh karena itu untuk memperoleh produktivitas tanaman hortikultura yang tinggi, ketiga unsur tersebut ditambahkan (Lestari *et al.* 2013).

Sifat Fisika Tanah

Gambut mempunyai kemampuan spektakuler memegang air, berbagai hasil penelitian menginformasikan bahwa gambut mampu memegang air 5-30 kali beratnya (Utami *et al.* 2009; Masganti 2012). Sifat ini sangat penting untuk menjadikan kawasan gambut sebagai kawasan penyimpanan air. Akan tetapi jika terjadi kebakaran atau pengeringan yang berlebihan, sifat tersebut berkurang secara drastis. Dalam kondisi demikian gambut menjadi sulit untuk dibasahi, sehingga pemupukan tanaman menjadi tidak efisien dan tidak efektif (Masganti 2013).

Analisis kimia gambut yang hidrofobik menyebabkan hasil analisis menjadi bias, karena permukaan koloid gambut tidak bisa atau sedikit

saja yang bereaksi dengan larutan pengestrak P, sehingga kadar P yang terbaca oleh spektrofotometer tidak menggambarkan keadaan atau kadar sebenarnya. Begitu juga dengan nilai DHL dan pH. Gambut yang dianalisis dalam kondisi hidrofobik menghasilkan nilai kadar P-tersedia dan DHL yang lebih rendah, tetapi pH lebih tinggi (Masganti 2013).

Sifat fisika berikutnya yang menjadi kendala pengembangan lahan gambut sebagai media tumbuh tanaman hortikultura adalah berat volume (BV) atau *bulk density*. Tingkat dekomposisi bahan organik menentukan nilai BV, umumnya semakin tinggi tingkat dekomposisi semakin tinggi nilai BV (Hartatik *et al.* 2011). Tanah gambut yang mempunyai BV rendah, pengolahan tanah sulit dilakukan secara mekanis karena kemampuan menumpu (*bearing capacity*) gambut yang rendah. Budidaya tanaman hortikultura jenis buah-buahan memerlukan perlakuan khusus agar perkembangan akarnya tidak terganggu, misalnya melalui pembuatan lubang ganda dalam persiapan lubang tanam (Nursyamsi *et al.* 2014).

Tanah gambut dikenal sebagai tanah yang mempunyai porositas yang tinggi (Wiratmoko *et al.* 2008; Hartatik *et al.* 2011; Nurhayati *et al.* 2014). Porositas berkaitan dengan kemampuan menahan air. Semakin tinggi porositas, maka semakin tinggi kemampuan gambut menahan air. Kondisi ini biasanya ditemukan pada gambut dengan tingkat dekomposisi paling rendah (fibrik). Porositas juga berkaitan dengan kedalaman gambut, semakin dalam gambut semakin tinggi porositasnya.

Laju subsidensi atau penurunan permukaan gambut merupakan daftar kendala berikutnya dalam pemanfaatan lahan gambut untuk budidaya hortikultura. Kondisi ini biasanya dipicu oleh drainase yang berlebihan, sehingga volume ruang oksidasi menjadi lebih luas dan menyebabkan laju dekomposisi lebih cepat (Hoijer *et al.* 2012; Husnain *et al.* 2014). Keadaan ini menyebabkan emisi GRK menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu harus diciptakan kondisi dimana kecepatan dekomposisi diperlambat agar emisi GRK lebih rendah.

Sifat Biologi

Gambut berperan ganda dalam ekosistem, yakni mengontrol hidrologi lingkungan melalui kemampuannya yang spektakuler dalam menyerap air, sehingga pada musim hujan tidak terjadi banjir dan pada musim kemarau tidak terjadi kekeringan (Nursyamsi *et al.* 2014; Masganti *et*

al. 2015). Ketersediaan air dalam lingkungan menjadi faktor pembatas berkembangnya suatu mikroorganisme (Melling *et al.* 2013). Gambut juga berperan dalam mengontrol kualitas lingkungan.

Ketersediaan hara dalam gambut harus melalui proses degradasi senyawa-senyawa yang sulit seperti lignin melalui aktivitas mikroorganisme (Manucharova 2009; Melling *et al.* 2013; Roslan *et al.* 2015). Kehidupan mikroba tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ekologi dan proses biokimia dalam tanah (Lestari dan Mukhlis 2017). Mikroba berperan penting dalam siklus hara terutama C, N, P, dan S, sehingga mempengaruhi ketersediaan hara, dan merupakan bagian penting dalam keseimbangan biologi (Istina *et al.* 2015). Dominasi suatu spesies atau jenis mikroba tertentu akan memengaruhi keseimbangan biologi dan proses-proses biologi tanah.

Beberapa jenis mikroba yang biasa ditemukan di lahan gambut antaranya (a) mikroba perombak bahan organik (Roslan *et al.* 2015), (b) bakteri penambat nitrogen (Sahoo dan Dahl 2009), (c) mikroba pelarut fosfat (Panhwar *et al.* 2014; Istina *et al.* 2015), (d) bakteri pereduksi sulfat, (e) bakteri pengoksidasi besi, dan (f) bakteri pengoksidasi pirit. Kondisi lingkungan gambut akan mempengaruhi populasi, keragaman, pertumbuhan dan aktivitas mikroba.

Kendala yang dihadapi berkaitan dengan sifat biologi tanah gambut dalam pengembangan tanaman hortikultura adalah rendahnya populasi mikroba (Hadi *et al.* 2012; Aislabie dan Dellipe 2013). Terbatasnya populasi tersebut menyebabkan kemampuan mikroba melarutkan P (Panhwar *et al.* 2014; Istina *et al.* 2015) atau menambat N (Sahoo dan Dahl, 2009) menjadi rendah. Beberapa hasil penelitian juga menunjukkan bahwa keragaman mikroba di lahan gambut lebih rendah dari tanah mineral (Sahoo dan Dahl 2009; Nannipieri *et al.* 2017). Selain itu juga dilaporkan bahwa kecepatan pertumbuhan mikroba di lahan gambut lebih lambat dan aktivitasnya lebih terbatas akibat kondisi reduktif yang lebih dominan (Ferrando dan Tallera 2009).

Teknologi Peningkatan Produksi Hortikultura di Lahan Gambut

Peningkatan produksi hortikultura di lahan gambut dihadapkan pada berbagai tantangan, baik sifat inheren lahan tersebut maupun

faktor eksternal. Untuk itu diperlukan teknologi produksi yang efisien dan efektif (Adimihardja *et al.* 2008). Peningkatan produksi hortikultura harus didukung oleh teknologi pengelolaan air, penataan lahan, pemilihan komoditas, penataan tanaman, pengaturan pola tanam, amelorasi, pemupukan, dan pengendalian OPT.

1. Pengelolaan Air

Ketersediaan air menjadi salah satu kunci utama keberhasilan dalam budidaya tanaman hortikultura di lahan gambut (Masganti 2013; Masganti *et al.* 2015). Air merupakan penggerak utama berbagai kegiatan utama seperti fotosintesis dan respirasi. Oleh karena itu untuk memperoleh produksi tanaman yang maksimal, diperlukan pengelolaan air yang tepat. Pengelolaan air harus mampu menjamin ketersediaan air sesuai dengan kebutuhan tanaman pada setiap fase pertumbuhan.

Pengelolaan air dalam budidaya tanaman hortikultura berfungsi ganda, selain menjamin kebutuhan air tanaman juga menjaga kondisi aerasi bagi mikroorganisme, mengendalikan reaksi kimia tanah dan perkembangan perakaran tanaman, dan mengendalikan emisi GRK (Maswar *et al.* 2011; Masganti *et al.* 2015).

Pengelolaan air yang dimaksudkan dalam tulisan ini adalah pengelolaan di tingkat tersier atau lahan. Pengelolaan air untuk tanaman hortikultura tergantung dari jenis dan varietas tanaman, volume perakaran, fase pertumbuhan, dan musim. Ketersediaan air akan ditentukan oleh dimensi saluran yang dibuat, yakni lebar dan kedalaman. Semakin lebar saluran yang dibuat, maka semakin jauh posisi air dengan permukaan tanah atau akar tanaman.

Tabel 3. Pengelolaan air untuk tanaman hortikultura di lahan gambut

No.	Jenis Tanaman Hortikultura	Dimensi Saluran (cm)		Ketinggian air (cm)
		Lebar	Kedalaman	
A. Tanaman Buah				
1.	Nanas	30-70	60-120	-(50-100)
2.	Pisang	30-60	40-80	-(30-60)
3.	Pepaya	30-50	45-75	-(30-60)
4.	Jeruk	30-50	60-80	-(40-60)
5.	Semangka	30-50	30-60	-(20-40)
6.	Melon	30-50	30-60	-(20-40)
B. Tanaman Sayuran Buah				
1.	Tomat	25-40	30-70	-(20-50)
2.	Cabai	25-40	30-70	-(20-40)
3.	Mentimun	25-40	30-60	-(20-40)
4.	Pare	25-50	30-60	-(15-40)
C. Tanaman Sayuran Daun				
1.	Kangkung	20-30	30-50	-(10-30)
2.	Bayam	20-40	30-60	-(15-40)
3.	Caisin	20-40	30-50	-(15-30)
4.	Sawi	20-40	30-50	-(20-40)

Sumber: Masganti *et al* (2015)

Tanaman buah mempunyai jenis perakaran yang lebih luas dan dalam, sehingga kemampuan memanen air lebih banyak dari tanaman hortikultura lain. Selain itu, tanaman buah juga berproduksi atau dipanen dalam rentang waktu yang lebih panjang. Hasil pengamatan lapang Masganti *et al* (2015) menyimpulkan bahwa petani hortikultura di lahan gambut menggunakan dimensi saluran dengan lebar 30-70 cm, kedalaman 30-120 cm dan menjaga ketinggian air 20-100 cm dari permukaan tanah. Akan tetapi terdapat perbedaan dimensi saluran untuk setiap tanaman (Tabel 3). Hasil penelitian Bahrin *et al* (2014) menunjukkan bahwa pengairan separuh daerah akar meningkatkan pertumbuhan daun dan memperbaiki kualitas hasil jeruk Siompu.

Tanaman sayuran buah seperti tomat, cabai, mentimun, dan pare memerlukan jumlah air yang lebih sedikit dari tanaman buah karena kemampuan akarnya memanen air lebih rendah. Tabel 3 menjelaskan bahwa untuk sayuran buah disarankan menggunakan dimensi saluran 25-50 cm untuk lebar, 30-70 cm kedalamannya dan menjaga ketinggian air 15-50 cm dari permukaan tanah.

Tanaman sayuran daun adalah tanaman yang dipanen lebih cepat dan mempunyai luas dan volume jangkauan perakaran yang lebih rendah dari kedua jenis tanaman hortikultura di atas, sehingga kemampuan memanen airnya lebih rendah. Oleh karena itu diperlukan dimensi saluran yang lebih menjamin tersedianya air melalui pengaturan lebar saluran yang lebih sempit, kedalaman saluran dan ketinggian air yang lebih rendah. Pengelolaan air untuk tanaman sayuran daun disarankan menggunakan lebar saluran 20-40 cm, kedalaman 30-60 cm dan ketinggian 10-40 cm dari permukaan tanah.

Masalah pengelolaan air biasanya terjadi pada musim hujan dan musim kemarau. Pada musim hujan terjadi banjir, sehingga tanaman rentan terhadap OPT. Oleh karena itu perlu dibuat saluran-saluran kecil untuk mengeluarkan kelebihan air yang ada dalam petakan. Kekurangan air pada musim kemarau dapat diatasi dengan penyiraman menggunakan pompa dan sumur bor. Kekeringan yang panjang memicu terjadinya dekomposisi dan subsidensi yang intensif, sehingga menghasilkan emisi GRK yang tinggi.

2. Penataan Lahan

Keberhasilan pengembangan tanaman hortikultura di lahan gambut salah satunya didukung oleh penataan lahan (Masganti 2013). Penataan lahan merupakan langkah untuk memanipulasi kondisi lingkungan tanaman agar tumbuh dengan baik. Tanaman yang memerlukan air lebih banyak diletakkan di bagian yang lebih rendah, sementara tanaman yang perakarannya tidak memerlukan kondisi tergenang diletakkan di bagian yang lebih tinggi. Cara ini yang digunakan oleh H. Idak, Tokoh Tani Kalsel, sehingga lahan gambut menjadi produktif dan lestari.

Penataan lahan harus disesuaikan dengan tipe luapan dan jenis tanaman yang akan dibudidayakan. Selain itu penataan lahan juga harus memperhatikan aspek pasar, kelestarian kesuburan tanah, dan lingkungan. Penataan lahan di lahan gambut dapat berupa sawah, surjan, tegalan, tukung atau kombinasinya, sehingga pada daerah produksi dapat dikembangkan berbagai komoditas.

3. Pemilihan Komoditas

Meskipun manipulasi lingkungan berhasil membuat tanaman tumbuh dengan baik di lahan gambut, tetapi untuk kelestarian usahatani tersebut

perlu dilakukan analisis ekonomi, sehingga dapat ditetapkan komoditas utama. Pertimbangan komoditas yang dipilih antaranya beradaptasi baik, tersedia teknologi produksi, tersedia modal untuk menerapkan teknologi tersebut, adanya dukungan kelembagaan seperti pasar, dan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang rendah.

Pemilihan komoditas juga harus mempertimbangkan varietas dan lama tanaman berada di lapangan. Oleh karena itu kesesuaian tanaman dan teknologi dengan tipe luapan juga menjadi pertimbangan dasar dalam menentukan komoditas yang dikembangkan. Pertimbangan lain adalah tingkat kebutuhan hara tanaman.

4. Penataan Tanaman

Teknologi yang tidak kalah penting adalah penataan tanaman untuk memaksimalkan penggunaan lahan. Penataan tanaman menyangkut komoditas apa yang ditanam di bagian surjan, tabukan, tukungan, dan tegalan. Penataan tanaman tidak hanya bermakna jenis tanaman apa yang ditanam dan di mana ditanamnya, tetapi juga bermakna kapan tanaman tersebut dibudidayakan dan berapa jumlahnya karena teknologi ini juga mempertimbangkan daya serap pasar.

5. Pengaturan Pola Tanam

Pola tanam merupakan pengaturan jenis tanaman, varietas, dan waktu dalam satu sistem budidaya selama satu tahun. Pengaturan pola tanam di lahan gambut bertujuan untuk mempertahankan kesuburan tanah, dinamika kimia dan biologi serta menekan emisi GRK. Pola tanam juga harus mempertimbangkan cara tanam, selera pasar dan jumlah yang diproduksi selama kurun waktu tertentu.

Beberapa peneliti melaporkan bahwa pemilihan varietas dan jenis tanaman yang tepat, menurunkan GRK dan meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemupukan, sekaligus meningkatkan pendapatan petani. Populasi tanaman yang lebih rapat dan sistem perakaran yang berbeda dalam tumpangsari menjadikan tanaman lebih efisien memanfaatkan hara, termasuk residu pupuk (Masganti *et al.* 2014; Nurhayati *et al.* 2014).

6. Ameliorasi

Tanah gambut dilaporkan mempunyai kendala berkaitan dengan sifat-sifat inheren dalam tanah seperti kesuburan tanah, daya dukung fisik, dan aktivitas mikroorganisme. Pengembangan tanaman hortikultura di lahan gambut harus didukung oleh sifat-sifat yang baik, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah perbaikan kondisi lingkungan tumbuh tanaman. Untuk itu beberapa peneliti menyarankan perlunya ameliorasi atau pemberian pembenah tanah (Maftu'ah *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2014; Dariah *et al.* 2015). Ameliorasi meningkatkan produksi tanaman hortikultura di lahan gambut (Alwi *et al.* 2006; Koesrini *et al.* 2014; Bancin *et al.* 2016).

Ameliorasi dalam pengembangan tanaman hortikultura di lahan gambut adalah pemberian bahan antaranya kapur, dolomit, pupuk kandang ke dalam tanah untuk memperbaiki sifat-sifat tanah atau lingkungan tumbuh tanaman agar diperoleh pertumbuhan dan produktivitas yang maksimal. Tabel 4, 5, dan 6 menginformasikan jenis amelioran dan jumlah yang diberikan untuk perbaikan lingkungan tumbuh tanaman di lahan gambut.

Tanaman nanas dan pisang merupakan tanaman buah yang sudah beradaptasi luas di lahan gambut (Alwi *et al.* 2006). Bahkan jika tanaman lain tidak mampu berkembang dan berproduksi baik, tanaman ini masih mampu menghasilkan (Noor, 2007), sehingga petani tidak melakukan ameliorasi dan pemupukan untuk kedua jenis tanaman ini.

Tabel 4. Ameliorasi tanaman buah di lahan gambut

No.	Jenis tanaman buah	Dosis amelioran (kg/ha)		
		Kapur	Dolomit	Pupuk kandang
1.	Nanas	0	0	0
2.	Pisang	0	0	0
3.	Pepaya	0	2.000	2.000
4.	Jeruk	0	400	12.000
5.	Semangka	0	0	32.000
6.	Melon	0	0	22.500
7.	Rambutan	0	500	30.000
8.	Nangka	160	80	3.200

Sumber: Alwi *et al.* (2006)

Tanaman sayuran buah memerlukan ameliorasi untuk mendukung pertumbuhan yang baik. Tabel 5 memperlihatkan bahwa petani umumnya melakukan ameliorasi menggunakan dolomit dan pupuk kandang (Alwi *et al.* 2006). Menurut Masganti *et al.* (2014), ada beberapa alasan petani menggunakan bahan ini karena (1) pupuk kandang lebih tersedia dibanding kapur dan dolomit, (2) khasiat pupuk kandang dalam meningkatkan produktivitas lebih baik dan mempunyai efek residu, dan (3) dolomit lebih dipilih petani karena membawa unsur Ca dan Mg yang ketersediaannya tergolong rendah dalam tanah gambut (Hartatik *et al.* 2011; Maftu'ah *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2014).

Tabel 5. Ameliorasi tanaman sayuran buah di lahan gambut

No.	Jenis tanaman sayuran buah	Dosis amelioran (kg/ha)		
		Kapur	Dolomit	Pupuk kandang
1.	Tomat	0	2.000	5.000
2.	Cabai	0	2.000	5.000
3.	Mentimun	0	2.000	5.000
4.	Pare	-	-	-
5.	Kubis	0	2.000	15.000
6.	Terong	0	2.000	5.000
7.	Bawang Merah	0	1.000	5.000
8.	Kacang Panjang	0	2.000	5.000

Sumber: Alwi *et al.* (2006)

Tabel 6. Ameliorasi tanaman sayuran daun di lahan gambut

No.	Jenis tanaman sayuran daun	Dosis amelioran (kg/ha)		
		Kapur	Dolomit	Pupuk kandang
1.	Kangkung	1.000	-	5.000
2.	Bayam	1.000	-	5.000
3.	Caisin	1.000	-	5.000
4.	Sawi	1.000	-	5.000
5.	Selada	1.000	-	5.000

Sumber: Irwandi dan Siahaan (2005)

Menurut Irwandi dan Siahaan (2005), ameliorasi tanaman sayuran daun di lahan gambut umumnya menggunakan kapur dan pupuk kandang masing-masing 1,0 dan 5,0 ton/ha. Jumlah ini sudah cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Umumnya tanaman sayuran daun dipanen dalam waktu yang relatif singkat, sehingga memerlukan bahan amelioran yang lebih sedikit.

7. Pemupukan

Tingkat kemasaman tanah gambut yang tinggi menyebabkan ketersediaan hara, terutama unsur N, P, dan K menjadi rendah (Hartatik *et al.* 2011; Maftu'ah *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2014). Oleh karena itu untuk meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura diperlukan input ketiga unsur tersebut melalui pemupukan. Tabel 7 menjelaskan jumlah pupuk N, P, dan K yang diperlukan untuk tanaman hortikultura di lahan gambut.

Diantara tanaman buah semusim, jeruk, pisang, nanas dan melon memerlukan pemupukan yang lebih banyak (Tabel 7). Jumlah pemupukan yang diperlukan oleh tanaman ditentukan oleh (1) ketersediaan hara dalam tanah, (2) jenis tanaman yang dibudidayakan, dan (3) efisiensi pemupukan.

Tabel 7. Pemupukan N, P, dan K tanaman buah di lahan gambut

No.	Jenis tanaman buah	Dosis pupuk (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Nanas	135	90	240-
2.	Pisang	207	138	608
3.	Pepaya	15	15	15
4.	Jeruk	316	222	63
5.	Semangka	45	45	45
6.	Melon	112,5	162	150
7.	Rambutan	45	22,5	125
8.	Nangka	15	15	15

Sumber: Alwi *et al.* (2006)

Tanaman sayuran yang memerlukan jumlah pupuk yang lebih banyak yakni bawang merah, terong, kubis, dan tomat, sedangkan pare, kacang panjang, dan mentimun relatif sedikit.

Tabel 8. Pemupukan N, P, dan K tanaman sayuran buah di lahan gambut

No.	Jenis tanaman sayuran buah	Dosis pupuk (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Tomat	67,5	112,5	120
2.	Cabai	45	90	60
3.	Mentimun	54	54	60
4.	Pare	20	40,5	54
5.	Kubis	112,5	90	60
6.	Terong	135	112,5	120
7.	Bawang Merah	170	72	60
8.	Kacang Panjang	45	45	60

Sumber: Alwi *et al.* (2006)

Tanaman sayuran daun memerlukan jumlah pupuk relatif sedikit dibandingkan tanaman buah dan tanaman sayuran buah (Tabel 9). Hal ini disebabkan umurnya yang lebih singkat dan efisiensi pemupukan lebih baik.

Tabel 9. Pemupukan N, P, dan K tanaman sayuran daun di lahan gambut

No.	Jenis tanaman sayuran daun	Dosis pupuk (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Kangkung	45	45	60
2.	Bayam	90	90	60
3.	Caisin	90	90	60
4.	Sawi	90	90	60
5.	Selada	60	60	60

Sumber: Irwandi dan Siahaan (2005)

8. Pengendalian OPT

Salah satu masalah yang dihadapi dalam budidaya tanaman hortikultura di lahan gambut adalah OPT yang terdiri dari hama dan penyakit. Pengendalian dapat dilakukan melalui 4 (empat) cara yakni: (a) teknik budidaya, (b) fisik/mekanik, (c) biologi dan (d) kimia (Alwi *et al.* 2006; Purbiati 2012; Lestari *et al.* 2013). Tabel berikut menginformasikan metode pengendalian hama utama dan penyakit utama beberapa tanaman hortikultura di lahan gambut.

Hama utama tanaman hortikultura di lahan gambut umumnya adalah ulat, kutu, trips, lembing, kepik, dan oteng-oteng. Pengendalian dapat dilakukan melalui: (1) teknik budidaya dengan tumpangsari, penggunaan varietas tahan, pengaturan drainase, pergiliran tanaman, dan penanaman serempak, (2) fisik/mekanik melalui penggunaan perangkap tanaman, perangkap feromon sex, perangkap kuning, perangkap metil euginol, dan pengambilan telur hama, (3) biologi menggunakan parasitoid, predator, biopestisida, insektisida nikroba, dan konservasi musuh alami, dan (4) kimiawi menggunakan insektisida piretroid sintetik seperti Sipermetrin, Deltametrin, dan Deltametrin (Tabel 10).

Penyakit utama yang menjadi kendala pengembangan hortikultura di lahan gambut adalah penyakit layu bakteri, busuk polong, busuk buah, antraknosa, embun tepung, dan virus mosaik tembakau. Pengendalian dapat dilakukan dengan berbagai cara, yakni: (a) teknik budidaya melalui penggunaan varietas adaptif, perlakuan benih, pengaturan jarak tanam,

tumpangsari, penggunaan mulsa, pengaturan drainase, pemupukan berimbang, dan sanitasi lingkungan, (b) secara fisik/mekanik melalui pemangkasan bagian tanaman yang terserang dan eradikasi, (c) secara biologi dengan penggunaan biopestisida dengan bahan aktif tanaman sesuai dengan jenis penyakitnya, dan (d) cara kimiawi menggunakan fungisida sistemik maksimal 3 (tiga) kali per musim (Supriadi 2011).

Tabel 10. Metode pengendalian hama utama beberapa tanaman hortikultura di lahan gambut

No.	Jenis tanaman	Hama Utama	Teknik budidaya	Metode Pengendalian		
				Fisik/mekanik	Biologi	Kimiawi
1.	Tomat	1. Ulat buah 2. Ulat grayak	Tumpangsari cabai + tomat + kubis bunga	Perangkap tanaman Perangkap feromonoid seks	Parasitoid Predator Biopestisida	Piretroid sintetik: Sipermetrin, Deltametrin IGR : Klorfuazuron
2.	Cabai	1. Trips, 2. Kutu kebul 3. Kutu daun 4. Lalat buah	Penggunaan varietas tahan, Tumpangsari dengan kubis	Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Konservasi musuh alami Penggunaan biopestisida	Penggunaan Insektisida
3.	Mentimun	1. Lalat buah 2. Kutu daun 3. Ulat Grayak 4. Flutella	-	Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Konservasi musuh alami Penggunaan biopestisida	Penggunaan Insektisida
4.	Pare	1. Ulat Grayak 2. Lembing/ lembing 3. Lalat buah	-	Pengambilan telur hama Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Konservasi musuh alami Penggunaan biopestisida	Penggunaan Insektisida
5.	Kubis/Kool	1. Flutella 2. Ulat grayak	Tumpang sari dengan selasih	Pengambilan telur hama Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Konservasi musuh alami Penggunaan biopestisida	Penggunaan Insektisida

No.	Jenis tanaman	Hama Utama	Teknik budidaya	Metode Pengendalian		
				Fisik/mekanik	Biologi	Kimiawi
6.	Bawang Merah	1. Ulat grayak 2. Ulat jengkal	Menggunakan varietas tahan Pengaturan drainase	Pengambilan telur hama Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Penggunaan musuh alami	Penggunaan Insektisida
7.	Kacang panjang	1. Kutu daun 2. Ulat grayak 3. Pengerek polong	Pergiliran tanaman Penanaman serempak	Pengambilan telur hama Penggunaan perangkap kuning Penggunaan perangkap Metil Eugenol	Konservasi musuh alami Penggunaan biopestisida	Penggunaan Insektisida

Sumber: Budiman dan Muhlis (2006); Kristanto *et al* (2013)

Penutup

Lahan gambut sangat potensial dijadikan sebagai sentra pengembangan tanaman hortikultura. Tanaman hortikultura yang berkembang di lahan gambut antaranya: (a) tanaman buah terdiri dari nanas, pisang, pepaya, jeruk, semangka, melon, rambutan, dan nangka; (b) sayuran buah terdiri dari tomat, cabai, mentimun, pare, kubis, terong, bawang merah, dan kacang panjang; dan (c) sayuran daun terdiri dari kangkung, bayam, caisin, sawi, dan selada.

Pemanfaatan lahan gambut sebagai media tumbuh tanaman hortikultura dihadapkan pada kesuburan tanah yang rendah, sifat fisik dan biologi yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Akan tetapi di beberapa lokasi lahan gambut, tanaman hortikultura berkembang dan mempunyai prospek ekonomi yang baik.

Pemanfaatan lahan gambut sebagai media budidaya tanaman hortikultura perlu terus ditingkatkan melalui dukungan teknologi peningkatan produksi antaranya pengelolaan air, penataan lahan, pemilihan komoditas, penataan tanaman, pengaturan pola tanam, amelorasi, pemupukan, dan pengendalian OPT.

Daftar Pustaka

- Adimihardja, A., A. Dariah, dan A. Mulyani. 2008. Teknologi dan strategi mendukung pengadaan pangan nasional. *Jurnal Penelitian Badan Litbang Pertanian* 27(2):434-49.
- Agus, F., dan I. G. M. Subiksa. 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Agus, F., A. Dariah, dan A. Jamil. 2013. Kontroversi pengembangan perkebunan sawit pada lahan gambut. Hlm. 454-473. *Dalam Haryono et al. (Eds.). Politik Pengembangan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD, Jakarta.
- Alwi, M., M. Noor, dan Y. Lestari. 2006. Budidaya sayur-sayuran di lahan gambut. Hlm: 39-56. *Dalam Noor et al. (Eds.). Budidaya Sayur-sayuran di Lahan Rawa*. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian.
- Aislabie, J. and J. R. Dellipe. 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. In: Dymond, J. R. (ed). *Ecosystem services in New Zealand-condition and trends*. Manasaki Whemna Press, Lincoln, New Zealand.
- Bahrin, A., A. Wahab, dan Umarsul. 2014. Pengaruh pengairan separuh daerah akar terhadap pertumbuhan daun dan kualitas hasil jeruk Siompu. *Jurnal Hortikultura* 24(4):299-306.
- Bancin, R.R., Murniati, dan Idwar. 2016. Pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* l.) di lahan gambut yang diberi amelioran dan pupuk nitrogen. *JOM FAPERTA*.
- BPS. 2016. *Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Indonesia Tahun 2015*. BPS. Jakarta. 99 hlm.
- Budiman, A. dan Muhlis. 2006. Penyakit penting sayur-sayuran di lahan rawa pasang surut dan cara-cara pengendaliannya. Hlm. 87-105. *Dalam: Noor et al. (Eds.). Budidaya Sayur-sayuran di Lahan Rawa*. Balai Besar Sumber Daya Lahan Rawa.
- Dariah, A., S. Sutono, N. L. Nurida, W. Hartatik, dan E. Pratiwi. 2015. Pembenah tanah untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2):67-84.
- Dirjenbun. 2017. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017:Kelapa Sawit *Dalam Herawati, D. D., dan Y. Arianto (Eds.). Sekretariat Dirjen Perkebunan, Dirjen Perkebunan, Kemtan. Jakarta. 69 hlm.*
- Irwandi, D., dan M. Siahaan. 2004. *Anjuran Teknologi Tanaman Pangan & Hortikultura di Lahan Pasang Surut*. BPTP Kalteng. Pangkaraya, 15 halaman.

- Ferrando, L. and S. Tarlera. 2009. Activity and diversity of metanotrophs in the soil-water interface and rhizospheric soil from a flooded temperate rice field. The Society for Applied Microbiology, *Journal of Microbiology* 106:306-316.
- Hadi, A., L. Fatah, D. N. Affandi, R. A. Bakar and K. Inubushi. 2012. Population and genetic diversities of bacteria related to nitrous oxide and methane in peat soils of south Kalimantan, Indonesia. *Malaysian Journal of Soil Science* 16:121-135.
- Hartatik, W, I.G.M. Subiksa, dan Ai Dariah. 2011. Sifat kimia dan fisika lahan gambut. Hlm. 45-56 Dalam Neneng *et al.* (Eds.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Hartatik, W., Husnain, dan L. R. Widowati. 2015. Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *J. Sumberdaya Lahan* (2):107-120.
- Hooijer, A., S. E. Page, J. Jauhiainen, W. Lee, Idris, and G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences* 9:1053–1071.
- Husnain, H., I. G. P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, and F. Agus. 2014. CO₂ emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang* 19:845–862.
- Istina, I. N., H. W. Widiastuti, B. Joy and M. Antralina. 2015. Phosphate Solubilizing Microbe from Saprist Peat Soils and their potency to enhance oil palm growth and P uptake. *Procedia Food Science* 3:426-435.
- Koesrini, E. William dan D. Nursyamsi. 2014. Application of lime and adaptable variety to increase tomato productivity at potential acid sulphate soil. *Journal of Tropical Soil* 19(2):69-76.
- Kristanto S. .P, Sutjipto, dan Soekarto. 2013. Pengendalian hama pada tanaman kubis dengan sistem tanam tumpangsari. *Berkala Ilmiah Pertanian* 1(1): 7-9.
- Las, I., M. Sarwani, A. Mulyani, dan M. F. Saragih. 2012. Dilema dan rasionalisasi kebijakan pemanfaatan lahan gambut untuk areal pertanian. Hlm.17-29. Dalam Husen *et al.* (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Lestari, Y., Y. Raihana, dan S. Saragih. 2013. Teknologi budidaya hortikultura di Lahan Gambut. Hlm. 117-148. Dalam Noor *et al.* (Eds.). *Lahan Gambut: Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian*. Kanisius, Yogyakarta.

- Lestari, Y., dan Mukhlis. 2017. Mikroba potensial pada ekosistem lahan rawa. Hlm. 288-310. *Dalam Masganti et al. (Eds.). Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Maftu'ah, E., M. Noor, W. Hartatik, dan D. Nursyamsi. 2014. Pengelolaan dan Produktivitas Lahan Gambut untuk berbagai Komoditas Tanaman. Hlm. 97-118 *Dalam Wihardjaka et al. (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Balitbangtan, Kemtan.
- Manucharova, N. A. 2009. The microbial destruction of chitin, pectin and cellulose in soils. *Eurasians Soil science* 42(15):1526-1532.
- Masganti dan N. Yuliani. 2009. Arah dan strategi pemanfaatan lahan gambut di Kota Palangkaraya. *Agripura* 4(2):558-571.
- Masganti. 2012. Sample preparation for peat material analysis. Hlm.179-184. *Dalam Husein et al. (Eds.). Prosiding Workshop on Sustainable Management Lowland for Rice Production*.
- Masganti. 2013. Teknologi inovatif pengelolaan lahan suboptimal gambut dan sulfat masam untuk peningkatan produksi tanaman pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(4):187-197.
- Masganti, I. G. M. Subiksa, Nurhayati, dan W. Syafitri. 2014. Respon tanaman tumpangsari (sawit+nanas) terhadap ameliorasi dan pemupukan di lahan gambut terdegradasi. Hlm. 117-132. *Dalam Wihardjaka et al. (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Balitbangtan, Kemtan.
- Masganti, M. Alwi, dan Nurhayati. 2015. Pengelolaan air untuk budidaya pertanian di lahan gambut: kasus Riau. Hlm. 62-87. *Dalam Noor, M. et al. (Eds.). Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: Optimasi Lahan Mendukung Swasembada Pangan*. IAARD Press, Badan Litbang, Jakarta.
- Masganti, E. Maftu'ah, dan N. Wakhid. 2017. Degradasi lahan gambut. Hlm. 439-469. *Dalam Masganti et al. (Eds.). Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Masganti dan A. Susilawati. 2018. Remediasi Lahan Gambut Terdegradasi untuk Meningkatkan Produksi Kelapa Sawit. (Bagian dari buku bunga rampai Inovasi Teknologi Lahan Rawa:Mendukung Kedaulatan Pangan, 20 hlm, belum terbit).
- Maswar, O. Haridjaja, S. Sabiham, dan M. van Noordwijk. 2011. Kehilangan karbon pada berbagai tipe penggunaan lahan gambut tropika yang didrainase. *Jurnal Tanah dan Iklim* 34:13-25.

- Melling, L., C. S. Yun Tan, K. J. Goh, and R. Hatano. 2013. Soil microbial and root respirations from three ecosystems in tropical peatland of sarawak, Malaysia. *J. Oil Palm Res* 25:44–57.
- Mulyani, A., S. Ritung, dan I. Las. 2011. Potensi dan ketersediaan sumberdaya lahan untuk mendukung ketahanan pangan. *J. Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 30(2):73-80.
- Mulyani, A., dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan potensi lahan suboptimal untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 7(1):47-55.
- Nannipieri, P., J. Ascher, M. T. Ceccherini, L. Landi, G. Pietramellara and G. Renella. 2017. Microbial diversity and soil function. *European Journal of Soil Science* 68:1-26.
- Noor, M. 2017. *Kebakaran Lahan Gambut: dari Asap sampai Kanalisasi*. Penerbit Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Nurhayati, S. Saputra, A. D. Putra, I. N. Istiana, dan A. Jamil. 2014. Pengelolaan kesuburan tanah, produktivitas, dan keuntungan sistem tumpangsari (kelapa sawit + Nanas) di lahan gambut Provinsi Riau. Hlm.133-145. *Dalam Wihardjaka et al. (Eds.). Prosiding Seminar Nasional: Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftu'ah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorginayuwati, dan Y. Rina. 2014. Buku *Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 68 hlm.
- Panhwar, Q. A., U. A. Naher, U. A. Naher S. Jusop, , R. Othman, M. A. Latif and M. R. Ismail. 2014. Biochemical and molecular characterization of potential phosphate-solubilizing bacteria in acid sulfate soils and their beneficial effects on rice growth. *Plos One* (Issue 10):1-14.
- Purbiati, T. 2012. Potensi bawang merah di lahan gambut. *J. Litbang Pert.* 31(3):1133-118.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. 85 hlm.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2015. *Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press. 100 hlm.

- Roslan, M. A. M., N. A. Amirudin, Z. A. Z. Abidin and S. M. Omar. 2015. Isolation of bacteria from the acidic peat swamp forest soil and their lignin degradation potential. *Jurnal Teknologi (Science & Engineering)* 77(24):77-81.
- Sabiham, S. dan Sukarman. 2012. Pengelolaan lahan gambut untuk pengembangan kelapa sawit. Hlm. 1-17 *Dalam* Husen *et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Sahoo, K and N. K. Dahl. 2009. Potential microbial diversity in mangrove ecosystems: A review. *Indian Journal of Marine Science* 38(2):249-256.
- Supriadi. 2011. Penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*): dampak, bioekologi, dan peranan teknologi pengendaliannya. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 4(4):279-293.
- Suriadikarta, D. A. 2012. Teknologi pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. *Jurnal Sumberdaya lahan Pertanian* 6(2):197-211.
- Utami, S. N. H., A. Maas, B. Radjagukguk, dan B. H. Purwanto. 2009. Sifat fisik, kimia dan FTIR Spektrofotometri gambut hidrofobik Kalimantan Tengah. *Jurnal Tanah Tropika* 12(2):159-166.
- Wahyunto, Ai Dariah, D. Pitono, dan M. Sarwani. 2013. Prospek pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit di Indonesia. *Perspektif* 12(1):11-22.
- Wahyunto, K. Nugroho, S. Ritung, dan Y. Sulaiman. 2014. Indonesian peatland map: method, certainty, and uses. Hlm. 81-96 *Dalam* Wihardjaka *et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Balitbangtan, Kemtan.
- Wiratmoko, D. Winarna, S. Rahutomo dan H. Santoso. 2008. Karakteristik gambut topogen dan ombrogen di Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara untuk budidaya tanaman kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 16(3):119-126.

KEARIFAN LOKAL DALAM PENGELOLAAN LAHAN GAMBUT UNTUK PERTANIAN

Muhammad Alwi dan Yanti Rina

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet Loktabat Utara, Banjarbaru Utara,
Banjarbaru 70712, Tlp.085287386319, E-mail: alwi_62@yahoo.co.id

Ringkasan

Luas lahan gambut di Indonesia sekitar 14,91 juta ha, yang dimanfaatkan untuk pertanian tanaman pangan (padi dan palawija) dan hortikultura seluas 2,5 juta ha dan untuk tanaman perkebunan (karet, kelapa, cokelat, kelapa sawit) sekitar 1,5-2,0 juta ha. Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian tanaman pangan sudah berlangsung sejak lama dan berkembang pesat saat pemerintah melaksanakan program nasional transmigrasi dari Pulau Jawa dan Bali yang padat penduduk ke Pulau Kalimantan, Sumatera, Sulawesi dan Papua yang jarang penduduknya. Upaya reklamasi lahan gambut harus berwawasan konservasi agar terjadi keseimbangan antara aspek manfaat dan lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan lahan gambut harus menjaga keseimbangan antara kawasan non budidaya untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan kawasan budidaya untuk diambil manfaatnya. Pemanfaatan kawasan budidaya hendaknya berdasarkan pada kesesuaian lahan, sedangkan penerapan teknologi hendaknya mengikuti konsep konservasi lahan yaitu upaya mengurangi terjadinya subsiden. Pengembangan usahatani di lahan rawa gambut menghadapi banyak kendala antara lain: (1) ketinggian genangan atau muka air tanah yang sukar dikendalikan, (2) lapisan pirit dangkal di bawah lapisan gambut, (3) lapisan gambut tebal dan bersifat mentah, (4) intrusi air laut, (5) infrastruktur pendukung yang kurang mendukung atau terbatas, dan (6) kondisi sosial ekonomi dan investasi petani terhadap lahan yang terbatas. Penggalan kearifan lokal petani dalam pemanfaatan lahan gambut penting dilakukan untuk memperkaya inovasi teknologi pengembangan lahan gambut. Pengalaman petani mengelola lahan gambut

untuk pertanian sudah dimulai secara tradisional oleh penduduk asli dan disusul oleh petani transmigran spontan seperti suku Banjar di Kalimantan Selatan dan Tengah; suku Melayu di Kalimantan Barat; suku Bugis, suku Banjar dan suku Melayu di Sumatera; dan suku Cina di Kalimantan Barat. Kearifan lokal dalam pengelolaan lahan gambut dilakukan petani umumnya dalam bentuk pengelolaan air, penyiapan lahan dan pengelolaan hara serta tanaman. Teknologi pengelolaan air yang dilakukan petani sejak dulu adalah pembuatan parit yang dilengkapi dengan tabat dengan jarak tertentu. Hal ini dimaksudkan agar lahan tidak kebanjiran pada musim hujan dan tidak kekeringan pada musim kemarau. Sedang penyiapan lahan dititik-beratkan pada pengolahan tanah secara minimum, agar tidak mengganggu lapisan pirit dibawahnya, terutama tanah sulfat masam yang memiliki lapisan pirit dangkal. Kemudian pengelolaan hara dan tanaman lebih ditekankan pada pemanfaatan bahan organik insitu sebagai sumber hara dan pemanfaatan tanaman yang adaptif dengan kondisi lahan. Penerapan teknologi pengelolaan lahan gambut berdasarkan kearifan lokal petani dapat menjaga keseimbangan ekosistem lahan gambut.

Pendahuluan

Indonesia dalam sepuluh tahun ke depan menghadapi ledakan penduduk dan konversi lahan yang pesat sehingga dapat mengakibatkan terjadinya krisis pangan. Jumlah populasi penduduk Indonesia pada tahun 2030 mencapai 350 juta jiwa dan laju pertumbuhan penduduk diperkirakan 250-300 ribu jiwa/tahun. Sementara laju konversi lahan dari pertanian menjadi non pertanian seperti pemukiman, jalan, gedung, dan industri antara 50-100 ribu ha/tahun. Berdasarkan kondisi di atas, untuk mengimbangi laju pertumbuhan penduduk dan konversi lahan, maka diperlukan perluasan areal, khususnya tanaman pangan antara 100-120 ribu ha/tahun (Kementan 2014).

Luas lahan gambut di Indonesia ditaksir mencapai 14.905.574 hektar yang tersebar di Sumatera 6,44 juta ha (43%), di Kalimantan 4,78 juta ha (32%) dan di Papua 3,69 juta ha (25%). Sebagian besar atau sekitar 11 juta ha lahan gambut berada di daerah rawa pasang surut dan sisanya sekitar 3,9 juta ha berada di rawa lebak dan pantai. Berdasarkan ketebalannya, sekitar 5,24 juta ha (35%) termasuk gambut dangkal (ketebalan 0.5-1,0 m), 3,91 juta ha (26%) gambut sedang (ketebalan 1-2 m), 2,76 juta ha (19%) gambut dalam (ketebalan 2-4 m) dan 2,98 juta ha (20%) gambut sangat dalam (ketebalan >4 m) (Ritung *et al.* 2012).

Lahan gambut merupakan lahan yang sangat potensial dikembangkan sebagai lahan pertanian, baik untuk tanaman perkebunan, tanaman pangan maupun tanaman hortikultura namun produktivitasnya masih tergolong rendah (Suriadikarta 2012). Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian sudah dimulai secara tradisional oleh penduduk asli dan transmigran spontan seperti suku Banjar di Kalimantan Selatan dan Tengah; suku Melayu dan Cina di Kalimantan Barat; serta suku Bugis, suku Banjar dan suku Melayu di Sumatera (Noorginayuwati *et al.* 2010). Kendala utama dalam memanfaatkan lahan gambut untuk pertanian adalah sifat lahan gambut yang tidak subur, rapuh, mudah amblas, dan sumber emisi gas rumah kaca (GRK). Oleh karena itu, komponen teknologi yang diterapkan untuk mengurangi terjadinya degradasi lahan antarlain: penerapan pengelolaan air, tanah, tanaman yang tepat sesuai dengan karakteristik lahan gambut. Pengelolaan air harus disesuaikan dengan kedalaman air tanah optimum untuk tanaman yang diusahakan. Ameliorasi dan pemupukan tanah diarahkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kesuburan tanah. Sedangkan pengelolaan tanaman lebih dititikberatkan pada penggunaan tanaman dan varietas adaptif yang bernilai ekonomis.

Uraian berikut mengemukakan tentang pengelolaan lahan gambut melalui pendekatan kearifan lokal dalam penerapan teknologi pengelolaan air, penyiapan lahan dan pengelolaan hara tanah. Kearifan lokal merupakan upaya masyarakat setempat berdasarkan pengalaman dan pengetahuan yang diwariskan secara turun temurun dalam memanfaatkan lahan gambut untuk pertanian.

Karakteristik Tanah Gambut

Lahan gambut di Indonesia sangat luas sekitar 14,90 juta ha (Ritung *et al.* 2012). Lahan gambut terletak pada ekosistem rawa pantai, rawa pasang surut, dan rawa lebak yang umumnya dicirikan oleh kondisi tergenang hampir sepanjang tahun. Kondisi ini didukung oleh curah hujan tahunan 3.000-4.000 mm selama 7-10 bulan basah (curah hujan >200 mm/bulan), topografi yang hampir datar, elevasi pada ketinggian di bawah permukaan laut, dan bentuk mikrorelief yang berupa cekungan.

Pembukaan lahan gambut untuk pengembangan pertanian, termasuk perkebunan, secara langsung akan mengubah kondisi lahan sejalan dengan reklamasi dan drainase. Upaya pemanfaatan lahan gambut di

Indonesia selalu menimbulkan kontroversi (Sabiham 2007). Pihak yang setuju berpendapat bahwa gambut layak dikembangkan sebagai lahan pertanian karena potensi dan prospektifnya. Sementara pihak yang kontra berpendapat bahwa lahan gambut, apabila dibuka akan menjadi rusak dan akan ada banyak masalah-masalah yang muncul kemudian, baik teknis, sosial, ekonomi maupun lingkungan. Munculnya kontroversi pendapat di atas disebabkan oleh adanya kepentingan yang saling berhadapan antara pengembangan dengan konsevasi lahan.

Lahan bergambut (<50 cm) dan gambut dangkal (50-100 cm) cocok untuk budidaya tanaman pangan (padi dan palawija), gambut sedang (1-2 m) cocok untuk hortikultura, gambut dalam (<4 m) dapat dimanfaatkan untuk perkebunan, selebihnya berupa gambut sangat dalam (>4 m) diarahkan untuk menjadi kawasan konservasi (Hartatik dan Suriadikarta 2006). Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian sering menimbulkan permasalahan terkait dengan tingkat kesuburannya yang rendah dan biofisik lahan yang rapuh. Namun apabila dikelola dengan baik dan bijak, lahan gambut dapat memberikan hasil tanaman yang baik bahkan dapat mencapai produktivitas yang tidak kalah dengan tanah mineral (Najiyati *et al.* 2005). Tingkat pemahaman terhadap ekologi lahan gambut dirasakan masih terbatas baik ditingkat masyarakat petani maupun ditingkat pelaksana teknis pada lembaga atau institusi pemerintah, sehingga pemanfaatan dan pengelolaan lahan gambut untuk pengembangan pertanian kurang memperhatikan gambut sebagai sumberdaya lahan yang rapuh.

Berdasarkan sistem pemanfaatan dan pengelolaan pertanian lahan gambut dapat dipilah menjadi dua sistem pertanian, yaitu: (1) sistem persawahan dan tanaman semusim yang intensif dan (2) sistem tegalan atau kebun yang semi intensif. Pengembangan pertanian di lahan gambut perlu memperhatikan faktor biofisik dan sosial ekonomi yang saling terkait satu sama lain. Faktor biofisik meliputi bidang sumber daya lahan sebagai media tumbuh tanaman, ternak, hama penyakit, iklim serta sarana dan prasarana pendukungnya. Faktor sosial ekonomi meliputi bidang sumberdaya manusia sebagai aktor perubahan dalam hal ini petani (Suriadikarta 2012).

Tanah gambut sebagai media pertumbuhan tanaman memiliki kendala sangat beragam dari tingkat ringan sampai berat. Berdasarkan kelas kesesuaian lahan termasuk ke dalam kelas sesuai bersyarat dari ringan sampai berat dan sebagian tidak sesuai bagi pertanian. Tingkat

kepekaan tanah gambut sangat tinggi, dalam pemanfaatan yang intensif atau pembukaan lahan yang kurang hati-hati sering menimbulkan berbagai masalah antara lain: (1) secara fisik tanah mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*), kering tidak balik (*irreversible drying*), dan menolak air (*hidrofobik*), (2) secara kimia terjadi pemasaman (pH 2-3), peningkatan kadar-kadar toksis terutama asam-asam organik. Tanah gambut mempunyai status hara rendah, khususnya pada lahan gambut yang dimanfaatkan secara intensif untuk budidaya tanaman semusim (Radjaguguk 2000).

Lahan gambut di daerah tropika terbentuk dari bahan tumbuhan berkayu seperti batang pohon, ranting, dan akar yang masih menunjukkan kondisi tumbuhan aslinya. Sifat fisika yang khas pada tanah gambut adalah kemampuannya untuk menyimpan air yang sangat besar (200-1.000%) berat atau 50-90% volume (Andriesse 1988). Kemampuan tanah gambut menyimpan air sangat dipengaruhi oleh tingkat dekomposisinya atau kematangannya dan kedalaman muka air tanah (Rieley *et al.* 1996). Hasil penelitian Nurrudin *et al* (2006) menunjukkan bahwa kadar air gambut meningkat seiring dengan peningkatan kedalamannya dari permukaan tanah (kedalaman 0 cm, 50 cm dan 100 cm) masing-masing (577%, 891% dan 1.070%). Hasil penelitian Hastuti (1995) pada tanah gambut dari Rawa Pening, Jawa Tengah menunjukkan bahwa air yang tidak dapat tersedia mencapai rata-rata 50,4% volume untuk tanah gambut yang dimampatkan pada tekanan 5 kPa. Secara umum dianggap tanah gambut memegang air sangat besar, tetapi sebenarnya hanya sebagian kecil air tersedia bagi tumbuhan dan sebagian besar sisanya berupa air gravitasi dan air yang ditahan sangat kuat oleh partikel-partikel organik gambut (Uomori dan Yamaguchi 1997).

Berat volume (BV) gambut dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti derajat dekomposisi, kadar air, kandungan mineral dan tipe penggunaan lahan (Kurnain 2005). Berat volume gambut fibrik sekitar $<0,1 \text{ kg dm}^{-3}$, gambut hemik antara 0,1 sampai $<0,2 \text{ kg dm}^{-3}$ dan gambut saprik antara 0,2 hingga $0,3 \text{ kg dm}^{-3}$. Berat volume tanah gambut tropis berkisar ($0,3$ sampai $0,8 \text{ kg dm}^{-3}$) (Cheesman *et al.* 2012). Porositas total tanah gambut berkisar antara 70 sampai 95%. Porositas dan distribusi ukuran pori menentukan kemampuan tanah gambut dalam mengikat air. Peningkatan tingkat dekomposisi akan menurunkan ukuran partikel gambut sehingga semakin luas permukaannya, hal ini akan meningkatkan daya kohesi, konsekuensinya ruang pori akan menjadi lebih sedikit. Sebagai contoh,

tanah gambut fibrik dapat memiliki porositas total lebih dari 95%, dan tanah gambut saprik kurang dari 80% (Nugroho dan Widodo 2001).

Ekosistem gambut sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologisnya, menurut Schumann dan Joosten (2008) fluktuasi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap ekosistem gambut. Turunnya muka air tanah menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman karena mempercepat laju mineralisasi dan berpotensi meningkatkan ketersediaan hara. Namun kondisi ini dapat menyebabkan gambut menjadi kering tak balik (*Irreversible drying*). Sebaliknya kondisi lingkungan yang jenuh air berdampak positif bagi tanah gambut tetapi tidak menguntungkan untuk pertumbuhan tanaman. Sifat kimia tanah gambut memiliki pola yang beragam, salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah ketebalan lapisan gambut. Wüst *et al* (2002) menyatakan bahwa pada gambut ombrogen tebal (9,6 m), kadar hara di lapisan atas (100-150 cm) lebih tinggi daripada lapisan di bawahnya. Kandungan P, K, Ca, Mg, Si dan Na lebih tinggi pada lapisan atas (50–80 cm) dibandingkan lapisan bawahnya. Amaleviciute *et al* (2015) menyatakan kandungan hara yang lebih tinggi pada lapisan atas dibandingkan lapisan di bawah, karena berhubungan dengan gradient intensitas mineralisasi secara vertikal. Tingginya kandungan hara pada lapisan atas adalah gambaran proses mineralisasi yang lebih intensif. Tanah gambut tropika umumnya memiliki tingkat kesuburan yang rendah, ditandai dengan pH rendah (masam), ketersediaan sejumlah unsur hara makro (Ca, K, Mg, P) dan mikro (Cu, Zn, Mn, dan B) yang rendah, mengandung asam-asam organik tinggi.

Kapasitas tukar kation (KTK) pada tanah gambut sangat tinggi berkisar antara 100-300 me 100g⁻¹ berdasarkan berat kering mutlak (Hartatik dan Suriadikarta, 2006). Tingginya nilai KTK tersebut disebabkan oleh muatan negatif tergantung pH yang sebagian besar berasal dari gugus karboksilat dan fenolat. Kapasitas Tekar Kation (KTK) tanah gambut tergolong tinggi, tetapi kejenuhan basa (KB) rendah sehingga menyebabkan pH rendah dan pupuk yang diberikan kurang efektif (Masganti *et al.* 2003).

Kesuburan tanah gambut juga tergantung pada tipologi lahan gambut. Gambut yang dijumpai di lahan rawa pasang surut berbeda sifatnya dengan yang berada di lahan rawa lebak. Gambut di lahan rawa lebak umumnya lebih subur karena pH tanah lebih tinggi, kandungan C-organik lebih rendah, konsentrasi basa-basa (Ca, Mg, dan K) lebih tinggi (Noor 2007).

Pada lahan rawa lebak, tidak terjadi aliran unsur-unsur hara ke luar sistem akibat fisiografi lahan rawa lebak yang berupa cekungan. Selain itu, di lahan rawa lebak terjadi pengkayaan unsur hara akibat proses pengendapan saat banjir (terluapi air) yang terjadi secara berkala. Kondisi ini menyebabkan kesuburan tanah gambut di lahan rawa lebak lebih baik dibanding dengan gambut di lahan rawa pasang surut.

Di lapang, khususnya di Kalimantan Selatan pemanfaatan lahan gambut untuk tanaman semusim menggunakan sistem pengelolaan bahan organik yang disebut dengan sistem *tajak puntal hambur*, pemberian abu dan pupuk kandang. Keadaan ini merupakan respon petani terhadap kondisi lahan rawa yang memiliki keterbatasan dalam hal penyediaan pupuk (harga pupuk mahal) sebagian petani tidak lagi memberikan pupuk pada lahan usaha taninya sesuai anjuran, sebagian hanya memupuk dengan pupuk N (urea) saja, sebagian N dan P, tanpa pupuk K. Kondisi ini dapat menimbulkan penurunan produksi biomassa atau hasil panen dan memacu degradasi lahan (Noor 2012).

Persepsi Petani Tentang Lahan Gambut

Persepsi adalah gambaran yang ada dalam pikiran seseorang mengenai suatu objek atau informasi yang diterimanya. Persepsi setiap orang terhadap suatu objek yang sama, bisa berbeda-beda. Persepsi seseorang dipengaruhi oleh faktor personal dan situasional. Suatu inovasi teknologi akan diadopsi apabila pengguna mempunyai persepsi yang baik terhadap inovasi teknologi tersebut (Rina *et al.* 2007).

Persepsi petani tentang lahan gambut dapat diukur dengan mengembangkan beberapa pertanyaan tentang tahu tidaknya petani mengenai lahan gambut. Hasil penelitian Noorginayuwati *et al.* (2006) menunjukkan bahwa petani di Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah mempunyai persepsi yang baik tentang lahan gambut, tanaman yang diusahakan, dan permasalahan serta cara-cara mengatasinya. Pemahaman petani ini berhubungan erat dengan rata-rata umur petani yang >50 tahun. Semakin tua umur petani, semakin banyak pengalaman mereka dalam mengamati dan mengusahakan lahan gambut. Petani Melayu di Riau menyebut lahan gambut sebagai lahan *payo* dan mempunyai persepsi sebagai lahan alternatif. Mereka umumnya tidak mempunyai klasifikasi yang rumit mengenai lahan gambut. Hanya terdapat dua pembagian

untuk lahan bergambut, yaitu: (1) lahan yang lapisan gambutnya tebal dan (2) lahan yang lapisan gambutnya tipis. Petani Banjar dan Bugis yang bermigrasi ke Riau mempunyai pengalaman empiris dalam berinteraksi dengan lahan gambut sehingga tidak mengherankan mereka mempunyai pengetahuan mengenai ciri-ciri lahan gambut yang dapat diusahakan untuk usahatani. Petani Banjar dan Bugis yang banyak membuka lahan gambut untuk usahatani mengatakan bahwa lahan gambut sebagai tanah bergambut. Penduduk asli umumnya hanya akan memanfaatkan lahan bergambut apabila lahan bertanah mineral sudah tidak tersedia lagi untuk perluasan lahan usahatani.

Petani Dayak di Kalimantan jarang sekali memanfaatkan lahan gambut untuk kegiatan pertanian dan perladangan. Sedangkan petani Melayu, Bugis, dan Banjar yang umumnya mendiami muara sungai berinteraksi dengan lahan gambut lebih intensif. Petani Tionghoa di Kalimantan Barat, juga petani Banjar dan Bugis di Sumatera adalah perintis pemanfaatan lahan gambut yang kemudian diikuti dan diadopsi oleh petani Jawa dan Bali.

Petani di Mamuju, Sulawesi Barat yang mengelola lahan gambut umumnya pendatang generasi pertama dan kedua yang berinteraksi dengan lahan gambut di daerah ini (Noorginayuwati *et al.* 2009). Penduduk asli Sulawesi Barat juga menganggap bahwa lahan gambut sebagai lahan marjinal yang baru dimanfaatkan apabila lahan bertanah mineral yang tersedia mulai terbatas. Petani di Mamuju, Sulawesi Barat beranggapan lahan gambut sesuai untuk semua jenis tanaman, kecuali kakao. Meskipun interaksi mereka dengan lahan gambut relatif singkat namun petani telah memahami karakteristik lahan gambut. Mereka telah berupaya melakukan penyesuaian dan memberi perlakuan tertentu agar lahan gambut dapat dimanfaatkan sebagai lahan pertanian, seperti: penataan lahan, pemilihan komoditas dan mengembangkan kearifan lokal yang spesifik. Petani juga menyadari bahwa pengeringan yang terus-menerus dan pemanfaatan lahan secara intensif tanpa memberi bahan organik dapat mengakibatkan subsiden dan penurunan tingkat kesuburan lahan.

Petani yang mengelola lahan gambut di Sulawesi Barat pada umumnya adalah petani transmigran yang berasal dari Bali, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur yang belum berpengalaman dalam mengelola lahan gambut. Sedangkan petani lokal seperti suku Bugis, Mandar, dan Makassar yang sudah terbiasa mengelola lahan gambut untuk pertanian. Kemampuan petani pendatang dalam beradaptasi dengan lahan gambut

sangat tergantung pada faktor pendorong migrasi mereka ke lokasi yang baru. Petani transmigran yang berasal dari Jawa beranggapan bahwa lahan yang diusahakan sebagai lahan pertanian adalah lahan bertanah mineral.

Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Lahan Gambut

Pengelolaan Air

Pengelolaan air merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian. Kesalahan dalam menerapkan sistem pengelolaan air di lahan gambut akan berdampak terhadap fungsi lahan gambut sebagai penampung air, pencegah kebakaran dan menurunnya muka air tanah yang akan mempercepat laju pemadatan tanah (*subsidence*). Subsiden membuat permukaan lahan menjadi rendah sehingga berpotensi memunculkan lapisan pirit pada tanah tanah sulfat masam atau pasir kuarsa. Sabiham *et al.* (2012) menyatakan bahwa pengelolaan air di tanah gambut pada dasarnya tidak boleh tergenang dalam jangka waktu lama, namun juga tidak boleh kekeringan. Permukaan air tanah harus selalu berada pada batas kedalaman akar tanaman dan kelembapan tanah di bagian permukaan tetap terjaga agar tidak terjadi kekeringan yang berdampak terhadap penurunan muka tanah.

Di Kalimantan Selatan petani lokal telah melakukan pengelolaan air dengan membuat handil (saluran sederhana) yang berfungsi untuk mengatur irigasi, drainase dan konservasi air. Pembuatan handil menurut Noor dan Jumberi (2007) dilakukan secara gotong royong dipimpin oleh seorang tokoh yang disebut Kepala Handil. Handil dibuat menjorok masuk dari pinggir sungai sejauh + 3 km dengan kedalaman 0,5-1,0 m dan lebar 2-3 m. Handil berfungsi untuk memasukkan air ke lahan persawahan pada saat pasang dan mengalirkan air keluar dari persawahan pada saat surut. Kejadian ini berlangsung secara alami dan berulang sehingga kualitas air permukaan di persawahan membaik. Jika kualitas air sudah membaik, maka air ditahan dengan memasang tabat (*dam overflow*) pada handil, selanjutnya aktivitas penyiapan lahan dimulai.

Pemanfaatan lahan gambut di Pontianak Kalimantan Barat menurut Noorginayuwati *et al* (2007) diawali dengan pembuatan parit untuk mengatur air. Menurut petani, pembuatan parit merupakan hal yang penting untuk mengalirkan air keluar dari lahan pertanian. Akibat

pembuatan parit-parit yang rapat dalam rangka memanfaatkan lahan secara intensif, lahan gambut di Rasau Jaya umumnya sudah sangat tipis bahkan telah berubah menjadi lahan *bongkor* dan tidak dapat ditanami. Sebagian lagi masih memiliki lapisan gambut dengan ketebalan hingga 3 m, terutama untuk daerah bukaan baru dan wilayah pemukiman yang dibuat tabat bertingkat. Konservasi lapisan gambut terjadi secara tidak sengaja, penduduk yang mendiami wilayah ini semula membuat tabat-tabat penahan air untuk keperluan mandi dan cuci. Tanpa disadari ternyata, daerah-daerah yang parit pembuangannya (saluran tersier) yang dibuat tabat dapat menahan tinggi muka air tanah, sehingga penyusutan lapisan gambutnya agak terhambat. Pembuatan tabat dari kayu dan tanah dapat menahan air sehingga pada musim kemarau muka air tanah tidak mengalami penurunan drastis, kelembapan tanah tetap terjaga dan terhindar dari kebakaran lahan (Gambar 1). Pembuatan tabat bertingkat dilakukan pada setiap jarak 50-100 m. Selain itu tabat juga berfungsi untuk mempercepat perombakan bahan organik, mencegah terjadinya ekspose lapisan pirit.



Gambar 1. Parit bertingkat untuk menahan air pada musim kemarau

Sumber: Muhammad Alwi

Menurut petani Riau penanaman tanaman di lahan gambut tidak harus disertai dengan pembuatan parit yang banyak. Tergantung pada jenis tanaman yang akan ditanam, banyaknya air dan jenis tanah di bawah lapisan gambutnya. Lahan gambut yang terbentuk di atas tanah liat yang

berwarna putih umumnya tidak mampu menyerap air dengan cepat sehingga memerlukan parit yang lebih banyak. Petani dari etnis Bugis sudah terbiasa membuat parit yang lebar dan lurus, sementara petani dari etnis Banjar atau Melayu membuat paritnya berkelok-kelok melebar dan menyempit. Parit yang lurus dapat mengalirkan air dengan lancar sehingga mudah terjadi drainase berlebih (*overdrain*). Petani suku Jawa dan petani keturunan Cina di Siantan (Kalbar) beranggapan bahwa air gambut pada awal musim hujan merupakan racun bagi tanaman sehingga harus dibuang, namun setelah melampaui puncak curah hujan, air hujan ditahan dengan membuat tabat pada parit. Hal ini dilakukan agar air hujan yang kualitasnya lebih baik dapat dimanfaatkan untuk tanaman. Parit yang dibuat petani di Siantan umumnya berukuran dalam 100 cm dan lebar 50 cm.

Di Kalimantan (Kalimantan Tengah) petani membuat parit dan pintu air untuk mempertahankan ketebalan lapisan gambut di lahan usahatannya. Parit dibuat sedalam 50 cm dan lebar 40 cm di sekeliling lahan dengan ukuran panjang 175 m dan lebar 100 m. Di tengah-tengah lahan dibuat lagi satu saluran cacing (dalam 20 cm dan lebar 20 cm) yang membelah lahan menjadi empat bagian. Parit keliling ini tidak pernah ditutup agar pada saat terjadi hujan lebat secara tiba-tiba lahan tidak tergenang. Penutupan hanya dilakukan pada saluran cacing supaya lahan tidak terlalu kering.

Di Sulawesi Barat lahan gambut yang semula berupa lahan rawa yang digunakan untuk pertanaman padi, produktivitasnya menurun akibat semakin masamnya air permukaan (pH air turun). Kemudian masyarakat mengusulkan untuk membuat saluran guna memperlancar sirkulasi air, namun akhirnya lahan menjadi kering sehingga tidak dapat lagi dimanfaatkan untuk pertanaman padi, akhirnya oleh masyarakat ditanami palawija dan jeruk. Etnis yang mengembangkan jeruk di lahan gambut Sulawesi Barat adalah Suku Jawa, Bali dan Bugis di Kabupaten Mamuju dan Mamuju Utara (Noorginayuwati *et al.* 2010).

Emisi karbon pada tanah gambut dimulai dengan teroksidasinya gambut akibat penurunan muka air tanah dan dekomposisi bahan organik. Penurunan muka air tanah dapat disebabkan oleh adanya aktivitas pembuatan saluran drainase pada saat pembukaan lahan. Aktivitas tersebut menyebabkan perubahan sifat fisik, kimia dan biologi seperti perubahan suhu dan ketersediaan oksigen yang akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi gambut. Fluktuasi muka

air tanah berpengaruh terhadap ketersediaan oksigen tanah, potensial redoks (Eh) dan pH tanah. Nurzakiah *et al.* (2014) melaporkan bahwa pada tinggi muka air antara 49,6 sampai 109,0 cm di bawah permukaan tanah dan fluks CO₂ antara 11,87 sampai 36,75 t ha⁻¹ tahun⁻¹ akan terjadi emisi CO₂ sebesar 0,37 t ha⁻¹ tahun⁻¹ tiap penurunan 1 cm muka air tanah. Nilai tersebut berdasarkan beberapa asumsi yaitu emisi CO₂ hanya terjadi dari lapisan 0 sampai 109 cm, bukan dari lapisan yang lebih dalam dan semua emisi CO₂ yang terukur berasal dari respirasi heterotropik. Hal ini menunjukkan pentingnya pengelolaan air dalam kaitannya dengan potensi emisi CO₂ melalui dekomposisi aerobik.

Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan bertujuan untuk menciptakan kondisi lahan dalam keadaan ideal bagi tanaman agar mempunyai ruang pori makro dan mikro yang seimbang. Penyiapan lahan yang umum dilakukan petani di lahan gambut adalah sistem tebas bakar. Penyiapan lahan untuk bercocok tanam padi tergantung pada jenis padi dan sistem budidayanya (Noor 2010). Pada lahan gambut tipe luapan B dapat dilakukan penyiapan lahan dengan sistem tanam padi sawah, sedangkan pada tipe luapan C dapat ditanami padi gogo, kecuali pada musim hujan dapat ditanami padi sawah (Noor 2007). Beberapa bentuk kearifan lokal dalam teknik penyiapan lahan yang dikembangkan petani di Kalimantan, Riau dan Sulawesi Barat (Tabel 1).

Tabel 1. Cara penyiapan lahan gambut untuk pertanaman padi, palawija dan sayuran

Daerah	Provinsi	Komoditas	Cara Penyiapan Lahan
Serindang, Rasau Jaya Siantan Hulu	Kalbar	padi palawija sayuran	tebas- bakar terkendali tebas-bakar terkendali tebas-bakar terkendali
Kalampangan	Kalteng	sayuran	tebas-bakar terkendali
Sanglar Kuala Sebatu	Riau	padi	tebas-bakar/tebas kukut
Tumbu Selopangkang Sukamaju Tappilina Benggaulu Sarosa	Sulbar	jagung	babat-bakar

Sumber: Noorinayuwati *et al* (2010)

Penyiapan lahan untuk tanaman padi lokal yang dilakukan oleh suku Banjar di Kalimantan Selatan adalah memotong rumput pada bagian akarnya dengan menggunakan tajak hingga ketebalan lapisan olah sekitar 5 cm. Setelah rumput-rumput ditajak kemudian digulung (*dipuntal*) dengan garis tengah antara 30-40 cm. Puntalan tersebut dibiarkan terendam selama satu hingga dua minggu sampai bagian bawahnya membusuk. Setelah bagian bawah puntalan membusuk, dilakukan pembalikan agar bagian atas puntalan juga ikut membusuk. Setelah itu puntalan tersebut dicincang dengan parang dan kemudian disebar merata keseluruh permukaan sawah. Selanjutnya lahan siap untuk ditanami padi lokal. Cara penyiapan lahan seperti ini ternyata dapat memelihara kesuburan tanah gambut di lahan rawa pasang surut. Cara lain yang juga dilakukan petani adalah dengan menajak rumput kemudian ditumpuk di lahan sawah (Gambar 2). Selanjutnya tumpukan rumput tersebut dibiarkan terendam selama dua minggu sampai bagian bawahnya membusuk. Setelah bagian bawah membusuk, dilakukan pembalikan agar bagian atas tumpukan juga ikut membusuk. Setelah tumpukan rumput membusuk sempurna (sekitar empat minggu), selanjutnya disebar merata keseluruh permukaan sawah. Jika waktu dan tenaga petani terbatas, maka rumput hasil tajakan langsung ditarik ke galangan yang berfungsi untuk meninggikan galangan. Cara penyiapan lahan seperti ini banyak dikembangkan oleh petani dari suku Jawa untuk budidaya padi lokal. Sedang penyiapan lahan untuk padi unggul dilakukan melalui tahapan: menajak rumput, rumput dibakar, mencangkul sekali atau dua kali, kemudian lahan siap untuk ditanami.



Gambar 2. Tumpukan-tumpukan rumput yang dibiarkan membusuk di lahan sawah

Sumber: Alwi 2017

Lahan gambut di Kalimantan Tengah (Kalampangan) banyak digunakan untuk penanaman tanaman sayuran (Masganti dan Yuliani 2009).. Tanaman sayuran seperti bayam, kangkung, sawi, tomat, seledri, bawang daun dan jagung manis ditanam pada lahan gambut sedang sampai dalam dengan tipe luapan pasang surut C dan D. Persiapan lahan di sini dilakukan dengan menebas rumput kemudian rumput hasil tebasan dikumpulkan pada suatu tempat untuk dibakar. Abu hasil bakaran dapat dijadikan sebagai pupuk bagi tanaman sayuran.

Di Kalimantan Barat petani di Serindang menggunakan tajak untuk penyiapan lahan pada pertanaman padi. Peralatan tersebut diadopsi dari petani Banjar. Penyiapan lahan yang dilakukan petani Serindang adalah tanpa olah tanah (TOT), mereka hanya menyemprot gulma dengan herbisida, kemudian dirobohkan dengan menggulingkan batang kelapa atau batang pisang. Petani keturunan Cina dan suku Jawa juga mengembangkan tanaman sayuran di lahan gambut Kalimantan Barat. Penyiapan lahan untuk sayuran biasanya dilakukan dengan sistem tebas-bakar terkendali. Mereka mengumpulkan gulma hasil tebasan ke pondok khusus untuk pembakaran agar terhindar dari kebakaran lahan dan penurunan lapisan gambut (Gambar 3).



Gambar 3. Pondok khusus pembakaran hasil tebasan dan gulma pada lahan gambut di Kalimantan Barat

Sumber: Muhammad Alwi

Penyiapan lahan dengan menggunakan traktor sudah banyak dilakukan petani di lahan gambut, khususnya lahan bergambut dan gambut dangkal. Namun di lahan gambut sedang penggunaan traktor mengalami kendala karena sering amblas akibat daya dukung lahan yang sangat rendah. Menurut Chairunas *et al* (2001) penyiapan lahan di lahan gambut dapat dilakukan dengan penebasan rumput-rumput/belukar yang dilakukan dengan menggunakan parang, hasil tebasan dikumpulkan di suatu tempat, kemudian dibakar.

Pengelolaan Hara

Pemanfaatan lahan gambut oleh penduduk lokal merupakan sumber informasi empirik yang perlu digali dan digunakan untuk memperkaya teknologi pengelolaan hara dan tanaman. Pengelolaan hara di lahan gambut dimaksudkan untuk memberikan tambahan hara dari luar agar ketersediaan hara tanah meningkat. Kesuburan lahan gambut bukan terletak pada tanahnya, tetapi pada apa yang diberikan ketanaman yang tumbuh atau dibudidayakan di atasnya (Noor 2010). Untuk meningkatkan kesuburan tanah di lahan gambut, petani menggunakan beberapa bahan amelioran seperti abu (abu bakaran sisa tumbuhan atau abu gergaji), pupuk kandang (sapi atau ayam), dan tepung kepala udang atau ikan. Adapun kandungan hara dari bahan-bahan tersebut seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan hara abu (gambut dan tanaman), abu serbuk gergaji, pupuk kandang sapi, pupuk kandang ayam, tepung kepala udang dan tepung ikan

No.	Uraian	pH	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1	Abu (gambut & tnm)	6,33	1,22	0,012	0,160	0,846	0,480
2	Abu serbuk gergaji	7,28	0,19	0,059	0,430	0,870	0,523
3	Pukand Sapi	4,6	0,26	0,070	0,090	0,140	0,100
4	Pukan ayam	4,8	0,53	1,560	0,100	0,090	0,060
5	Tepung Kep.Udang	7,73	3,08	0,747	0,817	2,405	0,175
6	Tepung Ikan	7,53	2,35	0,570	0,822	0,732	0,125

Sumber: Balittra (2011)

Pemberian bahan amelioran dan pemupukan dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan kemasaman tanah dan rendahnya ketersediaan hara di lahan gambut. Bahan amelioran yang digunakan dapat berupa abu hasil bakaran, lumpur sungai, tanah mineral, terak baja, pupuk kandang dan kapur seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Takaran anjuran bahan amelioran pada lahan gambut

Jenis Amelioran	Dosis (t/ha/tahun)	Manfaat
Kapur	1 – 2	Meningkatkan basa-basa dan pH tanah
Pupuk kandang	5 – 10	Memperkaya hara makro/mikro
Terak baja	2 – 5	Mengurangi kelarutan asam organik dan meningkatkan efisiensi pupuk P
Tanah mineral	10 – 20	Mengurangi kelarutan asam organik dan meningkatkan kadar hara makro/mikro
Abu	10 – 20	Meningkatkan basa-basa dan pH tanah
Lumpur sungai	10 – 20	Mengurangi kelarutan asam organik dan meningkatkan basa-basa

Sumber: Agus dan Subiksa (2008).

Nilai KTK tanah gambut tergolong tinggi, namun demikian daya ikatnya terhadap kation yang dapat dipertukarkan rendah sehingga pemupukan sebaiknya dilakukan beberapa kali dengan dosis rendah agar hara tidak mudah tercuci. Nilai KTK yang tinggi sebenarnya karena dominasi ion H^+ yang tinggi, kation-kation lain pada umumnya rendah. Unsur hara yang perlu ditambahkan dalam bentuk pupuk yaitu N, P, K, Ca, Mg serta sejumlah unsur hara mikro terutama Cu, Zn dan Mo. Berdasarkan hasil penelitian Noor *et al* (2006), kandungan unsur mikro Cu dan Zn di lahan gambut Desa Kanamit, Kecamatan Maluku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah masing-masing adalah 5 ppm dan 12 ppm dan tergolong sangat rendah.

Hasil penelitian Noor *et al* (2009) pada pertanaman padi di lahan gambut menunjukkan bahwa tanah yang telah mengalami pemasaman (pH tanah <4,5) diperlukan kapur sedikitnya 0,5 t/ha/musim. Sedangkan untuk hara P dan K diberikan pupuk P dan K masing-masing 100 kg/ha. Tanah mineral yang mengandung Fe tinggi dapat menurunkan aktivitas asam fenolat. Asam fenolat merupakan salah satu asam organik yang dihasilkan dari biodegradasi anaerob senyawa lignin yang dalam konsentrasi tinggi dapat meracuni tanaman. Hartatik dan Suriadikarta (2006) melaporkan takaran tanah mineral berpirit sebanyak 20% dari bobot tanah gambut dapat meningkatkan hasil tanaman padi tetapi bila campurannya ditingkatkan menjadi 40% menyebabkan penurunan hasil karena meningkatnya bobot gabah yang hampa. Pencampuran tanah mineral berpirit perlu diwaspadai karena dapat berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman akibat meningkatnya Al-dd, H-dd dan SO_4^{2-} .

Pemberian bahan amelioran dapat menurunkan emisi GRK di lahan gambut, tergantung pada jenis gambut, kematangan dan ketebalannya. Emisi CH_4 pada gambut sphagnum antara $2,0\text{--}2,5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \cdot \text{jam}^{-1}$, sedangkan pada gambut kayuan antara $8,0 \pm 1,1$ dan $9,6 \pm 3,0 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \cdot \text{jam}^{-1}$. Hasil penelitian Ariani *et al* (2008) menunjukkan bahwa pemberian dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dapat menekan total emisi CH_4 sekitar 35% dibandingkan dengan terak baja atau zeolit yang hanya dapat menurunkan total emisi masing-masing 29% dan 6,6%. Pemberian dolomit, terak baja dan zeolit, menghasilkan emisi CH_4 masing-masing $493,5 \pm 41,09$; $537,2 \pm 16,88$; dan $695,5 \pm 115,03$ lebih rendah dibandingkan tanpa ameliorasi dengan emisi CH_4 $758,9 \pm 41,12$ (Tabel 4).

Tabel 4. Emisi CH_4 dan hasil padi dengan pemberian bahan amelioran di lahan gambut

Bahan amelioran	Emisi CH_4		Hasil padi (t GKG. ha ⁻¹)
	(kg. ha ⁻¹)	g C. m ⁻²	
Tanpa amelioran	758,9 ± 41,12 a	75,9 ± 4,1	5,2 ± 1,15 a
Dolomit (5 t. ha ⁻¹)	493,5 ± 41,09 c	49,3 ± 4,1	5,2 ± 1,34 a
Zeolit (5 t. ha ⁻¹)	695,5 ± 115,03 ab	69,5 ± 11,5	5,0 ± 0,76 a
Terak baja (5 t. ha ⁻¹)	537,2 ± 16,88 b	53,7 ± 1,7	6,0 ± 0,89 a

Sumber : Ariani *et al* (2008).

Pengembangan Lahan Gambut ke Depan

Pengembangan lahan gambut ke depan hendaknya menerapkan beberapa kunci pokok pengelolaan seperti: (1) aspek legalitas yang mendukung pengelolaan lahan gambut, (2) penataan ruang berdasarkan satuan sistem hidrologi gambut sebagai wilayah fungsional ekosistem gambut, (3) pengelolaan air pada lahan gambut, (4) pendekatan pengembangan berdasarkan karakteristik bahan mineral di bawah lapisan gambut, (5) peningkatan stabilitas dan penurunan sifat toksik bahan gambut, dan (6) pemilihan tanaman yang sesuai dengan karakteristik lahan.

Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 32 tahun 1990 tentang pengelolaan kawasan lindung, secara tegas menyebutkan bahwa kriteria kawasan bergambut sebagai kawasan lindung adalah tanah bergambut dengan ketebalan 3,0 m atau lebih yang terdapat di bagian hulu sungai dan rawa. Sebenarnya dalam menetapkan kawasan lindung untuk lahan gambut tidak hanya ditentukan oleh ketebalan gambut saja. Bahan tanah mineral yang berada di bawah gambut juga perlu mendapat perhatian.

Walaupun gambut tipis ($< 3,0$ m) tetapi jika lapisan di bawah gambut pasir kuarsa, maka kawasan ini sebaiknya dijadikan kawasan lindung. Sedangkan endapan gambut yang terdapat di atas tanah mineral tua dan muda dapat direkomendasikan untuk pertanian tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan, tetapi harus dilakukan secara hati-hati dan bukan pada pusat kubah gambut.

Kawasan gambut dapat berfungsi sebagai penampung, penyimpan air, dan kemudian mendistribusikannya ke daerah yang berada disekitarnya. Oleh karena itu, setiap hamparan gambut dapat dijadikan sebagai wilayah fungsional ekosistem gambut yang berfungsi sebagai pengendali banjir, pencegah kekeringan, dan sebagai penyangga untuk terjadinya intrusi air laut. Selain itu sistem jaringan drainase harus didesain secara hati-hati dengan memperhatikan karakteristik ekosistem gambut.

Penutup

Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian sudah dimulai secara tradisional oleh penduduk asli dan transmigran spontan seperti suku Banjar di Kalimantan Selatan dan Tengah, suku Melayu di Kalimantan Barat dan Sumatera, suku Bugis, suku Banjar dan suku Melayu di Sumatera serta suku Cina di Kalimantan Barat. Pengembangan usahatani di lahan rawa gambut menghadapi banyak kendala antara lain: (1) ketinggian genangan atau muka air tanah yang sukar dikendalikan, (2) lapisan pirit dangkal di bawah lapisan gambut, (3) lapisan gambut tebal dan bersifat mentah, (4) intrusi air laut, (5) infrastruktur pendukung yang kurang mendukung atau terbatas, dan (6) kondisi sosial ekonomi dan investasi petani terhadap lahan yang terbatas. Beberapa bentuk kearifan lokal petani di lahan gambut yang penting adalah pengelolaan air, penyiapan lahan, dan pengelolaan hara tanaman yang dapat dijadikan sumber inspirasi dan bahan pengkayaan inovasi teknologi pengelolaan lahan gambut.

Daftar Pustaka

Agus, F. dan I.M.G. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor-Indonesia. 36 hlm.

- Amaleviciute, K., I. Liaudanskiene, A. Slepeliene, J. Slepetytis, I. Jokubauskaite, and J. Volungevicius. 2015. Carbon and important macroelements of *Terric Histosol* after 12 years renaturalization. *Eurasian J Soil Sci*, 4 (4):272–278.
- Andriesse, J.P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. Soil Resources, Management & Conservation Service. FAO Land and Water Development Division. FAO, Rome. 165p.
- Ariani, M., H.I. Susilawati, P. Setyanto. 2008. Mitigasi emisi metana (CH₄) dari tanah gambut dengan ameliorasi. Hlm 319-325. *Dalam A. Supriyo et al. (eds.). Pros. Sem Nas. Pengembangan Lahan Rawa, Banjarbaru 5 Agustus 2008. BB Litbang SDLP – Balitbangda Prov Kalsel.*
- Balittra 2011. Laporan Akhir Hasil Penelitian Balittra Tahun 2011. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 127 hlm.
- Chairunas, Yardha, Adli Yusuf, Firdaus, Tamrin dan M. N. Ali. 2001. Rakitan Teknologi Budidaya Padi di Lahan Gambut. http://nad.litbang.deptan.go.id/ind/files/rakitan_teknologi_padi.pdf diakses pada tanggal 7 Februari 2011.
- Cheesman, A.W., B.L. Turner and K.R. Reddy. 2012. Soil phosphorus forms along a strong nutrient gradient in a tropical ombrotrophic wetland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:1496–1506.
- Hartatik dan D. A., Suriadikarta. 2006. Teknologi Pengelolaan Hara Lahan Gambut. *Dalam Didi Ardi, S. et al (eds.) Karakterisasi dan Pengelolaan Lahan Rawa.* Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. Hlm 151-180.
- Hastuti, S. 1995. Peat compaction and root proliferation. *PhD Thesis*. RUG, Gent, Belgium. 175 p.
- Kementerian Pertanian 2014. Memorandum Rapat Kerja Nasional Kementerian Pertanian 2015. Jakarta: November 2014.
- Kurnain, A. 2005. Dampak Kegiatan Pertanian dan Kebakaran Atas Watak Gambut Ombrogen. *Disertasi*. Pascasarjana Fakultas Pertanian UGM. 315 Hlm.
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, dan B. Radjagukguk. 2003. Pengaruh macam senyawa penjerap fosfat, dan sumber pupuk P terhadap daya penyediaan fosfat bahan gambut. *J. Tanah dan Iklim* 21:7-15.
- Masganti dan N. Yuliani. 2009. Arah dan strategi pemanfaatan lahan gambut di Kota Palangkaraya. *Agripura* 4(2):558-571.
- Najiyati, S, L. Muslihat, dan I.N.N. Suryadiputra, 2005. Panduan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan. *Wetland Int. – Indo. Prog. & WHC.* Bogor, Indonesia. 241 hlm.

- Noor. 2007. Laporan Hasil Penelitian Teknologi Peningkatan Produktivitas dan Konservasi Lahan Gambut. Balittra. Banjarbaru.
- Noor. 2010. *Lahan Gambut: Pengembangan, Konservasi dan Perubahan Iklim*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 212 hlm.
- Noor 2012. Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Gambut. Hlm. 155-172 *Dalam* Edi Husen, M. Anda, M. Noor, Mamat HS., Maswar, A. Fahmi dan Y. Sulaiman (ed.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Bogor: Balai Besar Litbang SDLP.
- Noor, M. dan A. Jumberi. 2007. Kearifan Budaya lokal dalam perspektif pertanian di lahan rawa. Hlm. 1-11. *Dalam* Mukhlis *et al* (eds). *Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. BALITTRA. Banjarbaru.
- Noor, M., Yuli Lestari dan M. Alwi. 2006. Laporan Hasil Penelitian Teknologi Peningkatan Produktivitas Lahan Gambut. Balittra. Banjarbaru.
- Noor, M., A. Hairani, Muhammad, S. Nurzakiah, A. Fahmi. 2009. Pengembangan teknologi pemupukan berdasarkan dinamika hara pada tanaman padi IP 300 di lahan rawa pasang surut. Laporan Hasil Penelitian SINTA 2009. Balittra. Banjarbaru. (Unpublished).
- Noorginayuwati, A.Rafiq, Yanti R., M. Alwi, A.Jumberi, 2006. Penggalian Kearifan Lokal Petani untuk Pengembangan Lahan Gambut di Kalimantan. Laporan Hasil Penelitian Balittra 2006.
- Noorginayuwati, A. Rafieq, M. Noor, dan A. Jumberi. 2007. Kearifan lokal dalam pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian di Kalimantan. Hlm 11-27. *Dalam* Mukhlis *et al* (eds). *Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Rawa*. Balai Besar Litbang SDLP- BALITTRA. Banjarbaru.
- Noorginayuwati, A. Rafieq, M. Noor, M. Thamrin dan Akhmadi. 2009. Penggalian Kearifan Lokal Petani dalam Pemanfaatan Lahan Gambut Untuk Pertanian. Laporan Akhir Tahun 2009. Balittra Banjarbaru.
- Noorginayuwati, S. Saragih, Nurtirtayani dan K. Sari. 2010. Kajian Kearifan Lokal Usahatani Jeruk Dalam Pemanfaatan dan Pelestarian Lahan Gambut di Sulawesi Barat. Laporan akhir APBN 2009 melalui dana Bansos Dikti. Balittra. Banjarbaru.
- Nugroho. K., dan B. Widodo. 2001. The Effect of Dry Wet Condition to Peat Soil Physical Characteristics of Different Degree of Decomposition. *Dalam* Rieley, J.O. dan S.E. Page (Eds.). *Peatlands for People: Natural Resource Functions and Sustainable Management*. BPPT. Jakarta. 120 p.
- Nuruddin, A.A., H.M. Leng and F. Basaruddin. 2006. Peat moisture and water relationship in a tropical peat swamp forest. *Jurnal Applied Science*. 6(11): 2517-2519.

- Nurzakiah, S. Nurita, E. Maftuah dan D. Nursyamsi. Pengelolaan air sistem tabat dalam mitigasi emisi karbondioksida pada berbagai penggunaan lahan gambut. *Dalam*. Laporan Akhir Penelitian Tahun 2014. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. 42 hlm.
- Radjagukguk, B. 2000. Perubahan sifat fisik dan kimia tanah gambut akibat reklamasi lahan untuk pertanian. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 2(1): 1–15.
- Rieley, J.O., A.A. Ahmad-Shah and M.A. Brady. 1996. The extent and nature of tropical peat swamps. pp: 17–53. *In*. E. Maltby, C.P. Immirzi, & R.J. Safford (Eds.), *Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia. Proceedings of a Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*. IUCN. Gland, Switzerland.
- Rina, Y., Noorinayuwati dan M. Noor. 2007. Persepsi petani tentang lahan gambut dan pengelolaannya. Hlm 87-95. *Dalam* Mukhlis *et al* (eds.). *Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. BALITTRA. Banjarbaru.
- Ritung, S. Wahyunto, dan K. Nugroho, 2012. Karakteristik dan sebaran lahan gambut di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Hlm 47-62. *Dalam* Edi Husen *et al* (eds.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Bogor: Balai Besar Litbang SDLP
- Sabiham, S. 2007. Pengembangan Lahan Secara berkelanjutan Sebagai Dasar dalam Pengelolaan Gambut di Indonesia. Makalah Utama disimpulkan pada Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa di Kapuas, 3-4 juli, 2007.
- Sabiham, S., S.D. Tarigan, Hariyadi, I. Las, F. Agus, Sukarman, P. Setyanto and Wahyunto. 2012. Organic Carbon Storage and Management Strategies for Reducing Carbon Emission from Peatlands: A Case Study in Oil Palm Plantations in West and Central Kalimantan, Indonesia. *Pedologist*. 2(1): 426-434.
- Schumann, M. and H. Joosten. 2008. *Global Peatland Restoration Manual*. Institute of Botany and Landscape Ecology, Greifswald University, Germany. 64 p.
- Suriadikarta, D. A. 2012. Teknologi pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. *Jurnal Sumberdaya Lahan Pertanian* 6(2):197-211.
- Uomori, M., and T. Yamaguchi. 1997. The water absorption ability of peat. *International Peat Journal*. 7: 41–44.
- Wüst, R.A.J., C.R. Ward, R.M. Bustin, and M.I. Hawke. 2002. Characterization and quantification of inorganic constituents of tropical peats and organic-rich deposits from Tasek Bera (Peninsular Malaysia): implications for coals. *International Journal of Coal Geology* 49:215-249.

PEMULIHAN LAHAN GAMBUT TERDEGRADASI MELALUI PENGELOLAAN AIR SEKAT KENAL

Ani Susilawati dan Eni Maftu'ah

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA)
Jl. Kebun Karet, Loktabat Banjarbaru 70712, Telp 0511 4772534.
Email. Ani_Nbl@yahoo.com

Ringkasan

Lahan gambut mempunyai multifungsi sebagai pengendali banjir dan kekeringan, sumberdaya genetik, dan penghasil bahan pangan. Degradasi lahan gambut berdampak terhadap penurunan fungsi lahan gambut, terutama fungsi lingkungan yaitu; menurunnya cadangan air, mudahnya gambut terbakar, meningkatnya emisi GRK, menurunnya cadangan karbon, menurunnya keanekaragaman biodiversitas baik flora, fauna maupun mikroorganisme tanah. Upaya pemulihan lahan gambut yang terdegradasi dimaksudkan untuk mengembalikan nilai, fungsi, dan manfaat ekosistem gambut termasuk upaya pencegahan kerusakan lahan, memberikan perlindungan, dan memperbaiki ekosistem. Salah satu upaya untuk pemulihan lahan gambut ini adalah mengembalikan kondisi hidrologi ekosistem kawasan hutan dan lahan gambut melalui kegiatan penyekatan saluran (*canal blocking*). Dengan menyekat kembali saluran/parit yang ada dengan sistem blok/dam, maka diharapkan tinggi muka air dan retensi air dalam parit dan sekitar hutan dan lahan gambut dapat ditingkatkan sehingga dapat meminimalisasi terjadinya bahaya kebakaran pada musim kemarau dan memudahkan upaya rehabilitasi kawasan yang terdegradasi di sekitarnya.

Kata kunci : Lahan gambut, terdegradasi, sekat kanal

I. Pendahuluan

Lahan gambut mempunyai karakteristik yang unik dan multifungsi sebagai pengatur tata air, pengendali banjir dan habitat (tempat hidup) aneka ragam jenis makhluk hidup maupun sebagai penyimpan karbon, sehingga berperan dalam pengendalian stabilitas iklim global (KLH 2012; Masganti 2013). Pembentukan gambut di wilayah tropika bermula dari adanya genangan di daerah rawa, danau maupun cekungan yang didukung oleh curah hujan yang tinggi sehingga proses pencucian basa-basa dan pemasaman tanah berlangsung intensif diikuti dengan penurunan aktivitas jasad renik perombak bahan organik (Rieley *et al.* 1996), sehingga kecepatan penimbunan bahan organik berlangsung lebih cepat dibandingkan penguraianya. Tanah gambut di Indonesia umumnya adalah gambut yang tidak subur dikenal dengan gambut Oligotropik (Masganti 2003). Jenis gambut ini ditandai dengan kadar abu yang rendah ($<2\%$), biasanya kurang dari 1%, kecuali lahan gambut tersebut mengalami kebakaran yang berulang (Adi Jaya *et al.* 2001; Kurnain *et al.* 2001).

Lahan gambut di Indonesia saat ini diperkirakan luasnya mencapai 14,90 juta hektar yang tersebar di Sumatera 6,44 juta hektar (43 %), Kalimantan 4,78 juta hektar (32 %) dan Papua 3,69 juta hektar (25 %) (Ritung *et al.* 2011). Dari luasan tersebut sekitar 4,4 juta hektar merupakan lahan terdegradasi (Agus *et al.* 2014). Degradasi merupakan suatu keadaan dimana kapasitas multifungsi gambut berkurang. Pada umumnya degradasi banyak disebabkan oleh kegiatan manusia. Salah kelola dalam pemanfaatan lahan gambut oleh manusia seperti pembakaran lahan, pengelolaan air, penambangan, dan penebangan pohon menyebabkan gambut terdegradasi (Masganti *et al.* 2014a; Wahyunto *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2015a). Kondisi ini dapat menyebabkan banjir pada musim hujan, kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau, dan menurunnya produktivitas lahan dan pendapatan petani (Masganti *et al.* 2014b; 2015b), serta terjadinya pencemaran terhadap tanah, air dan udara.

Pada kondisi alami dan tanpa gangguan, ekosistem hutan gambut umumnya pada kondisi stabil dan seimbang (*equilibrium*). Hutan rawa gambut mempunyai nilai konservasi yang sangat tinggi dan fungsi lainnya seperti fungsi hidrologi, cadangan karbon, dan biodiversitas yang penting untuk kenyamanan lingkungan dan kehidupan satwa. Namun ekosistem hutan gambut yang stabil akan menjadi rapuh dan rusak jika kondisi iklim

mikro hutan gambut berubah. Penebangan pohon pada hutan gambut, pengambilan tanah gambut untuk keperluan lain dan konversi lahan gambut menjadi kawasan budidaya dapat mengakibatkan perubahan ekosistem hutan gambut. Berkurang atau hilangnya kawasan hutan rawa gambut akan menurunkan kualitas lingkungan, bahkan menyebabkan banjir pada musim hujan dan kekeringan serta kebakaran pada musim kemarau (Tim Sinjak 2008).

Lahan gambut yang terdegradasi dapat dideteksi dengan 2 (dua) cara yakni: (1) analisis laboratorium, dan (2) penampakan lapang. Lahan gambut yang terdegradasi apabila kandungan karbon (C) lahan penutup tanahnya kurang dari 35 t/ha (Rieley dan Setiadi 1997; Bappenas 2009; WRI 2012). Berdasarkan PP 71 tahun 2014 kerusakan ekosistem gambut pada kawasan budidaya dinyatakan jika terjadi penurunan muka air tanah sehingga lebih dari 0,4 meter dari permukaan atas lahan gambut dan atau tereksposnya sedimen berpirit dan atau pasir kuarsa di bawah lapisan gambut. Berdasarkan PP 57 tahun 2016 (pengganti PP 71/2014) lahan gambut terdegradasi (rusak) pada kawasan budidaya terjadi jika muka air tanahnya lebih dari 0,4 meter di bawah permukaan dan atau tereksposnya sedimen berpirit dan atau pasir kuarsa di bawah lapisan gambut.

Penyebab degradasi lahan gambut tidak terlepas dari akibat aktivitas manusia. Perubahan ekosistem lahan gambut dapat terjadi karena adanya perubahan struktur vegetasi dan perubahan tanah gambut. Peristiwa perubahan kedua hal tersebut dapat terjadi secara berbarengan atau dapat juga terjadi salah satunya. Secara garis besar ada 4 (empat) tindakan manusia yang menyebabkan degradasi, yakni: (1) pengelolaan air yang salah, (2) pembakaran lahan, (3) penambangan, dan (4) penebangan pohon (Masganti 2013; Masganti *et al.* 2014a, Wahyunto *et al.* 2014). Keempat faktor ini menyebabkan perubahan komponen ekosistem lahan gambut yang pada gilirannya berdampak negatif terhadap ekosistem gambut (Konsorsium PETUAH, 2017).

Pengelolaan air di lahan gambut dimaksudkan agar dekomposisi bahan organik gambut berlangsung lambat atau minimal. Pada saat yang sama diharapkan dengan ketersediaan air yang cukup dapat mengembalikan kondisi ideal bagi perkembangan mikroorganisme, sehingga dapat mempercepat pemulihan sifat fisik, terutama berkaitan dengan sifat hidrofobik yang dapat menyebabkan efisiensi pemupukan menjadi rendah (Masganti *et al.* 2002; Masganti 2012). Pengelolaan air mempunyai fungsi

ganda, selain menjamin kebutuhan air tanaman juga menjaga kondisi aerasi bagi mikroorganisme, dan mengendalikan reaksi kimia tanah dan perkembangan perakaran tanaman serta menekan laju subsidensi gambut.

Kriteria penentuan lahan gambut terdegradasi dapat mengacu pada: (1) kondisi penutupan lahan, (2) sifat lahan gambut dan kondisi lingkungan, (3) kondisi hidrologi, fisik, dan biologi tanah, dan (4) peraturan perundang-undangan (Wahyunto *et al.* 2013). Jenis penutup lahan atau penampakan lapangan dapat dijadikan dasar untuk menilai apakah lahan gambut tersebut terdegradasi (Wahyunto *et al.* 2014). Beberapa penciri penampakan lapang adalah: (1) tanaman penutup tanahnya merupakan semak belukar, dan (2) lahan terbuka bekas tambang. Biasanya lahan tersebut tidak dimanfaatkan karena produktivitasnya yang rendah, kurangnya sarana pendukung, dan jauh dari pemukiman (Masganti *et al.* 2015b). Menurut Wahyunto *et al.* (2014) indikator fisik lahan gambut terdegradasi meliputi: (1) sudah ada penebangan pohon, (2) ada jalan *logging*, (3) ada bekas kebakaran, (4) kondisi lahan kering/tidak tergenang, dan (5) adanya bekas penambangan.

Diperkirakan sekitar 6,66 juta hektar atau 44,60% lahan gambut mengalami degradasi. Luas ini akan semakin bertambah dengan adanya kesalahan manusia dalam mengelola lahannya, apalagi tanpa diimbangi dengan langkah-langkah untuk meminimumkan atau menghambat laju degradasi lahan gambut. Oleh karena itu untuk “memulihkan” atau menyehatkan kembali lahan gambut diperlukan langkah remediasi. Remediasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat gambut yang terdegradasi. Remediasi dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti pengelolaan air yang tepat (Masganti *et al.* 2015a; 2015b).

Salah satu karakteristik unik gambut adalah kemampuan spektakuler dalam menahan atau memegang air. Gambut yang dalam kondisi hidrofilik mampu memegang air 5-30 kali beratnya (Masganti 2012). Apabila gambut terbakar, kemampuan tersebut mengalami penurunan yang sangat drastis. Inilah salah satu penyebab terjadinya banjir pada musim hujan, dan kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau akibat berkurangnya daya konservasi air kawasan (Sarwani *et al.* 2006; Masganti 2013; Masganti *et al.* 2014a). Kebakaran juga menyebabkan berkurangnya jenis dan populasi mikroorganisme di lahan gambut (Agustina *et al.* 2001), bahkan dapat menyebabkan berkurangnya populasi dan musnahnya satwa tertentu, dan berkurangnya akurasi hasil analisis sifat kimia tanah di laboratorium

(Masganti 2012). Kebakaran juga menyebabkan berkurangnya efektivitas pemupukan tanaman (Masganti *et al.* 2002).

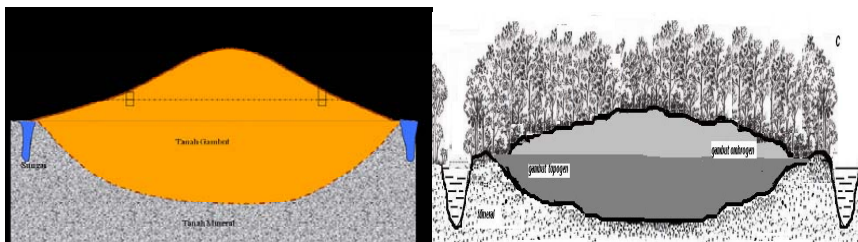
Lahan gambut telah lama dimanfaatkan petani sebagai penghasil bahan pangan (Rina dan Noorinayuwati 2007; Masganti 2013). Memilih lahan gambut sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia merupakan pilihan yang tepat mengingat: (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan bersifat komplementer dengan pola produksi bahan pangan di Pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan non pertanian relatif rendah (Masganti 2013), dan (7) tersedianya teknologi produksi berbagai komoditas. Oleh karena itu untuk menjamin ketersediaan dan kontinuitas pasokan bahan pangan, dan untuk meningkatkan devisa negara dari sektor pertanian, Kementerian Pertanian dihadapkan pada pilihan menggunakan lahan-lahan suboptimal seperti lahan gambut terdegradasi (Haryono 2013; Ritung *et al.* 2015).

Sekarang ini kenyataan di lapangan, lahan ini telah dimanfaatkan petani untuk budidaya tanaman pangan (Notohadiprawiro 2006), perkebunan dan hortikultura (Masganti *et al.* 2014a; Nursyamsi *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2015a). Ditaksir sekitar 50% lahan gambut terdegradasi (3,33 juta hektar) telah dimanfaatkan untuk budidaya tanaman perkebunan, tanaman pangan, tanaman hortikultura, dan hutan tanaman industri. Tanaman perkebunan yang dibudidayakan di lahan ini didominasi oleh kelapa sawit, diikuti karet, dan kelapa. Tanaman pangan yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi meliputi padi, jagung, kedele, ubijalar dan ubikayu. Untuk tanaman hortikultura berupa tanaman buah meliputi nanas, pisang, rambutan, buah naga, cempedak, nangka, jeruk, melon, kedondong, dan belimbing. Sayuran buah yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi adalah cabai, timun, kecipir, labu dan tomat, sedangkan sayuran daun antaranya kangkung, bayam, sawi, dan selada. Bahkan saat ini sudah mulai dikembangkan bawang merah. Sedangkan tanaman yang dibudidayakan untuk tanaman industri adalah akasia.

Tulisan ini bertujuan untuk memaparkan tentang potensi lahan gambut terdegradasi dan pengelolaan air sistem sekat kanal untuk menjadi bahan dalam mengembangkan lahan gambut sebagai lumbung pangan secara lestari.

II. Karakteristik Hidrologi Gambut dan Permasalahannya

Lahan gambut umumnya terletak pada satuan hidrologis yang berada diantara dua sungai besar dan beberapa anak sungai yang merupakan cabang dari sungai-sungai besar. Satuan hidrologis gambut berhubungan dengan dinamika pasang dan surut dari sungai-sungai tersebut baik langsung maupun tidak langsung, sehingga patut menjadi pertimbangan dalam pengembangan dan pengelolaan lahan gambut. Satuan hidrologi berbeda dengan satuan batas administrasi, berbeda pula dengan satuan penguasaan, dan satuan pemanfaatan. Penataan ruang lahan gambut yang didasarkan atas satuan hidrologi lahan gambut dibagi atas zona konservasi dan zona budidaya seperti dalam Gambar 1. Pengelolaan dan pemanfaatan air pada lahan gambut, tidak terlepas dari karakteristik hidrologi lahan gambut tersebut.



Gambar 1. Zonasi lahan gambut pada satuan hidrologi berdasarkan ketebalan gambut

Sumber: Maas 2016

Kubah gambut berfungsi sebagai penyimpan cadangan air dan pengatur keseimbangan air dalam KHG, sehingga berperan sebagai kawasan konservasi. Pada kawasan kubah gambut yang telah dibuat kanal-kanal perlu dikembalikan fungsi hidrologis dengan menutup kanal tersebut. Pada kawasan yang sudah terlanjur dibudidayakan dan di dalamnya terdapat kanal-kanal, restorasi tata air dapat dilakukan dengan membangun sekat-sekat (tabat) dalam jumlah yang memadai di dalam setiap kanal, sehingga kedalaman air tanah gambut di sekitarnya dapat dinaikkan dan gambut menjadi basah, sehingga sulit terbakar.

Kawasan gambut yang mempunyai ketebalan $< 3\text{m}$ dikategorikan sebagai zona budidaya. Kawasan tersebut dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman pertanian dan perkebunan. Namun, pemanfaatan lahan

gambut untuk pengembangan pertanian perlu kehati-hatian, karena lahan gambut berperan ganda baik sebagai media tumbuh tanaman, maupun peran dalam lingkungan (pemendam karbon dan air). Pengelolaan ekosistem gambut harus memperhatikan aspek pemanfaatan, pemeliharaan dan perlindungan. Pelestarian fungsi ekosistem gambut sebagai pengendali dampak perubahan iklim melalui mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Pemanfaatan lahan gambut utamanya ditujukan pada zona budidaya dan yang terdegradasi. Lahan gambut terlantar memerlukan perhatian serius agar tidak terjadi degradasi lebih lanjut. Lahan gambut yang tidak termanfaatkan berupa semak belukar serta pada kondisi kering lebih rentan terhadap kebakaran. Upaya untuk mengurangi kerentanan kebakaran dapat dilakukan dengan meningkatkan kelembapan permukaan gambut. Menurut Nurzakiah *et al.* (2006) semakin berkurang kelembapan tanah yang diindikasikan dengan semakin tinggi kandungan gugus fungsional hidrofobik menunjukkan semakin tingginya tingkat kerentanan terhadap kebakaran. Hidrofobisitas akan mempengaruhi kemampuan substansi humat dalam adsorpsi kation (Chorover *et al.* 1999). Kondisi hidrofobik berkaitan dengan berkurangnya gugus fungsional hidrofilik antara lain karboksilat dan fenolat (Utami *et al.* 2009; Masganti 2012).

Konsep kesatuan hidrologis menjadi penting dalam pengelolaan air di lahan gambut untuk memulihkan lahan gambut. Kesatuan hidrologis menjadi dasar untuk pemanfaatan lahan gambut sekaligus untuk pengelolaan termasuk pembuatan saluran drainase. Densitas saluran semakin ke arah kubah gambut, semakin sedikit.

Konsep ekohidrologi yang diterapkan dimaksudkan untuk menjamin keberadaan air pada kondisi lebih tinggi, sehingga selain melindungi kubah gambut, namun secara gravitasi mampu membasahi gambut pada bagian *landscape* di bawahnya. Penutupan kanal juga diperlukan pada kubah gambut yang telah terlanjur dibuat dan pada batas satuan penguasaan dalam satu kesatuan hidrologis, serta pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan gambut. Perlu sinkronisasi peraturan perundangan biofisik terkait pemanfaatan dan konservasi lahan gambut, termasuk pemerataan kesempatan akses terhadap lahan gambut dalam mendukung kesejahteraan masyarakat.

Salah satu upaya mencegah kerusakan hidrologi lahan gambut dengan mempertahankan hutan rawa gambut yang ada. Katimon (2004) memperlihatkan bahwa kerusakan hidrologi lahan gambut bersifat tidak

balik. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (2015), prinsip – prinsip restorasi ekosistem gambut meliputi :

1. Kubah gambut dan fungsi lindung gambut (kedalaman > 3 meter), idealnya merupakan daerah / zona yang terbebaskan dari pemanfaatan dan dari keberadaan kanal-kanal. Daerah-daerah ini berfungsi sebagai pengatur keseimbangan hidrologi dalam satu kesatuan hidrologis gambut (KHG).
2. Untuk mengembalikan fungsi hidrologis pada kubah dan fungsi lindung gambut, seluruh kanal-kanal yang terdapat di dalamnya mesti ditutup (urug). Karena daerah-daerah ini berperan sebagai penyimpan cadangan air dan pengatur keseimbangan/pengendali air dalam satu Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG).
3. Pada ekosistem gambut dengan fungsi lindung (ketebalan gambut > 3 meter) yang sudah terlanjur dibudidayakan dan di dalamnya terdapat kanal-kanal, restorasi tata air dapat dilakukan dengan membangun sekat-sekat (tabat) dalam jumlah yang memadai di dalam setiap kanal, sehingga kedalaman air tanah gambut di sekitarnya dapat dinaikkan dan gambut menjadi basah serta sulit terbakar.
4. Agar upaya untuk membasahi lahan gambut (*rewetting*) dapat memberikan hasil yang optimal, maka seluruh lahan gambut yang diatasnya sudah terlanjur dibangun kanal-kanal mesti disekat-sekat. Penyekatan ini tidak mesti memperhatikan ketebalan gambut.

III. Kedudukan Sekat Kanal dalam Pengelolaan Air

Gambut sebagai ekosistem berperan untuk penyimpanan karbon, penyimpanan dan pelepas air, serta dapat dimanfaatkan sebagai sumberdaya untuk pertanian, kehutanan, dan energi (Alamprabu 2013). Lahan gambut mempunyai banyak fungsi, secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi fungsi pengaturan dan fungsi produksi/ekonomi (Agus dan Subiksa 2008). Salah satu fungsi pengaturan lahan gambut adalah sebagai penyangga penting bagi sistem hidrologi (Klove 2008).

Degradasi lahan gambut berdampak terhadap penurunan fungsi lahan gambut, terutama fungsi lingkungan yaitu; menurunnya cadangan air, mudahnya gambut terbakar, meningkatnya emisi GRK, menurunnya cadangan karbon, menurunnya keanekaragaman biodiversitas baik flora,

fauna maupun mikroorganisme tanah. Upaya pemulihan ekosistem gambut diperlukan untuk memperbaiki kondisi gambut agar berfungsi baik sebagai media tumbuh tanaman (fungsi lokal), maupun fungsi lingkungan yang mempengaruhi kawasan regional.

Pengelolaan air pada lahan gambut merupakan faktor yang sangat penting. Air merupakan faktor penting dalam proses pembentukan gambut, kubah gambut, menjamin kelangsungan habitat mahluk hidup endemik rawa, serta menjaga gambut dari subsidensi, serta menghindarkan gambut dari kondisi hidrofobik yang mengakibatkan gambut rentan kebakaran. Tujuan dari pengelolaan air di lahan gambut adalah: (1) menyediakan air yang cukup bagi pertumbuhan tanaman, (2) menjaga kondisi aerasi bagi mikroorganisme, (3) mengendalikan reaksi kimia tanah dan perkembangan perakaran tanaman (Masganti *et al.* 2015), dan (4) menjaga kelestarian gambut agar terhindar dari kerusakan akibat drainase atau pengeringan.

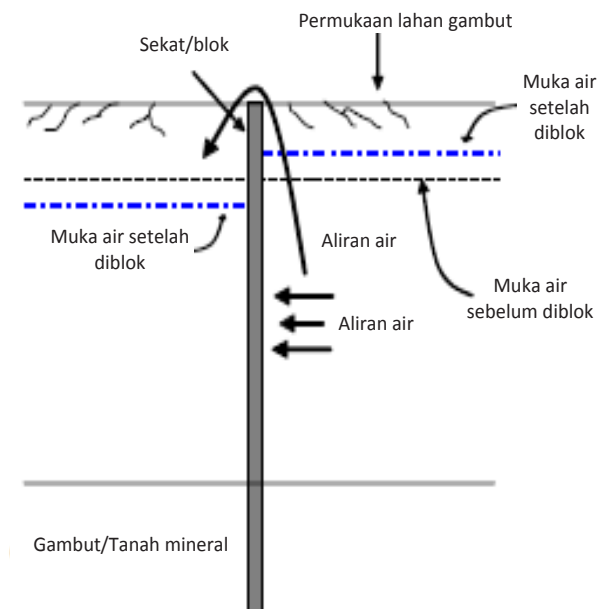
Pengelolaan air gambut terdegradasi dimaksudkan agar dekomposisi bahan organik gambut berlangsung lambat atau minimal. Pada saat yang sama diharapkan dengan ketersediaan air yang cukup dapat mengembalikan kondisi ideal bagi perkembangan mikroorganisme, sehingga dapat mempercepat pemulihan sifat fisik, terutama berkaitan dengan sifat hidrofobik yang dapat menyebabkan efisiensi pemupukan menjadi rendah (Masganti *et al.* 2002; Masganti 2012).

Pemulihan lahan gambut melalui restorasi hidrologis harus memperhatikan prinsip-prinsip sebagai berikut: a) kubah gambut dan gambut dengan kedalaman > 3 meter merupakan daerah/zona yang terbebaskan dari pemanfaatan dan keberadaan kanal-kanal, b) penutupan kanal diperlukan pada kawasan kubah gambut untuk mengembalikan fungsi hidrologis, c) pada ekosistem gambut dengan fungsi lindung (ketebalan gambut > 3 meter) yang sudah terlanjur dibudidayakan dan di dalamnya terdapat kanal-kanal, diperlukan sekat-sekat (tabat) dalam jumlah yang memadai di dalam setiap kanal, sehingga kedalaman air tanah gambut di sekitarnya dapat dinaikkan dan gambut menjadi basah serta sulit terbakar, d) penyekatan kanal juga berlaku pada ketebalan gambut < 3m pada seluruh lahan gambut yang sudah terlanjur di bangun agar proses *rewetting* bisa optimal (KLHK 2015).

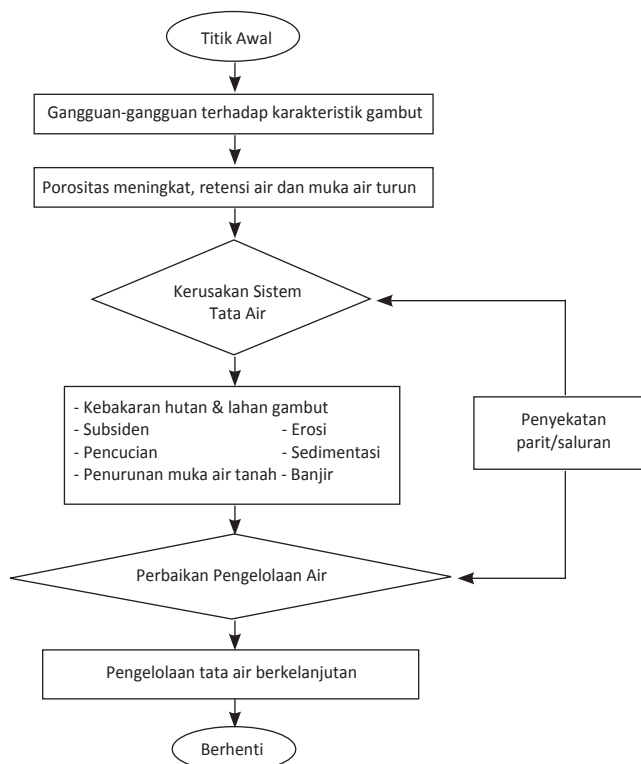
Dalam pengelolaan air di lahan gambut yang paling penting untuk diperhatikan adalah menjaga tinggi muka air tanah, agar permukaan lahan

tetap basah, dan kebutuhan tanaman terpenuhi. Kelembapan tanah yang terjaga selain dapat mencegah kebakaran lahan juga dapat menurunkan tingkat dekomposisi, sehingga emisi karbon juga dapat ditekan (Jauhianien *et al.* 2008; Couwenberg 2009; Husen *et al.* 2013). Terdapat hubungan positif antara kedalaman air tanah dan kehilangan karbon, serta total respirasi tanah gambut (Carlson *et al.* 2015).

Salah satu cara untuk mengendalikan/menurunkan nilai limpasan permukaan di lahan gambut adalah melalui penyekatan kanal dan saluran yang tadinya bebas terbuka, seperti digambarkan pada Gambar 2 dan dalam diagram alir Gambar 3. Dengan penyekatan ini diharapkan muka air tanah di lahan gambut akan meningkat dan gambut tidak mengalami kekeringan.



Gambar 2. Prinsip utama dalam penyekatan parit dan saluran



Gambar 3. Skema sistem pemulihan tata air di hutan dan lahan gambut

Sumber: Modifikasi dari Grigg 1996

Melalui Perpres Nomor 1 Tahun 2016 Pemerintah pusat membentuk Badan Restorasi Gambut. Perpres ini yang mengatur pengelolaan lahan gambut dengan restorasi lahan gambut salah satunya dengan membangun sekat kanal (*canal blocking*). Sekat kanal atau *kanal blocking* atau tabat adalah sekat-sekat yang dibuat di dalam sebuah kanal. Dengan adanya sekat-sekat ini, penurunan permukaan air dilahan gambut dapat dicegah dan lahan gambut disekitarnya akan tetap basah dan sulit terbakar. Pembangunan sekat-sekat di dalam sebuah kanal (*canal blocking*), bertujuan untuk menahan lepas/keluarnya air dari lahan gambut sehingga gambut tetap berada dalam kondisi basah. Pada prinsipnya, sekat kanal tidak memiliki *discharge* (buangan air) yang besar, tapi hanya berupa limpasan air (*overflow*) (KLHK 2015).

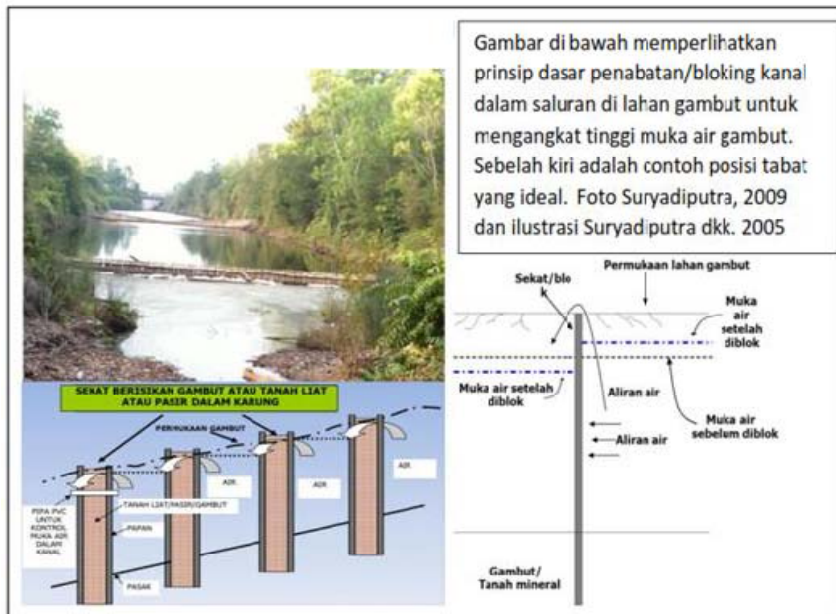
Penerapan *canal blocking* ini disarankan pada lahan gambut tebal atau pinggiran kubah gambut yang disarankan untuk pemanfaatan secara terbatas. Dalam pemanfaatan lahan rawa khususnya untuk gambut tebal di sekitar kubah gambut dengan pemanfaatan terbatas, perlu diterapkan *canal blocking* dengan maksud untuk mempertahankan drainabilitas rencana sehingga efek negatif pengembangan terhadap kondisi lingkungan dapat diperkecil. Jadi fungsi hidrolis *canal blocking* adalah untuk menjaga terjadinya *over drained* dengan mempertahankan ketinggian elevasi muka air tanah

Canal blocking menjadi agenda nasional dalam merestorasi gambut dengan tujuan utamanya mengatasi kebakaran lahan akibat kerusakan ekosistem gambut. Mencegah kebakaran lahan gambut dengan menjaga lahan gambut tetap basah dianggap merupakan langkah yang lebih bijaksana daripada penanggulangan yang menghabiskan tenaga. Tujuan dari pembangunan *canal blocking* adalah untuk memulihkan kembali keadaan gambut yang basah dan lembab serta menata kembali lahan-lahan gambut yang sudah terlanjur digali. Sekat kanal (*canal blocking*) yang dibangun berfungsi menahan derasny aliran air dari kubah gambut kebawah, mengarahkan aliran air itu ke samping. Dengan adanya sekat tadi, air akan mencari jalan ke samping, tidak hanya satu arah sehingga memberi efek gambut basah, serta mengurangi terjadinya pengurasan di kubah tempat sumber air. Selain itu, sifat gambut berpori seperti spon. Apabila tidak ada air maka gambut akan mengempis, sebaliknya apabila ada air maka ia mengembang lagi. Maka dengan adanya *canal blocking* ini akan mempertahankan keadaan gambut agar tidak mengempis. Dan yang paling terpenting adalah pada saat kita berbicara mengenai masalah kekinian yaitu isu pencegahan kebakaran dan kabut asap.

Pembangunan *canal blocking* merupakan upaya pencegahan munculnya atau kembalinya kebakaran lahan gambut serta tragedi kabut asap. Di samping itu dengan dibangunnya *canal blocking* maka ini berfungsi untuk tempat sumber air apabila terjadi kebakaran, untuk memadamkan api. Kemudian, di daerah pesisir, daerah gambut-gambut yang berhadapan langsung dengan pantai, *canal blocking* berfungsi untuk menahan laju intrusi air asin, membantu mengurangi masuknya air asin ke daratan gambut sehingga tanaman bisa tumbuh dengan bagus.

Terdapat berbagai bentuk/tipe/jenis sekat-sekat yang dapat dibangun di dalam kanal di lahan gambut. Diantaranya adalah: sekat papan (*plank dam*), sekat geser (*slices dam*), sekat isi (*composite dam*), sekat plastik, dll, (Suryadiputra 2005). Tapi yang telah terbukti memberikan hasil cukup

baik adalah jenis ‘sekat isi’. Oleh karenanya penyekatan kanal yang direkomendasikan adalah dengan membangun sekat kanal dengan tipe “sekat isi” yang di atasnya ditanami vegetasi endemik lahan gambut (Suryadiputra 2005). Apabila kanal dipergunakan untuk sarana transportasi publik, makan tipe sekat isi dapat dimodifikasi (disodet bagian tengahnya) untuk dapat dilalui perahu yang lewat.

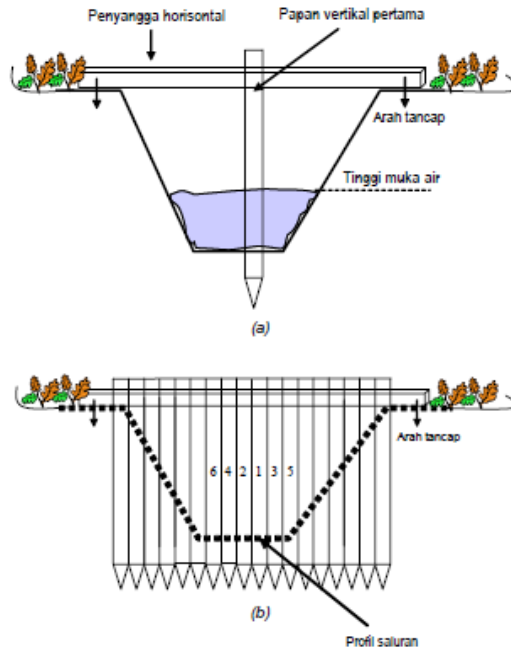


Gambar 4. Posisi bendung yang ideal dalam saluran

Berikut ini akan diuraikan secara ringkas 4 jenis penyekat tersebut, yaitu:

1. Sekat papan (*Plank dam*)

Sekat papan dapat terbuat dari bahan papan kayu keras (misal: Ulin atau Belangeran) yang telah banyak berhasil dipakai di beberapa lokasi di masa lalu di Kalimantan. Penempatan sekat yang tepat dan pemasangan yang cermat dapat digunakan untuk memblok aliran air parit/saluran yang cukup besar (untuk saluran dengan ukuran kedalaman lebih dari 1 meter dan lebar diatas 2 meter). Pemasangan sekat jenis ini dapat dilaksanakan oleh tenaga kerja biasa dan tidak memerlukan keahlian khusus (Stoneman dan Brooks 1997).

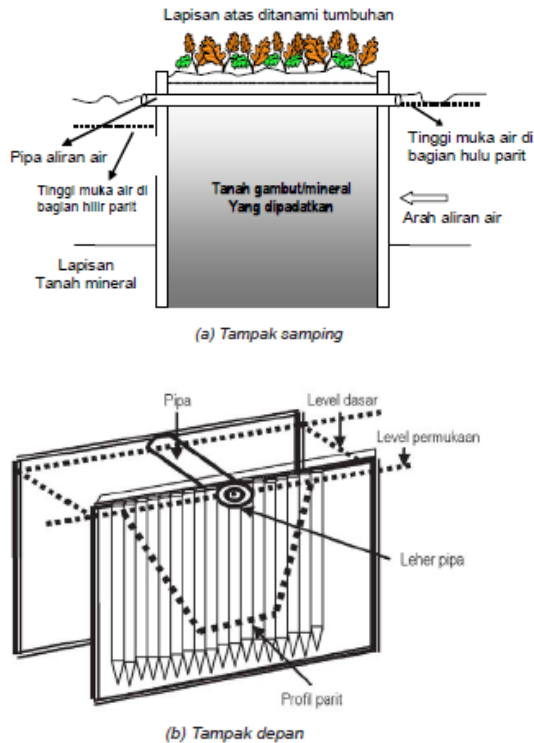


Gambar 5. Gambar kasar sekat papan

Sumber: Stoneman dan Brooks 1997

2. Sekat isi (*composite dam*)

Sekat isi terbuat dari dua buah atau lebih penyekat (dari papan kayu atau kayu balok/gelondongan), yang diantara sisinya setelah dilapisi lembaran plastik atau geotekstil, diisi dengan bahan material gambut atau tanah mineral yang dibungkus dengan karung-karung bekas (disarankan yang tidak mudah rapuh jika terkena hujan dan panas). Bahan isian gambut atau tanah mineral ini berfungsi sebagai pendukung struktur sekat agar sekat menjadi lebih kuat dan tahan terhadap tekanan air. Lapisan bagian atas dari sekat ini dapat juga dipergunakan sebagai jembatan penyeberangan atau jalur lalu lintas pejalan kaki atau ditanami tumbuhan penguat sekat.

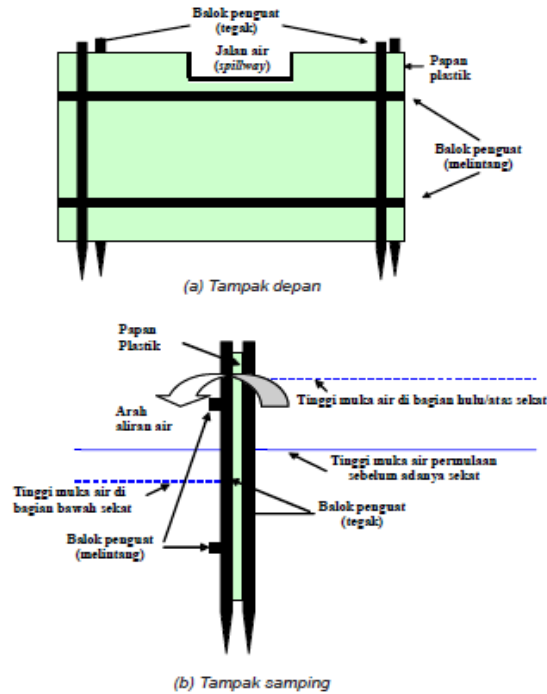


Gambar 6. Sekat isi dari bahan papan kayu

Sumber: Stoneman dan Brooks 1997

3. Sekat plastik (*plastic dam*)

Sekat plastik merupakan salah satu jenis sekat yang dapat mengatur jumlah debit air yang mengalir pada suatu parit/saluran, sehingga tinggi muka air sebelum sekat akan naik dan akan mengakibatkan kenaikan air tanah. Kelebihan debit air pada saluran akan dialirkan/dibuang melalui saluran pembuangan (*spillway*) yang ada di bagian tengah atas dari sekat tersebut. Pengaturan letak saluran pembuangan disesuaikan dengan tinggi muka air dalam parit/saluran yang diinginkan, terutama di musim kemarau dimana debit di dalam saluran relatif kecil. Sekat plastik umumnya terbuat dari lembaran papan plastik yang kedap air (*impermeable*). Secara ekonomis biaya sekat plastik ini lebih mahal daripada sekat kayu karena bahan ini susah didapat disekitar lokasi dan jika ada mahal harganya, akan tetapi sekat plastik mempunyai umur yang lebih lama.



Gambar 7. Sekat dari bahan papan plastik

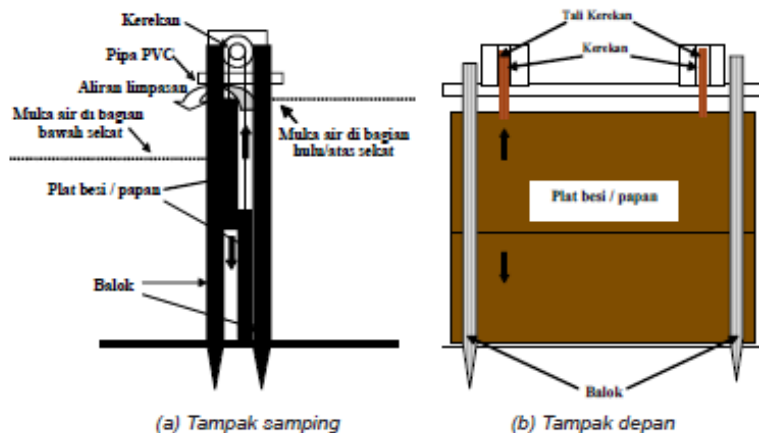
Sumber: Stoneman dan Brooks 1997

4. Sekat geser (*slices*)

Sekat geser merupakan suatu pintu air yang dapat dikendalikan guna mengatur debit aliran air sungai atau muka air tanah dan dapat juga digunakan untuk mengatur aliran yang keluar dari suatu parit/saluran. Sekat geser terdiri dari dua lembar papan dengan ketebalan masing-masing 2 - 5 cm (atau plat besi) yang dapat digerakkan secara naik-turun melalui tali yang dilengkapi dengan kerekan dan pipa PVC untuk membuang kelebihan air dari bagian atas. Lembaran papan kayu yang digunakan untuk membuat sekat geser harus dipilih dari bahan yang keras, kuat dan tahan air (atau bisa juga menggunakan lembaran plat besi) dan ditempatkan/dijepit di tengah-tengah antara dua tiang balok.

Pergerakan naik-turunnya papan-papan ini disesuaikan dengan tinggi air yang dikehendaki. Apabila tinggi air di dalam parit/saluran dan di dalam tanah ingin dinaikkan, maka kedua papan diatur posisinya sedemikian rupa sehingga tutupan bidang muka air vertikal (luas penampang parit/saluran) menjadi luas (besar), hal ini diharapkan terjadi pada musim kemarau.

Sedangkan pada musim hujan dimana debit air yang ada pada saluran relatif besar, maka kedua papan diposisikan di tengah-tengah dan saling berhimpitan, sehingga air dari dalam parit/saluran tetap dapat mengalir keluar melalui celah bagian atas dan bawah papan geser tersebut. Atau keduanya dihindarkan pada posisi menyentuh lantai parit/saluran sehingga hanya separuh dari tinggi air dalam parit/saluran yang terlepas.



Gambar 8. Sekat geser

Sumber: Stoneman dan Brooks 1997

Salah satu komponen penting dalam pengaturan tata air di lahan gambut adalah bangunan pengendali berupa pintu air di setiap saluran. Pintu air berfungsi untuk mengatur tinggi muka air di saluran, sehingga tinggi muka air di lahan juga dapat dikendalikan (Agus dan Subiksa 2008).

Rata-rata tinggi tabat dibuat 20 cm di bawah muka tanah, lebar tabat disesuaikan dengan lebar parit yang ada dan jarak antar tabat sekitar 100-150 m. Dimensi saluran/tabat disesuaikan dengan jenis tanaman yang dibudidayakan (Masganti *et al.* 2015). Efektivitas tabat dalam meningkatkan kadar air tanah di lahan gambut cukup signifikan. Hasil penelitian adanya tabat dapat mempertahankan kadar air tanah 80-197% berdasarkan berat kering tanah (Alwi *et al.* 2004). Sementara di lahan gambut Kalimantan Tengah tabat dapat mempertahankan kadar air tanah sampai 250%, sedangkan lahan yang tidak ditabat sekitar 60% (Fitrianti *et al.* 2017).

IV. Penutup

Lahan gambut berperan dalam sistem hidrologi, karena gambut mampu menyimpan air sampai 13 kali dari bobotnya. Kesalahan dalam pemanfaatannya seperti pembakaran lahan, pengelolaan air yang salah, penambangan, dan penebangan pohon menyebabkan gambut terdegradasi. Degradasi lahan gambut ini menyebabkan penurunan terhadap kesuburan tanah, produktivitas lahan, daya konservasi kawasan air, jumlah dan populasi mikroorganisme, dan meningkatnya pencemaran air, tanah, dan udara, sehingga kapasitas fungsi hidrologi, fungsi konservasi dan fungsi produksi menjadi berkurang, serta menyebabkan lahan gambut menjadi terlantar.

Pembuatan saluran pada lahan gambut hendaklah dilakukan dengan sangat hati-hati. Kesalahan dalam pembuatan saluran dapat menimbulkan dampak lingkungan antara lain: laju penurunan muka tanah (*subsiden*), emisi karbon, kering tidak balik, dan bahan organik terlarutkan (*DOC*) semakin meningkat. Selain itu, bahaya kebakaran, perubahan iklim, pemanasan global, peningkatan muka air laut, kelangkaan air bersih pada musim kemarau, banjir pada musim hujan, dan polusi air, berdampak bagi masyarakat lokal setelah ada perubahan lingkungan.

Pengelolaan air pada lahan gambut terdegradasi bertujuan agar fungsi lahan gambut dapat dipertahankan atau dikurangi laju degradasinya dapat dilakukan melalui kegiatan penyekatan saluran (*canal blocking*). Model *canal blocking* antara lain: sekat papan (*plank dam*), sekat geser (*slices*), sekat plastik (*plastic dam*), sekat isi (*composite dam*). Pemilihan jenis sekat kanal tergantung pada karakteristik lokasi, dana dan masyarakat setempat. Namun untuk tujuan restorasi yang direkomendasikan adalah dengan membangun sekat kanal dengan tipe “sekat isi” yang di atasnya ditanami vegetas endemik lahan gambut.

Daftar Pustaka

- Adi Jaya., J. O. Rieley, T. Artiningsih, Y. Sulistiyanto, dan Y. Jagau. 2001. Utilization of deep tropical peatland for agriculture in Central Kalimantan, Indonesia. Hlm:125-131. *Dalam* Rieley, J. O., dan S. E. Page (Eds.). Jakarta Symp. Proc. on Peatlands for People: Nat. Res. Func. and Sustain. Management.

- Agus, F., Wahyunto, H., Sosiawan, I.G.M. Subiksa, P. Setyanto, A. Dariah, Maswa, N. L. Nurida, Mamat, I. Las, 2014. Pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi: Trade-off keuntungan ekonomi dan aspek lingkungan. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. BBSDLP. Bogor.
- Agus F. dan Made Subiksa I.G. 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Alamprabu D. 2013. *Definisi Lahan Gambut, dari Ketidakjelasan menjadi Jelas*. Direktorat Perlindungan Perkebunan, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Alwi, M., S. Saragih, dan Y. Lestari. 2004. Komponen teknologi pengelolaan lahan terpadu untuk meningkatkan produktivitas dan konservasi lahan gambut. 52 hlm. *Dalam*. Laporan Akhir TA 2004. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Agustina, S. E. R., B. M. Rachmawati, dan Sustiyah. 2001. Inventarisasi micoriza vesicular arbuskula (MVA) pada tanah gambut Kalimantan Tengah. *J. Agri Peat* 2(2):46-52.
- Bappenas. 2009. Reducing carbon Emission for Indonesian peatland. Intern Report of Multi Diciplinary Study. Indonesian National Development Planning-Bappenas Republic of Indonesia.
- Carlson, K.M., L. K. Goodman, and C.M. Tobin. 2015. Modeling relationships between water table dept and peat soil carbon loss in Southeast Asian Plantations. *Environ. Res.Lett.* 10:074006
- Chorover, J., M.K. Amistadi, W.D. Burgos, and P.G. Hatcher, 1999. Quinoline sorption on kaolinite-humic acid complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:850–857.
- Couwenberg, J. 2009. Methane emissions from peat soils (organic soils, histosols). Facts, MRV-ability, emission factors. Greifswald University Wetlands International, Nedherland. 14p
- Fitriati, U., Rusliansyah, dan M. A. Ma'ruf. 2017. Canal blocking to maintain groundwater level at peatland Central Kalimantan. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 7(4):111-117.
- Grigg, N. S. 1996. *Water Resources Management*. Mc Graw-Hill. New York. 29 – 59.
- Haryono. 2013. Strategi Kebijakan Kementerian Pertanian dalam Optimalisasi Lahan Sub Optimal Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Seminar Nasional Intensifikasi Lahan Suboptimal dalam

- Rangka Mendukung Kemandirian Pangan Nasional. Palembang, 20-21 September 2013. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 11 hlm.
- Husen E, S Salma and F Agus. 2013. Peat emission control by groundwater management and soil amendements: evidence from laboratory experiments. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 1381: 1-9.
- Jauhiainen, J., S. Limin, H. Silvennoinen, and H. Vasander. 2008. Carbon dioxide and methane fluxes in drainage affected tropical peat before and after hydrological restoration, *Ecology* 89:3503– 3514.
- Katimin, A. 2004. The Irreversibel Hydrology Of Reclaimed Peat Basin In Malaysia : Is Restoration Possible? Faculty of Civil Engineering Publication, Universiti Teknologi Malaysia.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). 2012. *Strategi Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Indonesia*. Deputy Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim. Jakarta. 50 hlm.
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). 2015. *Pedoman Pemulihan Ekosistem Gambut*. <http://ppkl.menlhk.go.id/filebox/20/160320105213PEDOMAN%20PEMULIHAN%20EKOSISTEM%20GAMBUT%202015.pdf>. Diakses pada 17 Juni 2016 pukul 09:10 wib.
- Klove B. 2008. Hydrology of Headwater Peatlands: how are these ecosystems connected to and dependent on Groundwater?. European Forestry Commision. Oulu: 19-22 August 2008.
- Kurnain, A., T. Notohadikusumo, B. Radjagukguk, dan S. Hastuti. 2001. The state of decomposition of tropical peat soil under cultivated and fire damage peatland. Hlm:168-178. *Dalam* Rieley, dan Page (Eds.). Jakarta Symposium Proceeding on Peatlands for People: Natural Resources Functions and Sustainable Management.
- Konsorsium PETUAH (Perguruan Tinggi Untuk Indonesia Hijau). 2017. Strategi Revegetasi dengan Spesies Indigen dalam Konteks 3R Aksi Restorasi Lahan Gambut. Pengetahuan Hijau Berbasis Kebutuhan dan Kearifan Lokal untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. Policy Brief. CoE PLACE PB No. 11 – Februari 2017.
- Maas, A. 2016. Pengembangan EWS Berbasis Multi Parameter. Diskusi Aplikasi SESAME dalam Pencegahan Kebakaran Lahan. Sentul 15 April 2016.
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, dan B. Radjagukguk. 2002. Efektivitas dan pemupukan pada tanah gambut. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 3(2):38-48.

- Masganti. 2003. Kajian Upaya Meningkatkan Daya Penyediaan Fosfat dalam Gambut Oligotrofik. *Disertasi*. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 355 hlm.
- Masganti. 2012. Sample preparation for peat material analysis. Hlm:179-184. *Dalam Husein et al. (Eds.). Prosiding Workshop on Sustainable Management Lowland for Rice Production.*
- Masganti. 2013. Teknologi inovatif pengelolaan lahan suboptimal gambut dan sulfat masam untuk peningkatan produksi tanaman pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(4):187-197.
- Masganti, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, dan Rachmiwati. 2014a. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(1):47-54.
- Masganti, I. G. M. Subiksa, Nurhayati, dan W. Syafitri. 2014b. Respon tanaman tumpangsari (sawit+nanas) terhadap ameliorasi dan pemupukan di lahan gambut terdegradasi. Hlm:117-132. *Dalam Wihardjaka et al. (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi.* Balitbangtan, Kemtan.
- Masganti, M. Alwi, dan Nurhayati. 2015a. Pengelolaan air untuk budidaya pertanian di lahan gambut: kasus Riau. Halaman:62-87. *Dalam Noor, M. et al. (Eds.). Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: Optimasi Lahan Mendukung Swasembada Pangan.* IAARD Press, Badan Litbang, Jakarta.
- Masganti, Nurhayati, Rachmiwati Yusuf, dan Hery Widyanto. 2015b. Teknologi ramah lingkungan dalam budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2): 99-108.
- Notohadiprawiro, T. 2006. Etika pengembangan lahan gambut untuk pertanian tanaman pangan. Lokakarya Pengelolaan Lingkungan dalam Pengembangan Lahan Gambut. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) Kalimantan Tengah. Palangkaraya. 24 hlm.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftuah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorginayuwati, dan Y. Rina. 2014. Buku *Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 72 hlm.
- Nurzakiah, S. Nurita, and D. Nursyamsi, 2006. Water management “tabat system” in carbon dioxide mitigation and vulnerability to fire on peatland. *J. Trop. Soils* 21(1):41-47.

- Rieley, J. O., dan B. Setiadi. 1997. Role of tropical peatlands in global carbon balance: preliminary finding from the peats of Central Kalimantan, Indonesia. *Alami* 2(1): 52-56.
- Rina, Y. dan Noorinayuwati. 2007. Persepsi petani tentang lahan gambut dan pengelolaannya. Hlm: 95-107. *Dalam* Muhlis *et al.* (Eds). *Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2011. *Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2015. *Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press. 100 hlm.
- Sarwani, M., Masganti, dan D. Irwandi. 2006. *Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalteng. Palangka Raya. 32 hlm.
- Schlegel, H. G. 1994. *Mikrobiologi Umum*. Penerjemah Tedjo Baskoro. Edisi keenam. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 688 hlm.
- Suryadiputra, I N.N., Alue Dohong, Roh, S.B. Waspodo, Lili Muslihat, Irwansyah R. Lubis, Ferry Hasudungan, dan Iwan T.C. Wibisono. 2005. Panduan Penyekatan Parit dan Saluran di Lahan Gambut Bersama Masyarakat. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor
- Stoneman, S. dan S. Brooks. 1997. *Conservating Bogs, The Management Handbook*. The Stationary Office Limited. Edinburgh. 16 - 17, 35 - 37.
- Tim Sinjak (Sintesis Kebijakan). 2008. Pemanfaatan dan Konservasi Ekosistem Lahan Rawa Gambut di Kalimantan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 1(2), 2008:149-156.
- Utami, S. N. H., A. Maas, B. Radjagukguk, dan B. H. Purwanto. 2009. Sifat fisik, kimia dan FTIR Spektrofotometri gambut hidrofobik Kalimantan Tengah. *Jurnal Tanah Tropika* 12(2):159-166.
- Wahyunto, Dariah, A., Pitono, D., dan Sarwani, M. 2013. Prospek pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit di Indonesia. *Perspektif* Vol. 12 No.1 /Juni 2013, Hal 11-22, ISSN:1412-8004.
- Wahyunto, K. Nugroho, S. Ritung, and Y. Sulaiman. 2014. Indonesian peatland map: method, certainty, and uses. Hlm:81-96. *Dalam*

Wihardjaka *et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional: Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Balitbangtan, Kemtan. Jakarta.

WRI (*World Resources Institute*). 2012. *How to Indetify Degraded Land for Sustainable Palm Oil in Indonesia*. WRI-Sekala Working Paper, April 2012. World Resources Institute. Woshington D. C-USA.

REMEDIASI LAHAN GAMBUT TERDEGRADASI UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS KELAPA SAWIT

Masganti dan Ani Susilawati

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa Banjarbaru
Jln. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru
masgambut59@yahoo.com

Ringkasan

Luas lahan gambut di Indonesia diperkirakan 14,95 juta hektare tersebar di empat pulau besar yakni Sumatera, Kalimantan, Papua, dan Sulawesi. Lahan gambut sangat mudah mengalami perubahan sifat fisika, kimia, dan biologi akibat kesalahan aktivitas manusia seperti pembakaran lahan, pembuatan saluran drainase, penebangan pohon, dan penambangan. Dari total luas lahan gambut, diperkirakan 6,7 juta hektare telah terdegradasi. Degradasi menyebabkan berkurangnya daya dukung lahan, sehingga kapasitas fungsi hidrologi, produksi, dan ekologi menjadi berkurang. Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan yang banyak dibudidayakan di lahan gambut. Dari 12,31 juta hektare kelapa sawit Indonesia, diperkirakan sekitar 4,0-4,5 juta hektare dibudidayakan di lahan gambut, dan sekitar 2,5 juta hektare dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi. Produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi tergolong rendah, rata-rata produktivitas hanya 0,8-1,2 ton/ha/bulan. Remediasi merupakan tindakan yang dilakukan untuk memulihkan atau memperbaiki sifat-sifat gambut terdegradasi agar produktivitas kelapa sawit dan pendapatan petani meningkat, emisi GRK menurun, dan laju subsidi gambut melambat. Produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi dapat ditingkatkan melalui remediasi menggunakan teknologi: (1) pengelolaan air, (2) ameliorasi, (3) pemupukan, (4) sistem tanam, dan (5) tanaman penutup tanah.

Pendahuluan

Kesalahan manusia dalam mengelola lahan gambut menyebabkan menurunnya kapasitas fungsi hidrologi, produksi, dan ekologi lahan tersebut. Penurunan kapasitas ketiga fungsi tersebut menyebabkan lahan gambut terdegradasi, sehingga kesuburannya rendah, toksitasnya tinggi, dan sifat fisik dan biologinya kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Beberapa tindakan manusia yang menjadi penyebab lahan gambut terdegradasi adalah pembakaran lahan, pembuatan saluran drainase yang lebar dan dalam, penebangan pohon, dan penambangan. Keempat aktivitas manusia tersebut menjadi kontributor utama bertambahnya luas lahan gambut terdegradasi.

Luas lahan gambut yang terdegradasi ditaksir mencapai 6,66 juta hektare dari 14,95 juta hektare lahan gambut Indonesia (Ritung *et al.* 2011; Agus *et al.* 2014; Ritung *et al.* 2015). Diperkirakan kecepatan degradasi lahan gambut mencapai 75.000-100.000 ha per tahun, bahkan mungkin lebih tinggi. Kebakaran lahan tidak saja menyebabkan degradasi lahan gambut, tetapi juga terganggunya kesehatan, terhambatnya perekonomian, terganggunya hubungan dengan negara tetangga, terganggunya kegiatan pendidikan, dan terbatasnya mobilitas manusia (Masganti *et al.* 2015a; 2015b; Noor, 2017).

Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan yang mendominasi luas pertanian komoditas perkebunan dan menjadi primadona ekspor dalam bidang pertanian. Selama tiga dekade terakhir, pertumbuhan luas tanaman kelapa sawit mengalami penambahan yang sangat signifikan yakni lebih dari 300.000 ha/tahun. Saat ini luas tanaman kelapa sawit mencapai 12,31 juta hektare, padahal 30 tahun yang lalu baru 728.662 ha (Dirjenbun 2017). Perkebunan sawit di Indonesia terdiri dari perkebunan rakyat (PR), perkebunan besar nasional (PBN), dan perkebunan besar swasta (PBS). Dari 3 (tiga) jenis perkebunan tersebut, PBS mengalami pertumbuhan yang lebih pesat, diikuti PR, dan terendah PBN.

Perkebunan kelapa sawit menjadi tulang punggung perekonomian rakyat karena memerlukan tenaga kerja yang banyak untuk setiap tahapan kegiatan seperti pembersihan lahan, pemupukan, dan pemanenan. Menurut Dirjenbun (2017), jumlah keluarga yang terlibat dalam kegiatan perkebunan kelapa sawit mencapai 2.213.037 keluarga atau 3.780.841 orang. Curahan tenaga terbanyak terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan.

Perkembangan luas tanam yang demikian memerlukan dukungan atau ketersediaan lahan yang luas. Lahan gambut sangat potensial dimanfaatkan untuk pengembangan kelapa sawit (Las *et al.* 2012; Agus *et al.* 2013). Keterbatasan lahan menyebabkan lahan gambut, bahkan lahan gambut terdegradasi dimanfaatkan untuk budidaya kelapa sawit (Wiratmoko *et al.* 2008; Wahyunto *et al.* 2013; Masganti *et al.* 2014a; 2014b), terutama PR.

Luas lahan gambut yang dimanfaatkan untuk budidaya kelapa sawit mencapai 4,0-4,5 juta hektare dan diperkirakan sekitar 2,5 juta hektare merupakan lahan gambut yang terdegradasi. Sebagai media tumbuh, produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi tergolong rendah (Masganti *et al.* 2014a; 2015b; Nurhayati *et al.* 2015). Dari berbagai diskusi dengan petani kelapa sawit di Provinsi Riau, diketahui bahwa rata-rata produktivitas kelapa sawit hanya 0,8-1,2 ton/ha/bulan. Nurhayati *et al.* (2015; 2016) dan Masganti *et al.* (2015c; 2016a) melaporkan bahwa rata-rata produktivitas kelapa sawit yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi hanya 0,8-1,2 ton/ha/bulan. Dari aspek ekonomi, angka tersebut tidak menguntungkan (Nurhayati *et al.* 2014; Salwati *et al.* 2014; Setyanto *et al.* 2014). Kondisi ini menyebabkan petani melakukan “pembiaran” kebun kelapa sawitnya apalagi jika harga kelapa sawit mengalami penurunan.

Berkaitan dengan sifat negatif yang melekat di lahan gambut terdegradasi, maka untuk pemanfaatan yang lebih baik perlu dilakukan peningkatan kapasitas produksi sebagai media tumbuh kelapa sawit (Wiratmoko *et al.* 2008; Masganti *et al.* 2014a; Nurhayati *et al.* 2015),. Salah satu tindakan yang dapat dilakukan adalah remediasi untuk memulihkan sifat-sifat yang kurang mendukung pertumbuhan kelapa sawit. Remediasi lahan gambut terdegradasi dilakukan untuk meningkatkan produktivitas, menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK), menghambat laju subsidensi gambut, dan meningkatkan pendapatan petani.

Tulisan ini bertujuan untuk memaparkan tentang penyebab degradasi lahan gambut, potensi dan, produktivitas lahan gambut terdegradasi dan teknologi remediasi untuk meningkatkan produktivitas kelapa sawit agar menjadi bahan pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam mengembangkan kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi yang produktif dan lestari.

Luas dan Produktivitas Kelapa Sawit di Lahan Gambut Terdegradasi

Pertambahan luas tanam kelapa sawit di Indonesia selama beberapa dekade mengalami kenaikan yang signifikan, terutama PBS dan PR. Kedua jenis perkebunan tersebut mendominasi pertumbuhan kebun kelapa sawit (Dirjenbun 2017). Kecepatan pertumbuhan luas kebun kelapa sawit selama periode 1980-2017 masing-masing untuk PBS (33.815 ha/tahun), disusul PR (21.433 ha/tahun), dan PBN (3.181 ha/tahun).

Luas Kebun Kelapa Sawit

Berdasarkan data yang dilaporkan Dirjenbun (2017) diketahui bahwa luas kebun sawit di Indonesia mencapai 12.307.677 ha yang terdiri dari PBS 6.798.820 ha (55,25%), PR 4.756.272 ha (38,64%), dan PBN 752.585 ha (6,11%). Budidaya kelapa sawit yang terluas terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Kedua pulau tersebut mengisi sekitar 95,39% luas perkebunan kelapa sawit atau 11.740.393 ha (Tabel 1). Hal ini diduga karena kelapa sawit lebih dulu berkembang di Sumatera terutama di Provinsi Sumut dan Riau, sehingga mempunyai perkebunan sawit yang lebih luas. Sedangkan Kalimantan memiliki lahan yang masih luas untuk pengembangan kelapa sawit.

Tabel 1. Luas perkebunan kelapa sawit Indonesia tahun 2017 menurut pulau dan jenis perkebunan (ha)

Pulau	Jenis Perkebunan			
	PR	PBN	PBS	Total
Sumatera	3.552.484	564.715	3.283.154	7.400.353
Kalimantan	967.207	127.440	3.236.413	4.340.040
Sulawesi	189.539	24.996	189.525	414.060
Papua	27.335	15.495	72.714	115.544
Jawa	9.744	19.939	6.914	36.597
Maluku	963	-	10.100	11.063
Jumlah	4.756.272	752.585	6.798.820	12.307.677

Sumber: Diolah dari data Dirjenbun (2017)

Produksi perkebunan kelapa sawit ditentukan oleh luas kebun tanaman yang telah menghasilkan (TM), sementara tanaman yang belum menghasilkan (TBM) menjadi penopang produksi beberapa tahun ke depan. Sedangkan tanaman tua yang masih menghasilkan atau tanaman rusak

(TTM/TR) sudah kurang produktif dan perlu segera direplanting (Agus *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2014a). Tabel 2 menunjukkan bahwa komposisi atau keadaan tanaman perkebunan kelapa sawit Indonesia didominasi oleh TM, diikuti TBM dan TTM/TR. Kebun sawit dengan kondisi tanaman TTM/TR lebih banyak terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan karena kelapa sawit lebih dulu berkembang di kedua pulau tersebut.

Tabel 2. Luas perkebunan kelapa sawit Indonesia tahun 2017 menurut pulau dan keadaan tanaman

Pulau	Keadaan Tanaman			
	TBM	TM	TTM/TR	Total
Sumatera	1.163.531	6.055.705	181.117	7.400.353
Kalimantan	1.411.089	2.859.511	69.460	4.340.040
Sulawesi	142.427	253.548	8,085	414.060
Papua	42.362	65.151	8.031	115.544
Jawa	5.199	28.030	3.368	36.597
Maluku	9.775	1.181	106	11.063
Jumlah	2.774.382	9.263	270.168	12.307.677
Persentase (%)	(22,54)	(75,26)	(2,20)	(100,00)

Sumber: Diolah dari data Dirjenbun (2017)

Tabel 3 menunjukkan bahwa keadaan tanaman di perkebunan besar swasta mempunyai luas kebun sawit TBM dan TM yang lebih tinggi dari kedua jenis perkebunan lainnya, tetapi mempunyai luas kebun sawit TTM/TTR yang lebih rendah dari perkebunan rakyat. Hal ini menunjukkan bahwa perlu segera dilakukan peremajaan kelapa sawit milik rakyat, agar produktivitasnya dapat ditingkatkan sekaligus meningkatkan pendapatan petani. Salah satu penyebab rendahnya pendapatan petani kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi karena produktivitas tanaman yang rendah (Masganti *et al.* 2014a; Nurhayati *et al.* 2014; 2015; 2016).

Tabel 3. Luas perkebunan kelapa sawit Indonesia tahun 2017 menurut jenis perkebunan dan keadaan tanaman

Jenis Perkebunan	Keadaan Tanaman			
	TBM	TM	TTM/TR	Total
PBS	1.588.631	4.979.362	48.413	6.616.407
PR	1.086.360	3.345.555	103.485	4.535.400
PBN	93.955	639.091	14.902	747.948
Jumlah	2.774.382	9.263.127	270.168	12.307.677

Sumber: Diolah dari data Dirjenbun (2017)

Perkebunan kelapa sawit merupakan penyerap tenaga kerja yang banyak. Hal ini disebabkan berbagai kegiatan seperti pemupukan, pembersihan, dan pemanenan memerlukan tenaga kerja yang banyak. Pengelolaan kebun sawit di Indonesia menyerap tenaga kerja 3.780.841 orang dari 2.213.037 keluarga. Distribusi penggunaan tenaga kerja didominasi oleh perkebunan kelapa sawit yang terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan (Dirjenbun 2017).

Budidaya kelapa sawit di Indonesia dilakukan di lahan mineral dan lahan gambut (Las *et al.* 2012; Wahyunto *et al.* 2013; Masganti *et al.* 2014a). Dari total luas perkebunan kelapa sawit Indonesia, diperkirakan sekitar 4,0-4,5 juta hektare dibudidayakan di lahan gambut, sekitar 2,5 juta hektare merupakan lahan gambut terdegradasi.

Tabel 4. Tenaga kerja yang terlibat dalam pengelolaan kebun kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2017 menurut pulau

Pulau	Kepala Keluarga (keluarga)		Tenaga Kerja (orang)	
	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
Sumatera	1.722.143	77,82	1.929.313	51,03
Kalimantan	375.199	16,95	1.681.936	44,49
Sulawesi	83.421	3,80	107.006	2,83
Papua	22.765	1,03	44.109	1,17
Jawa	7.857	0,36	13.427	0,36
Maluku	1.652	0,04	5.050	0,12
Jumlah	2.213.037	100,00	3.780.841	100,00

Sumber: Diolah dari data Dirjenbun (2017)

Produktivitas Kelapa Sawit di Lahan Gambut Terdegradasi

Lahan gambut terdegradasi dicirikan oleh tingkat kesuburan tanah yang rendah, tingkat toksisitas yang tinggi, daya dukung fisik yang rendah, dan aktivitas biologi yang rendah (Masganti 2013; Masganti *et al.* 2015d; 2017). Kondisi ini menyebabkan rendahnya produktivitas kelapa sawit (Masganti *et al.* 2015c; 2016a; Nurhayati *et al.* 2015; 2016). Dari berbagai diskusi dan pembicaraan dengan beberapa petani kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi diketahui bahwa rata-rata produktivitas kelapa sawit hanya 0,8-1,2 ton/ha/bulan, padahal kelapa sawit yang diusahakan oleh swasta di lahan gambut produktivitasnya mencapai 2,8-3,2 ton/ha/bulan (Disbun Provinsi Riau, 2015).

Pertanaman kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi banyak dilakukan oleh petani lokal atau perkebunan rakyat. Sebagian lahan gambut yang digunakan merupakan lahan gambut berkategori gambut dalam, ketebalan > 3,0 m, terdegradasi dan dengan metode pengelolaan lahan dan tanaman yang masih perlu diperbaiki (Masganti *et al.* 2014a; Nurhayati *et al.* 2015; 2016).

Teknologi Remediasi Lahan Gambut Terdegradasi untuk Kelapa Sawit

Rendahnya produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi menyebabkan usahatani ini menjadi tidak menguntungkan bagi petani, sehingga banyak kebun kelapa sawit yang dibiarkan terlantar (Las *et al.* 2012; Masganti 2013). Kondisi ini menyebabkan pada musim kemarau lahan ini rawan terbakar (Masganti *et al.* 2015a; 2015b; Noor 2017). Kebakaran tidak hanya meningkatkan luas lahan gambut yang terdegradasi, tetapi juga menambah luas lahan gambut yang terlantar. Pemanfaatan lahan ini memerlukan modal yang lebih tinggi untuk memenuhi input tambahan seperti bahan amelioran dan jumlah pupuk yang lebih tinggi.

Remediasi merupakan langkah yang dilakukan untuk memperbaiki sifat kimia, fisika, dan biologi lahan gambut yang terdegradasi. Suatu remediasi dikatakan berhasil jika mampu meningkatkan produktivitas tanaman, menurunkan emisi GRK, meningkatkan pendapatan petani (Agus *et al.* 2013; 2014), dan menurunkan laju subsidensi gambut. Remediasi lahan dapat dilakukan melalui berbagai kegiatan seperti pengelolaan air, ameliorasi, pemupukan, dan tanaman penutup tanah.

A. Pengelolaan Air

Salah satu kunci utama keberhasilan dalam budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi adalah pengelolaan air (Masganti *et al.* 2015a; 2015b). Kesalahan dalam pengelolaan air paling banyak menjadi penyebab terdegradasinya lahan gambut. Pengelolaan air yang tepat tidak saja memberikan kondisi yang menguntungkan terhadap berbagai reaksi kimia dalam tanah, tetapi juga menjadi fasilitas untuk mencuci unsur-unsur beracun dalam lingkungan pertanian.

Dimensi saluran (lebar, kedalaman, panjang) yang besar menyebabkan ketinggian air lebih rendah atau dengan kata lain ruang oksidasi semakin luas (Hirano *et al.* 2014). Kondisi ini menyebabkan dekomposisi bahan organik gambut lebih intensif, sehingga emisi GRK lebih tinggi dan kecepatan subsidensi gambut lebih cepat (Hoijer *et al.* 2012; Page *et al.* 2012; Husnain *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2015a). Oleh karena itu petani kelapa sawit di lahan gambut menggunakan dimensi saluran yang relatif kecil. Untuk kelapa sawit, dibuat saluran dengan dimensi lebar (80-150 cm), kedalaman (80-100 cm), dan ketinggian air sekitar 60-80 cm (Masganti *et al.* 2015a; 2015b). Pesan penting dari pengalaman lapang ini adalah perlunya perhatian khusus terhadap dimensi saluran dalam merancang bangunan pengelolaan air. Ketidakmampuan mengelola air secara baik tidak saja mempengaruhi kuantitas hasil, tetapi juga diduga mempengaruhi kualitas hasil.

Hasil penelitian Masganti *et al.* (2015a) menyimpulkan bahwa pengelolaan air menggunakan kanal blok mampu meningkatkan total produksi kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi sebesar 5,9 ton/ha/tahun, dan menurunkan emisi GRK sebesar 32,6 ton CO₂/ha/tahun. Bahkan metode pengelolaan air ini mampu menghambat laju subsidensi sebesar 1,1 cm/tahun (Tabel 5). Peningkatan total produksi tersebut sangat penting bagi petani dalam rangka meningkatkan pendapatan, menurunkan emisi GRK, dan menurunkan laju subsidensi gambut, sehingga budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi dapat dilakukan secara lebih lestari.

Tabel 5. Pengaruh pengelolaan air terhadap total produksi, GRK, dan laju subsidensi lahan gambut terdegradasi yang ditanami kelapa sawit di Provinsi Riau

Pengelolaan air	Parameter		
	Total produksi (ton/ha/tahun)	Emisi GRK (ton CO ₂ /ha/tahun)	Laju subsidensi (cm/tahun)
Tidak dikelola	16,6	97,2	3,8
Dikelola dengan kanal blok	22,5	64,6	2,7
Selisih	5,9	32,6	1,1

Sumber: Masganti *et al.* (2015a)

B. Ameliorasi

Salah satu masalah yang dihadapi dalam pengembangan kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi adalah sifat kimia tanah yang kurang

menguntungkan pertumbuhan kelapa sawit (Wiratmoko *et al.* 2008; Masganti *et al.* 2014a; Nurhayati *et al.* 2015). Oleh karena itu diperlukan tindakan yang dapat memperbaiki kualitas lahan melalui ameliorasi atau menggunakan bahan pembenah tanah (Hartatik dan Sarmah 2013; Dariah *et al.* 2015). Beberapa hasil penelitian yang dilaksanakan di Provinsi Riau dan Jambi menunjukkan bahwa pemberian amelioran di lahan gambut terdegradasi meningkatkan produktivitas kelapa sawit.

Amelioran mengandung unsur hara yang jumlahnya lebih banyak dari yang terdapat dalam tanah gambut terdegradasi (Jamil *et al.* 2012; Masganti *et al.* 2014b; 2015c; 2016a), sehingga aplikasi bahan tersebut menyebabkan pertumbuhan kelapa sawit lebih baik, menghasilkan pelepah yang lebih banyak untuk fotosintesis, dan menghasilkan tandan isi yang lebih banyak (Masganti *et al.* 2014b; Salwati *et al.* 2014). Masganti *et al.* (2015c; 2016a) dan Nurhayati *et al.* (2016) melaporkan bahwa kelapa sawit yang diberi amelioran menghasilkan tandan buah segar (TBS) yang lebih berat, sehingga produktivitasnya lebih tinggi.

Amelioran mempengaruhi produktivitas kelapa sawit melalui dua cara, yakni secara langsung melalui suplai unsur hara yang terkandung dalam amelioran, dan secara tidak langsung melalui perbaikan sifat fisik dan biologi tanah (Dinesh *et al.* 2010; Hartatik *et al.* 2013). Suplai hara, terutama senyawa karbon menjadi sumber energi bagi aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam tanah menyebabkan dinamika ketersediaan hara meningkat (Subowo 2010; Andersen *et al.* 2013; Melling *et al.* 2013), sehingga tanaman dapat memanen hara lebih banyak untuk mendukung pertumbuhannya (Dinesh *et al.* 2010; Maftu'ah *et al.* 2013).

Tabel 6. Pengaruh amelioran terhadap produktivitas kelapa sawit, emisi GRK, dan keuntungan usahatani kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau dan Jambi

Parameter dan Perlakuan	Lokasi			Rata-rata
	Jambi	Riau1	Riau2	
Hasil (ton/ha/tahun)				
Tanpa amelioran	11,11	13,68	12,36	11,74
Diberi amelioran	17,03	17,76	19,67	18,35
Peningkatan Provitas	5,92(a)	4,08 (d)	7,31(b)	5,77
Emisi GRK (ton CO ₂ /ha/tahun)				
Tanpa amelioran	24,6	-	28,0	26,3

Parameter dan Perlakuan	Lokasi			Rata-rata
	Jambi	Riau1	Riau2	
Diberi amelioran	18,5	-	24,3	21,4
Penurunan Emisi GRK	6,1(c)	-	3,7(c)	4,9
Keuntungan Usahatani (Rp/ha/tahuun)				
Tanpa amelioran	2.544.955	-	6.350.165	4.447.560
Diberi amelioran	11.078.395	-	17.629.795	14.354.095
Peningkatan pendapatan	8.533.440 (e)	-	11.279.629 (f)	9.906.535

Keterangan (-)

Sumber : (a) Salwati *et al* (2014) (b) Masganti *et al* (2014b) (c) Wahyuni *et al* (2014)

(d) Nurhayati *et al* (2015) (e) Setyanto *et al* (2014) (f) Nurhayati *et al* (2014)

Sumber amelioran

Khasiat amelioran dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit telah dilaporkan beberapa peneliti. Akan tetapi kemampuan bahan amelioran dalam memperbaiki sifat kimia, fisika, dan biologi tanah gambut terdegradasi, sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman berbeda menurut jenis amelioran yang digunakan (Masganti 2009; 2013). Setiap amelioran mempunyai komposisi atau susunan hara yang terkandung dalam amelioran tersebut. Ada amelioran yang mengandung unsur tertentu yang lebih banyak dari amelioran lainnya, tetapi kandungan unsur lain tersedia dalam jumlah yang lebih sedikit. Selain itu, kualitas amelioran juga ditentukan oleh laju ketersediaan hara. Beberapa peneliti melaporkan adanya perbedaan kemampuan meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit, jika amelioran yang digunakan berbeda (Jamil *et al.* 2012; Masganti *et al.* 2014b; Salwati *et al.* 2014).

Hasil penelitian Masganti *et al* (2014b) di Provinsi Riau dan Salwati *et al* (2014) di Jambi menginformasikan bahwa amelioran yang bersumber dari kotoran ayam menyebabkan total produksi kelapa sawit lebih tinggi, meski secara statistik tidak berbeda nyata. Salah satu kelebihan amelioran ini adalah lebih tingginya kadar K yang dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh lebih baik dan menghasilkan tandan isi yang lebih banyak. Selain itu, pupuk kandang (Pukan) ayam juga mengandung Al dalam kadar yang lebih rendah. Al di lahan gambut terdegradasi tersedia dalam jumlah yang tinggi (Masganti *et al.* 2014b; 2015d). Dalam tanah Al dapat menghambat ketersediaan hara seperti P. Kondisi tersebut menyebabkan kelapa sawit yang diameliorasi dengan Pukan menghasilkan TBS yang lebih berat, sehingga produktivitasnya lebih tinggi (Nurhayati *et al.* 2015; 2016).

Meskipun pupuk kandang menghasilkan total produksi yang paling tinggi, tetapi menurut Wahyuni *et al* (2014) diantara pupuk gambut (Pugam) dan Pukan, pupuk tandan kosong (Tankos) menghasilkan emisi GRK paling rendah, diikuti Pukan, dan tertinggi dihasilkan dari Pugam. Oleh karena itu Masganti *et al* (2014b) mengusulkan penggunaan Tankos karena (1) menghasilkan total produksi yang tinggi, (2) menyebabkan emisi yang rendah, (3) ketersediaan bahan di lapangan lebih terjamin dibandingkan Pukan dan Pugam, dan (4) biaya produksi lebih rendah, sehingga pendapatan lebih tinggi (Nurhayati *et al.* 2014; Setyanto *et al.* 2014). Hasil penelitian Masganti (2009) yang menggunakan Tankos dilaporkan meningkatkan produktivitas kelapa sawit lebih tinggi dari sumber amelioran lainnya.

Ameliorasi dapat juga dilakukan dengan menggunakan pupuk cair. Dalam sistem usahatani sawit-sapi, ternak sapi tidak hanya menghasilkan pupuk kandang, tetapi juga potensial sebagai bahan amelioran. Dalam penelitian di perkebunan kelapa sawit yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi, penggunaan pupuk cair urin sapi, diketahui selain meningkatkan produktivitas kelapa sawit meskipun tidak berbeda nyata, juga mampu memsubstitusi atau menurunkan penggunaan pupuk anorganik sebesar 25-50% dengan meningkatkan dosis pupuk cair sebesar 25% (Masganti *et al.* 2016a). Hasil ini tentu sangat penting bagi petani kelapa sawit agar biaya produksinya lebih rendah, bahan tersedia dengan mudah, dan ramah lingkungan.

Tabel 7. Pengaruh jenis amelioran terhadap hasil, dan emisi GRK kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi di Jambi dan Riau

Parameter dan Perlakuan	Provinsi		
	Jambi	Riau	Rata-rata
Hasil (ton/ha/tahun)			
Pukan	17,18*	20,06**	18,62
Tankos	17,09*	19,61**	18,35
Pugam	16,83*	19,33**	18,08
Emisi GRK (ton CO ₂ /ha/tahun)			
Pukan	17,8***	25,0***	21,4
Tankos	15,1***	17,0***	16,1
Pugam	22,5***	31,0***	268

Sumber : (*) Salwati *et al* (2014) (**) Masganti *et al* (2014b) (***) Wahyuni *et al* (2014)

Pupuk kandang kotoran sapi dan urin merupakan sumber bahan organik yang sangat penting dalam sistem integrasi sawit-sapi (Husnain dan Nursyamsi 2015). Penggunaan pupuk organik ini akan mampu memperbaiki sifat kimia, fisika, dan biologi tanah (Subowo, 2010; Andersen *et al.* 2013; Melling *et al.* 2013), sehingga tanaman tumbuh lebih baik dan menghasilkan TBS yang lebih banyak dan lebih berat.

Tabel 8. Pengaruh kombinasi pupuk cair dengan pupuk anorganik terhadap berat pelepah dan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi

Perlakuan		Parameter	
Pupuk Cair (%)	Pupuk Anorganik (%)	Berat pelepah (kg)	Provitas (t/ha/bulan)
100	100	5,48	0,97
100	75	4,90	0,81
125	75	5,95	0,98
125	50	5,36	0,94

Sumber: Masganti *et al* (2016a)

Tabel 8 menjelaskan adanya korelasi antara kemampuan tanaman kelapa sawit menghasilkan pelepah dengan produktivitasnya. Semakin berat pelepah yang dihasilkan, semakin tinggi produktivitasnya. Tanaman yang tumbuh subur akan menghasilkan atau memerlukan daun yang lebih banyak untuk menunjang proses fotosintesis yang lebih intensif.

Dekomposer

Khasiat amelioran tidak hanya ditentukan oleh sumber dan komposisi amelioran, tetapi juga ditentukan oleh ada tidaknya dekomposer yang digunakan dalam proses pembuatan amelioran (Masganti *et al.* 2015c). Pemberian dekomposer mampu meningkatkan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi sebesar 0,21 ton/ha/bulan atau setara dengan 2,52 ton/ha/tahun.

Kemampuan meningkatkan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi juga tergantung dekomposer yang digunakan dalam pembuatan amelioran (Masganti *et al.* 2015c). Produktivitas tertinggi (1,78 ton/ha/bulan) dihasilkan dari amelioran yang diberi dekomposer Biomicro. Hal ini disebabkan kelapa sawit yang diameliorasi dengan dekomposer tersebut mempunyai jumlah pelepah yang lebih banyak dan pertambahan berat pelepah yang lebih tinggi. Terdapat hubungan antara pertambahan berat pelepah dengan produktivitas, semakin tinggi pertambahan berat

pelepah, semakin tinggi produktivitas. Hal ini mungkin disebabkan kelapa sawit yang mempunyai pelepah yang lebih berat berukuran lebih besar, sehingga daunnya mempunyai luas permukaan yang lebih luas dan selanjutnya menyebabkan proses fotosintesis berlangsung lebih intensif.

Tabel 9. Pengaruh jenis dekomposer terhadap penambahan berat pelepah dan provitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi, Kabupaten Kampar, Riau

Dekomposer	Pertambahan Berat Pelepah (g)	Produktivitas (ton/ha/tahun)	Pertambahan Produksi (ton/ha/tahun)
Biomicro	442,6	21,36	7,44
Stardec	411,8	20,04	6,12
Orligno	191,3	15,96	2,04
Tasma Puja	190,1	15,72	1,88
EM-4	148,9	14,88	0,96
Tanpa Dekomposer	92,8	13,92	-

Sumber: Masganti *et al* (2015c)

C. Pemupukan

Pemupukan tanaman kelapa sawit merupakan langkah penting yang harus dilakukan untuk memperbaiki sifat kimia tanah. Beberapa laporan menyebutkan bahwa lahan gambut terdegradasi mempunyai sifat kimia yang kurang mendukung pertumbuhan kelapa sawit. Berbagai laporan menyebutkan bahwa ketersediaan hara dalam tanah gambut terdegradasi tidak mampu mendukung pertumbuhan kelapa sawit, sehingga diperlukan pemupukan, terutama unsur-unsur makro seperti N, P, dan K (Maftu’ah *et al.* 2013; Masganti *et al.* 2014a; Nurhayati *et al.* 2015).

Tabel 10. Pengaruh pemupukan terhadap berat pelepah, berat daun dan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi, Kabupaten Pelalawan, Riau

Perlakuan	Berat Pelepah (kg)	Berat Daun (kg)	Produktivitas (ton/ha/bulan)
Pupuk Dasar	4,19	1,32	1,87
Pupuk Lengkap	4,71	1,51	2,36
Pertambahan	0,52	0,19	0,49

Sumber: Masganti *et al* (2015d)

Hasil penelitian Masganti *et al* (2015d; 2016b) menyimpulkan bahwa pemupukan tanah gambut terdegradasi dengan unsur-unsur mikro meningkatkan produktivitas kelapa sawit. Peningkatan produktivitas tersebut didukung oleh kemampuan kelapa sawit membentuk pelepah dan daun yang lebih banyak (Tabel 10). Pemupukan kelapa sawit dengan unsur mikro juga menyebabkan tanaman membentuk TBS yang lebih banyak dan lebih berat (Tabel 11).

Tabel 11. Pengaruh pemupukan terhadap jumlah TBS, berat TBS, dan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi, Kabupaten Pelalawan, Riau

Perlakuan	Jumah TBS	Berat TBS (kg)	Produktivitas (ton/ha/bulan)
Pupuk Dasar	210	10,2	2,08
Pupuk Lengkap	241	12,2	2,85
Pertambahan	31	2,0	0,77

Sumber: Masganti *et al* (2016b)

D. Sistem Tanam

Peningkatan produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi juga dapat dilakukan melalui sistem tumpangsari (Masganti *et al.* 2014b; 2016b; Nurhayati *et al.* 2015). Adanya tanaman tumpangsari seperti nanas dan kacang tanah menciptakan kondisi iklim mikro yang menguntungkan tanaman, misalnya dengan menjaga kelembapan yang lebih baik, sehingga menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman utama. Demikian juga dengan pemanfaatan pupuk yang diberikan dapat menjadi lebih efisien.

Hasil penelitian Nurhayati *et al* (2015; 2016) menginformasikan bahwa pelepah kelapa sawit yang ditanam dengan sistem tumpangsari lebih banyak dan lebih berat. Kondisi ini menyebabkan dukungan terhadap fotosintesis tanaman lebih baik, sehingga tanaman mampu menyerap hara lebih banyak dan menghasilkan tandan yang lebih banyak. Sistim tumpangsari tidak saja mampu meningkatkan produktivitas kelapa sawit, tetapi juga menurunkan emisi GRK dan meningkatkan pendapatan petani (Nurhayati *et al.* 2014; Setyanto *et al.* 2014; Masganti *et al.* 2015b).

Tabel 12. Pengaruh sistem tanam terhadap total produksi, emisi GRK, dan keuntungan usahatani kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi Provinsi Riau

Sistem Tanam	Parameter		
	Total produksi (ton/ha/tahun)	Emisi GRK (ton CO ₂ /ha/tahun)	Keuntungan (Rp/ha/tahun)
Monokultur	14,40	32,3	8.979.732
Tumpangsari	19,45	27,7	15.447.029
Selisih	5,05	4,6	6.467.297

Sumber : Masganti *et al* (2015b)

E. Tanaman Penutup Tanah

Budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi dihadapkan kepada pertumbuhan gulma yang menjadi pesaing dalam memanfaatkan sinar matahari, air, dan hara. Persaingan tersebut akan menurunkan kemampuan tanaman menghasilkan TBS. Pada musim kemarau, ketersediaan air di areal perkebunan kelapa sawit juga mengalami penurunan, sehingga berisiko terjadinya kebakaran (Masganti *et al.* 2015a; 2015b; Noor 2017). Oleh karena itu untuk mengurangi risiko tersebut diperlukan tanaman penutup tanah (Ariyanti 2016).

Tanaman penutup tanah mempunyai beberapa peranan penting dalam budidaya kelapa sawit, yakni: (1) mengurangi daya merusak butir-butir hujan yang jatuh, (2) menambah bahan organik tanah, dan (3) mengkonservasi air tanah (Arsyad 2010; Ariyanti 2016). Tanaman penutup tanah harus merupakan tanaman yang pertumbuhannya cepat, rapat dan rimbun, sistem perakaran tidak menyebabkan persaingan yang berat dengan tanaman kelapa sawit, dan menjadi pengikat tanah yang baik. Persyaratan lainnya adalah dapat tumbuh baik di lingkungan gambut, dan tidak berubah menjadi gulma.

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor pembatas bagi produksi kelapa sawit. Kekeringan menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan distribusi asimilat terganggu, sehingga berdampak terhadap pertumbuhan tanaman baik pada fase vegetatif maupun generatif. Hasil penelitian Ariyanti (2016) menyimpulkan bahwa penggunaan tanaman penutup tanah memperbaiki parameter pendukung pertumbuhan kelapa sawit seperti (a) mengurangi defisit air sebesar 51,53% di kebun sawit yang sudah menghasilkan, (b) meningkatkan kadar air tanah harian, (c) mempertahankan status kadar air tanah sampai kedalaman 90 cm, dan (d) menghasilkan pelepah yang lebih banyak.

Penutup

Lahan gambut sangat mudah mengalami perubahan sifat fisika, kimia, dan biologi akibat kesalahan aktivitas manusia seperti pembakaran lahan, pembuatan saluran drainase, penebangan pohon, dan penambangan. Dari total luas lahan gambut, sekitar 6,6 juta hektare telah terdegradasi yang menyebabkan berkurangnya daya dukung lahan, sehingga kapasitas fungsi hidrologi, produksi, dan ekologi menjadi berkurang.

Luas pertanaman kelapa sawit mengalami perkembangan yang sangat signifikan. Saat ini diperkirakan luas pertanaman mencapai 12,31 juta hektare. Sekitar 4,0-4,5 juta hektare dibudidayakan di lahan gambut dan sekitar 2,5 juta hektare merupakan lahan gambut terdegradasi.

Produktivitas kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi tergolong rendah (0,8-1,2 ton/ha/bulan), sehingga tidak menguntungkan petani. Peningkatan daya dukung lahan gambut terdegradasi perlu dilakukan melalui remediasi. Remediasi bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, meningkatkan pendapatan petani, menurunkan emisi GRK, dan memperlambat laju subsidensi.

Remediasi lahan gambut terdegradasi untuk meningkatkan produktivitas kelapa sawit dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi pengelolaan air, ameliorasi, pemupukan, sistem tanam, dan tanaman penutup tanah.

Daftar Pustaka

- Agus, F., A. Dariah, dan A. Jamil. 2013. Kontroversi pengembangan perkebunan sawit pada lahan gambut. Hlm:454-473. *Dalam* Haryono *et al* (Eds.). Politik Pengembangan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD, Jakarta.
- Agus, F., Wahyunto, H. Sosiawan, I.G.M. Subiksa, P. Setyanto, A. Dariah, Maswa, N. L. Nurida, Mamat, I. Las, 2014. Pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi: Trade-off keuntungan ekonomi dan aspek lingkungan. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. BBSDLP. Bogor.
- Andersen, R., C. Wells, M. Macrae and J. Price. 2013. Nutrient mineralisation and microbial functional diversity in a restored bog

- approach natural conditions 10 years post restoration. *Soil Biology & Biochemistry* 64: 37-47.
- Ariyanti, M. 2016. *Peranan Tanaman Penutup Tanah (Nephrolepis biserrata pada Teknik Konservasi Tanah dan Air terhadap Neraca Air di Perkebunan Kelapa Sawit*. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor. 85 hlm.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor. 466 hlm.
- Dariah, A., S. Sutono, N. L. Nurida, W. Hartatik, dan E. Pratiwi. 2015. Pembenah tanah untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2):67-84.
- Dinesh, R., V. Srinivisan, S. Hamza, and A. Manjusha. 2010. Short-term incorporation of organic manures and biofertilizers influences biochemical and microbial characteristics of soil under an annual crop Tumeric (*Curcuma longa*). *Bioresource Technology* 101:4697-4702.
- Dirjenbun. 2017. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017: Kelapa Sawit Dalam Herawati, D. D., dan Y. Arianto (Eds.). *Sekretariat Dirjen Perkebunan*, Dirjen Perkebunan, Kemtan. Jakarta. 69 hlm.
- Disbun Provinsi Riau. 2015. *Data Statistik Perkebunan Provinsi Riau*. Dinas Perkebunan Provinsi Riau. Pekanbaru. 179 halaman.
- Hartatik, W., dan Sarmah. 2013. Pengaruh pemberian pupuk organik terhadap kadar asam humat dan asam fulvat tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim* 38(2):79-86.
- Hirano, T., K. Kusin, S. Limin, and M. Osaki. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Glob. Chang. Biol.* 20:555-565.
- Hooijer, A., S. E. Page, J. Jauhiainen, W. Lee, Idris, and G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences* 9:1053-1071.
- Husnain, H., I. G. P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, and F. Agus. 2014. CO₂ emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang* 19:845-862.
- Husnain, dan D. Nursyamsi. 2015. Peranan bahan organik dalam sistem integrasi sawit-sapi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(1):27-36.
- Jamil, A., Nurhayati, I.N. Istina, Yunizar, dan H. Widyanto. 2012. Penelitian dan Pengembangan teknologi pengelolaan gambut berkelanjutan meningkatkan sequestrasi karbon dan mitigasi gas rumah kaca di Provinsi Riau. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Riau, Pekanbaru. 49 hlm.
- Las, I., M. Sarwani, A. Mulyani, dan M. F. Saragih. 2012. Dilema dan rasionalisasi kebijakan pemanfaatan lahan gambut untuk areal

- pertanian. Hlm:17-29. *Dalam Husen et al (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Maftu'ah, E., A. Maas, A. Syukur, dan B. H. Purwanto. 2013. Efektivitas amelioran pada lahan gambut terdegradasi untuk meningkatkan pertumbuhan dan serapan NPK tanaman jagung manis (*Zea mays* L. Var. *Saccharata*). *Jurnal Agronomi Indonesia* 41(1):16-23.
- Masganti. 2009. Pemanfaatan limbah kelapa sawit dan produktivitas kelapa sawit di lahan kering Kalimantan Tengah. *Agripura* 4(2):529-535.
- Masganti. 2013. Teknologi inovatif pengelolaan lahan suboptimal gambut dan sulfat masam untuk peningkatan produksi tanaman pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(4):187-197.
- Masganti, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, dan Rachmiwati. 2014a. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(1):47-54.
- Masganti, I. G. M. Subiksa, Nurhayati, dan W. Syafitri. 2014b. Respon tanaman tumpangsari (sawit+nanas) terhadap ameliorasi dan pemupukan di lahan gambut terdegradasi. Hlm:117-132. *Dalam Wihardjaka et al (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 18-19 Agustus 2014.
- Masganti, M. Alwi, dan Nurhayati. 2015a. Pengelolaan air untuk budidaya pertanian di lahan gambut: kasus Riau. Hlm:62-87. *Dalam Noor, M. et al (Eds.). Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: Optimasi Lahan Mendukung Swasembada Pangan*. IAARD Press, Badan Litbang, Jakarta.
- Masganti, Nurhayati, Rachmiwati Yusuf, dan Hery Widyanto. 2015b. Teknologi ramah lingkungan dalam budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2): 99-108.
- Masganti, D. Sisriyeni, Nurhayati, S. Swastika, H. Widyanto, W. Safitri, S. Saputra, D. Sipahutar, Agussalim, R. Yusuf, E. Novdiandeni, A. Jalil, dan N. Joni. 2015c. Laporan Akhir Model Pertanian Bioindustri Sawit-Sapi di Kabupaten Kampar, Riau. BPTP Riau, Pekanbaru. 40 hlm.
- Masganti, Nurhayati, H. Widyanto, Syuryati, Nirwan, S. Hamdan, dan A. Jalil. 2015d. Laporan Akhir Monitoring Sifat Fisik dan Kimia Tanah Gambut serta Emisi Gas Rumah Kaca (Lokasi Riau). BPTP Riau, Pekanbaru. 15 hlm.
- Masganti, D. Sisriyeni, Nurhayati, S. Swastika, H. Widyanto, W. Safitri, S. Saputra, D. Sipahutar, Agussalim, R. Yusuf, E. Novdiandeni, A.

- Jalil, dan N. Joni. 2016a. Laporan Akhir Model Pertanian Bioindustri Sawit-Sapi di Kabupaten Kampar, Riau. BPTP Riau, Pekanbaru. 40 hlm.
- Masganti, Nurhayati, H. Widyanto, Syuryati, Nirwan, S. Hamdan, dan A. Jalil. 2016b. Laporan Akhir Model Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi Ramah Lingkungan (Lokasi Riau). BPTP Riau, Pekanbaru. 16 hlm.
- Masganti, E. Maftu'ah, dan N. Wakhid. 2017. Degradasi lahan gambut. Hlm:439-469. *Dalam Masganti et al (Eds.). Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Melling, L., C. S. Yun Tan, K. J. Goh, and R. Hatano. 2013. Soil microbial and root respirations from three ecosystems in tropical peatland of sarawak, Malaysia. *J. Oil Palm Res* 25:44–57.
- Noor, M. 2017. *Kebakaran Lahan Gambut: dari Asap sampai Kanalisasi*. Penerbit Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Nurhayati, S. Saputra, A. D. Putra, I. N. Istiana, dan A. Jamil. 2014. Pengelolaan kesuburan tanah, produktivitas, dan keuntungan sistem tumpangsari (kelapa sawit + Nanas) di lahan gambut Provinsi Riau. Hlm 133-145. *Dalam Wihardjaka et al (Eds.). Prosiding Seminar Nasional: Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi*. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 18-19 Agustus 2014.
- Nurhayati, Masganti, H. Widyanto, Syuryati, dan A. Nirwan. 2015. Laporan Akhir Peningkatan Produktivitas Lahan Gambut Terdegradasi yang Ditanami Kelapa Sawit. BPTP Riau, Pekanbaru. 32 hlm.
- Nurhayati, Masganti, H. Widyanto, Syuryati, dan A. Nirwan. 2016. Laporan Akhir Peningkatan Produktivitas Lahan Gambut Terdegradasi yang Ditanami Kelapa Sawit. BPTP Riau, Pekanbaru. 41 hlm.
- Page, S. E., F. Siegert, J. O. Rieley, H. D. V. Boehm, A. Jaya, and S. Limin. 2012. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61–65.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. 85 hlm.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2015. *Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press. 100 hlm.

- Salwati, R. Purnamayani, Firdaus, dan Endrizal. 2014. Respon tanaman kelapa sawit di lahan gambut terhadap berbagai amelioran (studi kasus Desa Arang-arang Provinsi Jambi). Hlm:161-176. *Dalam* Wihardjaka *et al* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 18-19 Agustus 2014.
- Setyanto, P., T. Sopiawati, T.A. Adriani, A. Pramono, A. Hervani, S. Wahyuni, dan A. Wihardjaka. 2014 Emisi gas rumah kaca dari penggunaan lahan gambut dan pemberian bahan amelioran: sintesis lima lokasi penelitian. Hlm:45-62. *Dalam* Wihardjaka *et al* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional: Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 18-19 Agustus 2014.
- Subowo. 2010. Strategi efisiensi penggunaan bahan organik untuk kesuburan dan produktivitas tanah melalui pemberdayaan sumberdaya hayati tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 4(1):12-25.
- Wahyuni, S., Nurhayati, H. Widyanto, A. Wihardjaka, dan P. Setyanto. 2014. Emisi Gas CO₂ dari tanah gambut yang ditanami kelapa sawit (*Elaeis guinensis*) dan nanas (*Ananas cumocus*) dengan beberapa perlakuan amelioran. Hlm:237-248. *Dalam* Wihardjaka *et al* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 18-19 Agustus 2014.
- Wahyunto, Ai Dariah, D. Pitono, dan M. Sarwani. 2013. Prospek pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit di Indonesia. *Perspektif* 12(1):11-22.
- Wiratmoko, D. Winarna, S. Rahutomo dan H. Santoso. 2008. Karakteristik gambut topogen dan ombrogen di Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara untuk budidaya tanaman kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 16(3):119-126.

INOVASI TEKNOLOGI MASALAH KHUSUS

4

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR DAN BANGUNAN AIR DI LAHAN RAWA MENDUKUNG PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN PANGAN

Muhammad Noor dan Hendri Sosiawan

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA),
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru. 70712. Telp. 0511 4772534.
Website: www.balittra.litbang.pertanian.go.id. Email: m_noor_balittra@yahoo.co.id

Ringkasan

Infrastruktur air di lahan rawa terkait dengan pengembangan pertanian tanaman pangan dalam perspektif menjadikan rawa sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia. Pemerintah merencanakan merehabilitasi dan/atau optimasi lahan rawa seluas 1 juta hektar yang tersebar di Kalimantan, Sumatera, Sulawesi dan Papua melalui perbaikan jaringan tata air, bantuan alsintan dan sarana produksi. Infrastruktur pertanian di lahan rawa umumnya dibangun secara bertahap mengikuti proses pengembangan kondisi tanah dan lingkungannya.. Berdasarkan karakteristik wilayah daerah rawa secara komprehensif, wilayah pengembangan rawa dapat dibagi dalam tiga kategori, yaitu: (1) wilayah yang siap dikembangkan, (2) wilayah setengah siap dikembangkan, dan (3) wilayah yang belum siap dikembangkan. Wilayah yang siap dan setengah siap menjadi prioritas jangka pendek, sedang wilayah yang belum siap menjadi prioritas jangka menengah dan/atau jangka panjang. Adapun tugas dan wewenang perbaikan atau pengembangan infrastruktur air atau jaringan tata air makro berupa saluran-saluran primer dan sekunder berada di bawah Direktorat Rawa dan Irigasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat (PUPR), sedangkan pengembangan dan pengelolaan jaringan tata air mikro (TAM), termasuk saluran tersier dan kuarter berada di bawah Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian (PSP), Kementerian Pertanian. Terkait dengan peningkatan produksi pertanian dalam bidang infrastruktur, pemerintah telah melakukan perbaikan (revitalisasi) saluran dan dam parit meliputi rehabilitasi (optimasi) seluas 134.700 hektar lahan rawa, dengan bantuan *excavator* besar sebanyak 515 unit, pada tahun 2017 sebanyak 215 unit, dan pada tahun 2018 bantuan

excavator sebanyak 300 unit. Pada tahun 2018 juga dilakukan pemberian bantuan berupa alsintan prapanen sebanyak 112.525 unit berupa traktor roda 2 dan traktor roda 4, alat tanam, alat panen, pompa air, dan lainnya. Selain Kementan, BRG berkerja sama dengan Kemen PU, dan Kemendes juga memprogramkan perbaikan infrastruktur jaringan tata air di lahan rawa sehingga dapat berkoordinasi dan sinkronisasi agar dapat saling melengkapi dan terintegrasi satu sama lain.

Pendahuluan

Pemerintah dalam perencanaan pembangunan pertanian telah menetapkan sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) No. 36 Tahun 2016 bahwa kebijakan pengembangan kawasan pertanian didasarkan pada (1) kondisi biofisik wilayah, (2) kondisi sosial budaya masyarakat, (3) faktor produksi, dan (4) infrastruktur penunjang. Kondisi biofisik wilayah pada daerah agroekosistem rawa mempunyai sifat dan watak yang spesifik berbeda dengan agroekosistem pertanian lainnya seperti tadah hujan, lahan kering atau lahan irigasi. Demikian juga, kondisi sosial budaya masyarakat lahan rawa baik pasang surut maupun lahan rawa lebak sekalipun mempunyai corak dan tipikal tersendiri berbeda dengan lahan yang sudah maju seperti lahan irigasi. Dalam hubungannya dengan daya dukung tanah (*soil buffering capacity*) lahan gambut mempunyai risiko subsidensi lebih besar dibandingkan dengan lahan rawa mineral seperti lahan sulfat masam. Demikian juga lahan rawa lebak yang umumnya mempunyai genangan lebih lama mempunyai struktur tanah dan konsistensi lebih lunak atau lemah (*soft*) dibandingkan dengan rawa pasang surut (BALITBANGTAN 2014a; 2014b; 2014c).

Oleh karena itu, pencapaian produksi lahan rawa masih tergolong rendah dan beragam. Perbaikan infrastruktur dan bangunan air diharapkan dapat meningkatkan produksi lahan rawa, khususnya tanaman padi. Infrastruktur merupakan salah satu masalah penting dan mutlak yang harus diperkuat dalam upaya mendukung keberhasilan usaha pertanian di lahan rawa (Noor 2017; Umar 2018). Namun demikian, pengembangan infrastruktur dan bangunan air di lahan rawa perlu mengikuti atau menyesuaikan dengan sifat dan watak baik biofisik lahan maupun kondisi sosial budaya masyarakat setempat (Umar dan Alihamsyah 2014; Umar dan Mayasari 2014).

Luas lahan rawa yang terdiri dari rawa pasang surut dan rawa lebak mencapai 34,12 juta hektar, diantaranya yang berpotensi untuk pertanian dinyatakan sekitar 18,18 juta hektar tersebar di Kalimantan, Sumatera, Papua dan sebagian kecil di Sulawesi (BBSDLP 2015). Namun yang telah direklamasi oleh pemerintah baru mencapai sekitar 3,2 juta hektar dan secara swadaya pembukaan oleh masyarakat mencapai sekitar 3,0 juta hektar sehingga yang tersedia dan dimanfaatkan masyarakat sekitar 6,0-6,5 juta hektar (Subagio *et al.* 2016).

Kebijakan pengembangan kawasan pertanian berdasarkan struktur atau hierarki, membagi kawasan pengembangan menjadi kawasan pertanian nasional, kawasan pertanian provinsi, dan kawasan pertanian kabupaten (Kementan 2017). Namun perwilayahan kawasan pertanian terkesan dibatasi wilayah administratif. Misalnya berdasarkan ketentuan di atas telah disusun untuk kawasan pertanian tanaman pangan terbagi untuk (1) padi berada di 284 kabupaten/kota, (2) jagung berada di 166 kabupaten/kota, dan (3) kedelai berada di 107 kabupaten/kota dan ubi kayu pada 70 kabupaten/kota. Batasan disebut kawasan pertanian tanaman pangan (KPTP) adalah usaha pertanian tanaman pangan yang **disatukan** oleh faktor **alamiah, sosial, budaya, infrastruktur fisik buatan** serta dibatasi oleh kesatuan tipologi untuk mencapai hasil yang maksimal.

Sementara ini, berdasarkan kondisi eksisting, sistem atau usaha pertanian yang berkembang di lahan rawa dapat dipilah dalam 3 (tiga) kategori yaitu (1) usaha tani rakyat ekstensifikasi, (2) usaha tani rakyat semi intensifikasi, dan (3) usaha tani rakyat intensifikasi penuh. Subagio *et al.* (2016) menambahkan bahwa sistem pertanian di lahan rawa ke depan perlu dirancang mengikuti (1) model usaha tani bioindustri dan/atau (2) model usaha tani lumbung pangan. Banyak model pengembangan dalam memajukan sistem pertanian dan kawasan yang diinisiasi secara sektoral, misalnya Kawasan Agropolitan (Rustiadi *et al.* 2008); Kota Terpadu Mandiri (Pemda Barito Kuala 2006); Taman Teknologi Pertanian (TTP) Balitbangtan - Pemko Palangka Raya - UPR 2015). Namun sayang rencana pengembangan kawasan tersebut di atas yang diharapkan bisa membangkitkan kemajuan pertanian dan pedesaan masih belum berhasil bahkan akhir-akhir ini tampak terbengkalai.

Berhubungan dengan sifat dan perkembangan lahan rawa yang semakin kompleks maka konteks pengembangan infrastruktur di lahan rawa perlu

didasarkan pada perihal berikut antara lain: (1) daerah rawa didesain dalam pengembangannya yang sudah ada berdasarkan skim-skim jaringan tata air dengan luasan antara 5.000-10.000 hektar berbasis pada hidrologi dan topografi dalam hubungannya dengan perwilayahan pengelolaan air pada masing-masing Unit Pengelolaan Teknis (UPT); (2) pemukiman daerah rawa bersifat terintegrasi dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan karakteristik lahannya dalam hubungannya dengan satuan hidrologis rawa dan/atau gambut (KHG); (3) usaha pertanian daerah rawa berkembang mengikuti perkembangan historis lahan dan kebutuhan pasar sehingga perlu memperhatikan potensi dan kemampuan petani dalam hubungannya perwilayahan komoditas (Noor 2014).

Tulisan ini akan mengemukakan tentang pengembangan infrastruktur dan/atau bangunan air di lahan rawa terkait dengan pengembangan pertanian tanaman pangan dalam perspektif menjadikan rawa sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia. Uraian selanjutnya akan mengemukakan dinamika pengembangan infrastruktur meliputi kondisi eksisting dan program pemerintah ke depan dalam upaya pengembangan lahan rawa 1 juta hektar.

Dinamika Pembangunan Infrastruktur Lahan Rawa

Infrastruktur yang dimaksudkan adalah dukungan bangunan pengembangan pertanian di lahan rawa meliputi saluran-saluran dari primer sampai kuarter, termasuk yang dipakai sebagai *long storage*; pintu-pintu air atau bangunan air seperti tabat atau dam parit, embung, sumur pompa air dangkal, rumah pompa, pompa axial, pompa air biasa; jalan-jalan desa, jalan usaha tani, tanggul keliling atau sejenisnya. Infrastruktur pertanian ini umumnya dibangun secara bertahap mengikuti proses pengembangan kondisi tanah dan lingkungannya. Berdasarkan sudut pandang teknik sipil yang banyak berhubungan dengan rekayasa lingkungan (Dir. Rawa dan Pantai 2009) telah disusun strategi pengembangan lahan rawa yang dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu:

- **Tahap Pengembangan I**, tahap ini pengembangan ditujukan untuk pertanian sederhana tadah hujan dengan pola tanam hanya satu kali setahun (IP 100). Dilakukan pembangunan sistem saluran terbuka dan bangunan pengatur air sederhana sehingga proses ameliorasi bisa dimulai. Produktivitas lahan tidak terlalu tinggi cukup untuk

memenuhi kebutuhan keluarga (subsisten) saja. Transportasi menggunakan sarana perahu dengan memanfaatkan saluran dan sungai sebagai alur jalan lalu lintas.

- **Tahap Pengembangan II**, tahap ini dari hasil produksi pertanian diharapkan terjadi peningkatan kegiatan ekonomi menengah. Pola tanam meningkat menjadi dua kali setahun (IP 200). Industri agro-proses berlangsung, sistem drainase semi tertutup. Sistem jaringan jalan intern dan transportasi antar area mulai dibangun. Jaringan tata air dilengkapi dengan bangunan-bangunan pengatur air sehingga dapat meningkatkan kualitas lahan guna mewujudkan produksi yang lebih baik untuk menunjang kehidupan petani secara layak.
- **Tahap Pengembangan III**, tahap ini merupakan tahap pertanian komersial, musim tanam ganda, pertanian terpadu, pertumbuhan ekonomi berkesinambungan, pengembangan industri, sistem tata air yang terkendali, infrastruktur jalan mantap. Pengelolaan air yang terkendali penuh sedemikian sehingga kebutuhan air untuk tanaman dapat terpenuhi dengan baik, sekaligus air berlebih dapat dibuang ke luar areal pertanian. Tahap III ini secara umum mengacu pada sistem polder. Produktivitas lahan yang tinggi diharapkan mendorong peningkatan kesejahteraan petani/masyarakat. Tahap pengembangan III ini membutuhkan sejumlah prasyarat harus dipenuhi antara lain: (1) tingkat kematangan tanah/lahan; (2) kesiapan sistem O & P (Operasional dan Perawatan), (3) kesiapan pemangku kepentingan (*stakeholder*), dan (4) dukungan sektor-sektor lainnya melalui komitmen yang konsisten.

Berdasarkan sejarah pengembangan rawa, maka sebagian besar daerah rawa yang dibangun antara tahun 1969-1995 seharusnya sudah berada pada Tahap Pengembangan III, tetapi pada kenyataannya masih banyak yang berada pada tahap pengembangan II bahkan I. Dari segi pola tanam di lahan rawa pasang surut 90% masih menerapkan pola tanam sekali setahun (IP 100). Hal ini karena dukungan sebagaimana yang dipersyaratkan belum terpenuhi, termasuk infrastruktur sistem jaringan tata air dan bangunan airnya belum terpenuhi secara keseluruhan (Subagio *et al.* 2015).

Berdasarkan kondisi eksisting atau karakteristik wilayah daerah rawa secara komprehensif, wilayah pengembangan rawa dapat dibagi dalam tiga kategori, yaitu (1) wilayah yang siap dikembangkan, (2) wilayah setengah

siap dikembangkan, dan (3) wilayah yang belum siap dikembangkan. Istilah siap dan belum siap didasarkan pada kondisi infrastruktur, sumber daya manusia, kelembagaan dan perangkat lainnya (BBSDLP 2011; Haryono *et al.* 2012).

- **Wilayah Siap Dikembangkan**, yaitu daerah rawa yang sudah tersedia jaringan tata air reklamasinya, tetapi belum optimal; sumber daya manusia (petani) maju, rajin, ulet, dan inovatif; kelembagaan petani sudah maju mempunyai kelompok tani dengan kategori maju. Daerah rawa yang masuk dalam kategori ini yang dibangun pada era P4S (1969-1980) mempunyai jaringan tata air lengkap, umumnya daerah transmigrasi yang sudah memasuki generasi kedua, kelembagaan atau kelompok tani sudah maju.
- **Wilayah Setengah Siap Dikembangkan**, yaitu daerah rawa yang jaringan tata airnya masih belum berkembang atau sudah mengalami penurunan, sumber daya manusia (petani) maju, rajin, ulet, dan inovatif; kelembagaan petani sudah maju mempunyai kelompok tani dengan kategori maju. Daerah rawa yang masuk dalam kategori ini yang dibangun pada era sebelum kemerdekaan, sistem handil atau anjir sudah mempunyai jaringan tata air belum lengkap, umumnya daerah penduduk lokal yang sudah memasuki generasi ketiga, masih menerapkan sistem budidaya tradisional, kelembagaan atau kelompok tani belum berkembang atau berfungsi sebagai pendorong untuk kemajuan pertanian intensif. Daerah ini termasuk kawasan PLG Sejuta Hektar karena jaringan tata airnya sudah mengalami penurunan fungsi sebagian pintu-pintu air rusak berat.
- **Wilayah Belum Siap Dikembangkan**, yaitu daerah rawa yang belum dibangun jaringan tata airnya, sumber daya manusia (petani) dan kelembagaan. Daerah rawa yang masuk dalam kategori ini masih alami atau daerah yang dibiarkan atau ditinggalkan penduduknya karena pindah atau mencari usaha di luar lokasi. Daerah rawa ini merupakan potensi untuk dikembangkan dalam jangka panjang sehingga menjadi prioritas terakhir dalam pengembangan atau untuk jangka panjang karena memerlukan perencanaan dan pembukaan reklamasi dengan pembuatan jaringan tata air. Daerah ini termasuk kawasan rawa yang sedang disiapkan di Papua untuk lumbung pangan masa depan.

Selektivitas dalam menentukan lahan dan sumberdaya pengelolanya merupakan salah satu kunci dalam keberhasilan pengembangan lahan rawa sebagai lumbung pangan masa depan. Prioritas pertama tentunya dalam konteks pemberdayaan masyarakat petani, maka upaya pelatihan dan pembinaan terhadap sumberdaya manusia petani dalam kerangka perbaikan sikap mental dan etos kerja diperlukan. Peranan kelembagaan petani dalam upaya perbaikan sikap mental dan pengelolaan yang baik dan efisien dalam menjalankan usaha taninya sangat penting dan mutlak. Wilayah rawa yang telah didukung oleh infrastruktur air atau tata air yang lebih baik, lokasi strategis dari aspek kedekatan dengan sungai atau laut sehingga mempunyai aliran air pasang surut langsung, dan kualitas sumber manusia serta kelembagaan petaninya yang baik telah berkembang menjadi sentra-sentra produksi padi sehingga tingkat pendapatan usaha taninya lebih baik dibandingkan wilayah-wilayah yang infrastruktur air atau jaringan tata airnya belum memadai atau tidak berfungsi.

Pengembangan Infrastruktur Lahan Rawa ke Depan

Dalam pembangunan infrastruktur di lahan rawa, pemerintah melalui Direktorat Rawa dan Irigasi (2009), sebelumnya Direktorat Rawa, dan sekarang Direktorat Irigasi dan Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat (PUPR) untuk saluran-saluran primer dan sekunder, dan melalui Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian (PSP), Kementerian Pertanian untuk saluran tersier atau tata air mikro (TAM). Pembangunan dan pengelolaan daerah rawa secara teknis dibagi menurut luas yang dikembangkan, apabila luas > 3.000 hektar maka merupakan wewenang pemerintah pusat (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) melalui Balai Rawa, Kemen PUPR, apabila luas 1.000-3.000 hektar merupakan wewenang Dinas Pekerjaan Umum Provinsi, dan apabila < 1.000 hektar merupakan wewenang Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten.

Kegiatan pengembangan lahan rawa sejak tahun 1995 lebih berorientasi pada upaya rehabilitasi melalui pembangunan atau pembuatan tanggul air, pintu-pintu air, dam parit dan *long storage* (tabat), embung, jalan usahatani, saluran tersier, dan penyediaan pompa-pompa air untuk keperluan pada musim kemarau, termasuk percetakan sawah. Tabel 1 menunjukkan daftar bantuan pemerintah untuk infrastruktur dalam bentuk pembangunan dan perbaikan (revitalisasi) saluran dan parit meliputi rehabilitasi dan/atau

optimasi lahan dalam bentuk hamparan (skala 25-100 hektar per unit bantuan) seluas 134.700 hektar, bantuan *excavator* besar sebanyak 515 unit, pada tahun 2017 sebanyak 215 unit, dan pada tahun 2018 bantuan *excavator* sebanyak 300 unit. Pada tahun 2018 juga dilakukan pemberian bantuan berupa alsintan prapanen sebanyak 112.525 unit berupa traktor roda 2 dan traktor roda 4, alat tanam, alat panen, pompa air dan lainnya.

Selain Kementerian Pertanian, dari Kementerian Desa dan Daerah Tertinggal (Kemendesdati) di bawah Direktorat Jenderal Pembangunan dan Pengembangan Masyarakat Desa (2017) juga memprogramkan pembuatan infrastruktur pengelolaan air yang tersebar di beberapa provinsi antara lain: (1) embung sebanyak 1.154 unit; (2) dam parit sebanyak 2.673 unit; (3) *long storage* 717 unit, (4) pompa 2.373 unit, dan (5) perbaikan/pembuatan saluran air sebanyak 2.141 ha (Suprapedi 2017). Balai Rawa Pusat Penelitian Sumber Daya Air, Kementerian PUPR bersama-sama dengan para ahli di lingkungan Perguruan Tinggi dan Balitbangtan telah merancang penyusunan Pedoman Perencanaan dan Perhitungan *Long Storage* dengan sistem pompa yang diimplementasikan pada pengembangan lahan rawa di Papua (Anonim 2018a) dan Pedoman Perencanaan dan Perhitungan *Canal Blocking* tipe *Drainpile* yang direncanakan diimplementasikan pada kawasan lindung (Anonim 2018b)

Tabel 1. Program bantuan dari Direktorat Jenderal PSP, Kementan 2018-2019

No	Kegiatan	Target	
		2018	2019
1	Rehabilitasi jaringan irigasi (ha)	134.700	100.000
2	Irigasi perpompaan (unit)	1.071	1.071
3	Pembangunan embung (unit)	400	400
4	Dam prit/long storage (ha)	500	500
5	Cetak sawah (ha)	12.000	12.000
6	Optimalisasi Lahan Rawa (ha)	23.800	35.586
	Alsintan Prapanen	112.525	112.525
	- Traktor roda 2 (unit)	30.000	30.000
	- Traktor roda 4 (unit)	3.400	3.400
	- Pompa air (unit)	35.000	35.000
	- Rice transplanter (unit)	4.250	4.250
	- Excavator (unit)	75	75

No	Kegiatan	Target	
		2018	2019
	- Sprayer Pertanian (unit)	27.800	27.800
	- Corn Planter (unit)	9.000	9.000

Sumber: Dirjen PSP, Kementan (2018)

Pembangunan dan pembuatan infrastruktur dam parit atau sekat kanal dan sumur pompa khususnya di lahan gambut juga dilakukan oleh Badan Restorasi Gambut (BRG) yang bertujuan lebih kepada untuk pencegahan kebakaran lahan. Rencana BRG tahun 2018-2019 akan membuat sebanyak 354 unit sumur bor, 93 sekat kanal primer, dan 109 sekat kanal sekunder seperti di Kalimantan Selatan tahun 2018 (Tabel 2). Oleh karena itu, kegiatan infrastruktur air ini terkait dengan lokasi-lokasi yang bersinggungan dengan pengembangan lahan rawa untuk pertanian ke depan ini perlu koordinasi dan sinkronisasi dengan pihak BRG di atas sehingga saling mendukung.

Tabel 2. Rencana kegiatan restorasi lahan gambut di wilayah Kalimantan Selatan tahun 2018

No	Lokasi KHG	Infrastruktur Pembasahan Gambut		
		Sumur Bor	Sekat Kanal Primer	Sekat Kanal Sekunder
1	Sungai Barito-Sungai Tapin	112	66	56
2	Sungai Utar-Sungai Serapat	220	10	18
3	Sungai Balangan - Sungai Batang Alai	22	6	24
4	Sungai Barito- Sungai	-	11	11
5.	Kalimantan Selatan	354	93	109

Sumber : TRGD Kalsel (2018)

Dukungan infrastruktur embung dan dam parit dan *long storage* menunjukkan hal baru dan peningkatan yang pesat selama tiga tahun terakhir (2017-2019). Oleh karena itu, uraian berikut memberikan beberapa informasi dan masalah yang dihadapi terkait dengan model dan bentuk infrastruktur embung; dam parit & *long storage*; dan sumur bor yang masih belum mempunyai standar (baku).

Embung

Embung merupakan kolam penyedia cadangan air untuk mengantisipasi kekeringan di musim kemarau juga dapat berfungsi dan mengatasi genangan yang tidak terkendali di musim hujan. Embung yang baik atau ideal dilapisi bahan kedap untuk meminimalkan kehilangan air. Embung jenis ini biasanya dibuat dalam ukuran yang terbatas berada di lingkungan pemukiman sehingga mudah diakses masyarakat setempat (Gambar 1). Embung dimaksud harus terletak di sebelah hulu lahan pertanian.

Kapasitas embung pertanian harus disesuaikan dengan potensi dan kebutuhannya untuk irigasi. Air embung tidak saja bermanfaat bagi pertanian tetapi juga untuk memenuhi keperluan hidup sehari-hari. Embung yang sumber airnya dari air hujan relatif lebih bersih sehingga lebih sesuai untuk memenuhi kebutuhan domestik.



Gambar 1. Embung yang dibangun di Toli-toli, Sulawesi Selatan dan di Solok, Sumatera Barat

Sumber: Dok. Hendri S & M.Noor/Balittra, 2018.

Dam Parit dan Long Storage

Dam parit serupa dengan dengan embung, hanya saja dam parit dapat memanfaatkan saluran/parit yang sudah tersedia yang menjadi penyedia cadangan air untuk mengantisipasi kekeringan di musim kemarau dan juga dapat berfungsi mengatasi genangan yang tidak terkendali di musim hujan. Pada lahan rawa pasang surut yang sudah mempunyai saluran-saluran tersier dapat dibuat dam parit dengan membuat pintu dam sejenis tabat berjarak 200-500 m pada muara saluran keluar dan/atau untuk membatasi keluarnya air. Gambar 2 menunjukkan dam parit yang dibangun di rawa pasang surut Desa Tamban Baru Tengah, Kapuas yang difasilitasi oleh Ditjen PSP pada tahun 2017. Selain Kementerian Pertanian, Badan Restorasi Gambut (BRG) atau Tim Restorasi Gambut Daerah (TRGD) di masing-masing provinsi rawan kebakaran lahan juga mempunyai program pembuatan sekat kanal yang fungsinya untuk konservasi air pada saluran sekunder dan primer, khusus di lahan gambut yang berada di wilayah lahan rawa.



Gambar 2. Dam Parit di lahan rawa pasang surut

Sumber: Dok. Hendri S/Balittra 2018.

Teknologi Sumur Air Tanah Dangkal

Pemanfaatan air tanah merupakan alternatif dalam memenuhi kebutuhan air pada musim kemarau atau dalam keadaan iklim kering. Sumur bor dalam (>100 m) yang umum dibangun sebagai alternatif untuk mengairi sawah dinilai kurang efektif dan tidak efisien karena biaya

operasi pompa (kapasitas 10 liter per detik) yang digunakan berbiaya terlalu mahal (15 liter solar per 10 jam atau setara Rp150 ribu per hari). Pembuatan sumur dangkal memerlukan informasi/peta topografi, tutupan lahan, elevasi, lanskap, lahan, kontur, elevasi; arah aliran air permukaan, luasan genangan, kedalaman genangan rencana; luas dan volume genangan. Gambar 3 menunjukkan contoh sumur air tanah dangkal.



Gambar 3. Sumur bor dangkal lahan rawa, Sulbar

Sumber: Dok. M. Noor/Balittra 2017.

Berdasarkan hasil survei pemantauan terbatas ditemukan beberapa kendala lapangan antara lain:

1. Belum ada standar bentuk dan desain bangunan air seperti embung atau dam parit dan *long storage* sehingga ke depan perlu diupayakan adanya bentuk/desain standar/baku.
2. Belum ada survei dan peta detail lokasi yang membutuhkan infrastruktur embung, dam parit dan *long storage* sehingga ada beberapa bangunan air yang sudah dibangun ternyata tidak bermanfaat atau tidak berdaya guna.
3. Banyak bangunan air yang sudah dibangun ternyata tidak ada perawatan sehingga mengalami kerusakan dan terbengkalai tanpa berguna sama sekali.

Oleh karena itu, diperlukan pembentukan kelembagaan petani dalam hubungannya dengan pengelolaan air. Walaupun sudah ada kelembagaan seperti P3A (Pengumpulan Petani Pemakai Air), namun belum mempunyai aktivitas yang optimal sebagaimana harapan. Kegiatan terkait dengan perawatan dan pemeliharaan bangunan air belum terlaksana dengan baik.

Penutup

Pengembangan lahan rawa dalam konteks pengembangan infrastruktur dan bangunan air merupakan kunci keberhasilan pengembangan lahan rawa. Perancangan infrastruktur dan bangunan air di lahan rawa perlu didasarkan pada desain jaringan tata air yang sudah ada dalam hamparan yang terintegrasi dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan karakteristik lahan serta petani yang menjadi pelaku sehingga ada tahapan pengembangan, pemilihan lokasi, pembinaan dan pengawasan secara berkelanjutan dan berkesinambungan.

Pengembangan infrastruktur bangunan air di lahan rawa perlu ada standar baku bentuk baik embung, dam parit atau *long-storage*, dan sumur pompa, termasuk pintu air pada masing-masing tipologi lahan sehingga dapat dimanfaatkan secara berkesinambungan dan berkelanjutan.

Pembuatan infrastruktur bangunan air di lahan rawa perlu didasarkan pada survei dan peta detail sesuai dengan kebutuhan secara komprehensif sehingga tidak merusak tata hidrologi kawasan DAS secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2018a. Rancangan Awal Pedoman Perencanaan dan Perhitungan *Canal Blocking* Tipe Drainpile. Bahan Diskusi pada Focus Group Discussion (FGD), Balai Rawa Banjarmasin, Pusat Penelitian Sumber Daya Air, Kemen PUTR, 16 Novermber 2017 di Novotel Banjarbaru.
- Anonim, 2018b. Rancangan Awal Pedoman Perencanaan dan Perhitungan Longstorage dengan Sistem Pompa. Bahan Diskusi pada Focus Group Discussion (FGD), Balai Rawa Banjarmasin, Pusat Penelitian Sumber Daya Air, Kemen PUTR, 16 Novermber 2017 di Novotel Banjarbaru.
- BALITBANGTAN, 2014a. Pedoman Umum Pengelolaan Lahan Sulfat Masam untuk Pertanian Berkelanjutan. Dalam Dedi Nursyamsi et

- al. (Eds). Badan Penelitian dan Pengembanagn Pertanian. IAAARD Press. 58 hlm.
- BALITBANGTAN, 2014b. Pedoman Umum Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan. Dalam Dedi Nursyamsi et al. (Eds). Badan Penelitian dan Pengembanagn Pertanian. IAAARD Press. 68 hlm.
- BALITBANGTAN, 2014c. Pedoman Umum Pengelolaan Lahan Rawa Lebak untuk Pertanian Berkelanjutan. Dalam Dedi Nursyamsi et al. (Eds). Badan Penelitian dan Pengembanagn Pertanian. IAAARD Press. 62 hlm.
- BALITBANGTAN, 2015. Petunjuk Teknis Penentuan Sumber Daya Air dan Jenis Irigasi Suplementer. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta. 35 hlm.
- BALITBANGTAN-PEMKO PALANGKA RAYA-UPR, 2015. Grand Design Taman Teknologi Pertanian (TPP) Banturung Garing Hataang, Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Badan Peneltian dan Pengembangan Pertanian bekerja sama dengan Pemerintah Kota Palangka Raya dan Universitas Palangka Raya. Palangka Raya. 69 hlm.
- BALITTRA, 2011. State of the Art & Grand Design Pengembahan Lahan Rawa. Penyunting M. Nooor et.al. (eds). Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Balitbangtan. Jakarta. 98 hlm.
- BBSDLP, 2015. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan. Laporan Teknis 1/BBSDLP/2014. Cetakan 2015. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 100 hlm.
- Dir. Rawa dan Pantai, 2009. Pengelolaan Lahan Rawa di Indonesia. Direktorat Rawa dan Pantai, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta. 209 hlm.
- Haryono, M. Noor, M. Sarwani, H. Syahbuddin. 2012. *Lahan Rawa: Penelitian dan Pengembangnya*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 104 hlm.
- Kementan dan IPB, 2016a. *Penentuan Lokasi, Rancangan dan Pembuatan Embung untuk Pertanian: Upaya Menghadirkan Solusi Permanen Mengatasi Krisis Kekeringan*. Penyunting Budi Indra Setiawan et al. (eds). Kementerian Pertanian dan Institut Pertanian Bogor. Jakarta/Bogor. 38 hlm.
- Kementan dan IPB, 2016b. *Pemetaan, Pemboran dan Pemanfaatan Air Tanah Bersama Masyarakat di Indramayu: Upaya Menghadirkan Solusi Permanen*

- Mengatasi Krisis Kekeringan*. Penyunting Budi Indra Setiawan et al. (eds). Kementerian Pertanian dan Institut Pertanian Bogor. Jakarta/Bogor. 36 hlm.
- Kementan, 2017. Peraturan Menteri Pertanian No. 36 Tahun 2017 tentang Pembentukan Kawasan Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Noor, M. 2014. Teknologi pengelolaan air menunjang optimalisasi lahan dan intensifikasi pertanian di lahan rawa pasang surut. *Majalah Pengembangan Inovasi Pertanian*: Vol. 7(2):95-104. Balitbangtan. Jakarta.
- Noor, M., H. Subagio, dan D. Nursyamsi. 2014. Pengelolaan air dalam perspektif pengembangan pertanian di lahan rawa pasang surut. Hlm 1-8. *Dalam* M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (eds). *Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: optimalisasi lahan Mendukung Swasembada Pangan*. Balitbangtan. Kementan. Jakarta.
- Noor, M. 2014. Reposisi arah dan strategi pengembangan lahan rawa pasang surut untuk mendukung kedaulatan pangan nasional. *Policy Brief 2016-2017*.
- Subagio, H, M. Noor, Wahida A. Yusuf, dan Izhar Khairullah. 2016. *Perspektif Pertanian Lahan Rawa: Mendukung Kedaulatan Pangan*. AARD Press. Jakarta/Bogor. 108 hlm.
- Subagio, H. dan M. Noor, 2017. Perspektif lahan rawa dalam mendukung lumbung pangan dunia. Hlm. 631-672. *Dalam* Masganti et al. (eds). *Agroekologi Lahan Rawa*. IAARD Press. Jakarta.
- Suprapedi. 2017. Sinergi Intervensi Pembangunan dan Pengembangan Embung Desa. Makalah disampaikan pada Rapat Kerja Balitbangtan, Kementan. Palu, tanggal 15-17 Februari 2017.
- Rustiadi, E dan E. E. Dardak. 2008. *Agropolitan: Strategi Pengembangan Pusat Pertumbuhan pada Kawasan Pedesaan*. Crestpent Press bekerja sama dengan Direktorat Jenderal Penataan Ruang. Bogor/Jakarta. 187 hlm
- TRGD Kalimantan Selatan 2018. Pemaparan Ketua Tim Restorasi Gambut Daerah (TRGD) Kalimantan Selatan, Drs. Saut Nathan Samosir, MBA. Banjarmasin, 30 Mei 2018.
- Umar, S dan T. Alihamsyah. 2014. *Mekanisasi Pertanian : Untuk produksi Padi di Lahan Rawa Pasang Surut*. IIRD Press. Balitbangtan. 176 hlm.
- Umar, S. dan V. Mayasari. 2014. Desain jaringan tata air dan model pintu air untuk budidaya padi di lahan rawa pasang surut. Hlm. 102-116. *Dalam* M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, M. Thamrin, dan H. Subagio (eds). *Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: Optimalisasi Lahan Mendukung Swasembada Pangan*. Balitbangtan. Kementan. Jakarta.

Umar. 2018. Swasembada Pangan: Revitalisasi Jaringan Irigasi. Hlm 137-144. Dalam Kumpulan Policy Brief: Kebijakan Sumber Daya Lahan Pertanian dalam Pembangunan Pertanian. BBSDLP, Balitbangtan, Kementan, Bogor/Jakarta.

TUMBUHAN RAWA SUMBER PUPUK ORGANIK

Nurita dan R. Smith Simatupang

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet Loktabat, Banjarbaru, Kalsel
Nurita.balittra@gmail. Com

Ringkasan

Lahan rawa adalah salah satu tipologi lahan yang dijumpai di Indonesia, memiliki keragaman hayati (flora dan fauna) yang beragam, potensinya cukup luas yakni mencapai 33,4 juta ha terdiri atas 20,12 juta ha lahan rawa pasang surut dan 12,28 juta ha lahan rawa lebak. Tumbuhan atau flora berupa pohon-pohonan (kayu-kayuan), perdu, semak belukar dan bentuk lainnya merupakan kekayaan dan sumberdaya alam yang sangat bermanfaat, baik untuk menjaga kelangsungan ekosistem, kehidupan makhluk hidup lainnya maupun sebagai sumber bahan organik melalui pemanfaatan biomasnya. Ribuan jenis tumbuhan yang tumbuh dan berkembang di lahan rawa: disebut sebagai tumbuhan rawa diantaranya dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik yang dapat dikembalikan ke dalam tanah baik secara *in-situ* maupun *eks-situ* untuk menambah kadar bahan organik tanah, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah dan meningkatkan kesuburan tanah sehingga produktivitasnya meningkat dan dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Beberapa jenis tumbuhan rawa memiliki kandungan unsur hara yang bermanfaat untuk mensubstitusi unsur hara yang dibutuhkan tanaman dan terbukti dapat meningkatkan produksi tanaman. Beberapa spesies gulma yang dominan di lahan rawa pasang surut dan rawa lebak kaya akan kandungan hara tertentu seperti N, P dan K sehingga dapat difungsikan sebagai sumber dan/atau mensubstitusi hara tertentu. Spesies gulma di lahan rawa pasang surut tersebut seperti Purun tikus (*Eleocharis dulcis*), Bulu babi (*Eleocharis retroflaxa*), Kerisan (*Rhynchospora corymbosa* L) dan Puyangan/Bura-bura (*Panicum repens*) berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk organik setelah dikomposkan

dan mampu mensubstitusi hara N, P dan K, dan dapat dijadikan sebagai bahan amelioran untuk memperbaiki sifat kimia maupun fisik tanah. Di lahan rawa lebak jenis tumbuhan seperti Kayapu (*Pistia stratiotes* L) yang tumbuh menutupi seluruh permukaan tanah berpotensi dijadikan sumber bahan/pupuk organik dan/atau mulsa *in-situ* untuk mengendalikan lajunya penguapan air pada musim kemarau.

Pendahuluan

Flora atau tumbuhan merupakan kekayaan dan sumberdaya alam yang tumbuh dan berkembang pada suatu kawasan atau habitat tertentu. Flora yang tumbuh pada suatu kawasan berupa pohon-pohonan (kayu-kayuan), perdu, semak belukar dan bentuk lainnya. Lahan rawa kaya akan keanekaragaman flora tropika yang unik, dimana setiap tumbuhan yang hidup di alam raya ini sudah mempunyai fungsi dan manfaat tertentu dalam kehidupan manusia. Di kawasan lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah ditemukan lebih 1.000 jenis tumbuhan liar yang dapat beradaptasi baik pada berbagai tipologi lahan (Asikin 2014).

Flora rawa tersebut umumnya di dalam ekosistem pertanian sebagian besar dapat dipandang sebagai gulma atau organisme pengganggu tanaman, karena memiliki daya kompetisi yang tinggi, dapat tumbuh secara cepat, dan daya serap yang tinggi terhadap unsur-unsur yang tersedia di tanah (Ross dan Lembi 1988 *dalam* Simatupang *et al.* 2015). Disisi lain, dari beberapa jenis flora rawa ini baik secara langsung maupun tidak langsung berpotensi dijadikan bahan dasar/sumber pupuk organik sebagai pasokan unsur hara ke dalam tanah sehingga ketergantungan terhadap pupuk anorganik dapat dikurangi.

Pemanfaatan biomassa tumbuhan rawa sebagai bahan organik sumber unsur hara dan pembenah tanah merupakan salah satu kearifan lokal yang sudah berkembang ratusan tahun di lahan rawa pasang surut. Pemanfaatan biomassa gulma secara *in-situ* adalah merupakan cara yang mudah dan praktis serta ramah lingkungan sekaligus dapat meningkatkan produktivitas lahan rawa (Alwi *et al.* 2017). Sejumlah tumbuhan rawa mempunyai potensi sebagai bahan organik karena memiliki kandungan hara yang tinggi. Sebagai sumber bahan organik yang dimasukkan ke dalam tanah dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Pupuk organik dapat meningkatkan kapasitas tukar kation, kapasitas memegang air, mengandung unsur hara makro dan mikro, mengkhelat logam berat

serta meningkatkan populasi mikroorganisme yang dapat melarutkan fosfat maupun yang dapat menambat nitrogen dari udara.

Suku Banjar, Melayu dan Bugis di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan sejak dulu secara turun temurun telah memanfaatkan biomassa tumbuhan liar/gulma secara *in-situ* pada tanaman padi sebagai bahan organik dan sumber unsur hara yang pemanfaatannya dilakukan bersamaan dengan penyiapan lahan yang merupakan kearifan lokal (*local wisdom*), berdasarkan pengetahuan petani (*indigenous knowledge*) dan untuk meningkatkan bahan organik tanah dan kesuburan (Simatupang *et al.* 2015).

Bahan organik atau pupuk organik memegang peranan penting dalam sistem produksi dan/atau untuk memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah. Penerapan teknik budidaya yang kurang sesuai dalam usahatani seperti membakar berangkasan limbah panen dan gulma saat penyiapan lahan mendorong terjadinya degradasi lahan. Pembakaran lahan dapat mengakibatkan terjadinya perubahan sifat kimia tanah diantaranya dapat meningkatkan pH tanah, P dan kation basa, namun akan menurunkan cadangan C-organik dan N di dalam tanah. Apabila pembakaran dilakukan terus menerus dalam jangka panjang akan mengakibatkan penipisan atau hilangnya lapisan humus/gambut sehingga terjadi pemasaman tanah dan kerusakan lingkungan salah satunya ditandai dengan penurunan kandungan bahan organik tanah.

Kandungan bahan organik merupakan indikator penting dari kualitas fisik tanah. Kandungan C-organik sebesar 11-32 g/kg atau setara dengan 1,1-3,2% dapat memperbaiki sifat-sifat hidrolik, ketahanan dan stabilitas tanah, berkorelasi positif dengan nilai C-organik yang lebih tinggi (Yatno 2011). Kandungan bahan organik yang ideal untuk pertumbuhan tanaman palawija dan sayuran yang optimal diperlukan sekitar 5% C-organik tanah (Fauziati 2010). Liu *et al.* (2010) melaporkan, di Cina rata-rata tingkat penurunan tahunan bahan organik tanah adalah 0,5%, sedangkan tingkat penurunan rata-rata tahunan bahan organik tanah pada tanah-tanah yang tererosi berat adalah 1,35%. Keberadaan bahan organik, terutama pada tanah-tanah mineral (liat) di lahan rawa dijadikan indikator untuk menentukan tingkat kesuburan tanah. Sekitar 69% tanah di Indonesia masuk pada kategori rusak parah yang disebabkan penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan (Retno 2018).

Selama ini kekurangan unsur hara lebih banyak diimbangi dengan menambahkan pupuk kimia (anorganik), karena kandungan unsur haranya lebih tinggi bila dibandingkan dengan pupuk organik. Garam yang diberikan dalam tanah akan mendispersi tanah sehingga tanah tersebut menjadi lembab, tetapi tanaman kekurangan air. Disamping itu pemberian pupuk anorganik secara terus menerus akan membuat lahan pertanian menjadi keras sehingga hara yang terdapat di dalam tanah sulit terserap (Anonim 2010). Penggunaan pupuk anorganik yang terus menerus membuat tanah menjadi padat, dimana residunya memadat dalam tanah. Selain itu penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dapat membunuh mikroorganisme yang berperan membuat pori-pori tanah (Nurul 2010).

Penambahan pupuk organik ke dalam tanah secara kontinu merupakan salah satu upaya agar tidak terjadi degradasi lahan. Pemadatan atau pengerasan tanah dapat dicegah dengan pemberian pupuk organik. Pemberian pupuk organik akan meremahkan struktur tanah (fisik tanah) sehingga lebih gembur, sebagai penyedia hara bagi tanaman dan mikroba pada tanah (biologi). Bahan organik memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung produktivitas tanaman, sehingga jika bahan organik tanah menurun, kemampuan tanah untuk mendukung produktivitas tanaman juga akan menurun. Pemberian bahan organik dalam jangka panjang mampu mempertahankan lahan dari proses degradasi lahan, juga akan memperbaiki kualitasnya, sehingga produktivitas tidak menurun dari tahun ke tahun (Anonim 2010).

Bagian dari buku ini merupakan kumpulan dari hasil-hasil penelitian dan hasil studi dari beberapa tulisan terkait tumbuhan rawa dan bahan/pupuk organik. Tulisan ini disusun bertujuan untuk menginformasikan tentang manfaat tumbuhan rawa sebagai sumber bahan organik dan/atau unsur hara yang digunakan sebagai pupuk organik dalam meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman di lahan rawa.

Potensi Tumbuhan Rawa

Keragaman dan Dominasi

Di lahan rawa tumbuh dan berkembang beragam tumbuhan (flora), baik berupa pohon-pohonan (kayu-kayuan), perdu atau semak belukar serta berbagai jenis rumput-rumputan. Hasil inventarisasi dan identifikasi

di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan dan Tengah ditemukan sebanyak 181 spesies dari 51 famili, yakni 110 spesies golongan berdaun lebar, 40 spesies golongan rumput dan 31 spesies golongan teki. Tumbuhan tersebut tumbuh di lahan sawah (sedang diusahakan, sedang mengalami bera maupun lahan yang terlantar, di lahan bagian atas, galangan, di pinggir sungai, pinggir jalan dan di tempat-tempat lainnya (Budiman *et al.* 1988 dalam Asikin *et al.* 2008).

Dominasi spesies gulma dipengaruhi dan tergantung dengan tipologi lahan, kemasaman tanah dan pemanfaatan lahannya. Pada tipologi lahan sulfat masam akan didominasi oleh jenis gulma yang tumbuh dan toleran pada tanah yang memiliki kemasaman tinggi ($\text{pH} < 4,0$), diantaranya adalah Purun tikus (*Eleocharis dulcis*), Bulu babi (*Eleocharis retroflaxa*), Kerisan (*Rhynchospora corymbosa* L) dan Puyangan/Bura-bura (*Panicum repens*) (Gambar 1). Lahan yang dimanfaatkan secara intensif, spesies gulma lebih didominasi oleh jenis rumput dan teki-tekian, namun produksi biomasnya relatif sedikit (Simatupang *et al.* 2015).



Gambar 1. Keragaan spesies gulma Purun tikus (a), Bulu babi (b), Kerisan (c) dan Puyangan/Bura-bura (d) di lahan sulfat masam

Sumber: Dok. Simatupang 2015

Tumbuhan rawa, seperti Galam (*Melaleuca sp.*), Purun tikus (*Eleocharis dulcis*), Bulu babi (*Eleocharis retroflaxa*) dan Karamunting (*Melastoma malabathirum*) termasuk beberapa golongan teki seperti Kerisan (*Rhynchospora corymbosa* L) merupakan jenis tumbuhan yang khas/spesifik di lahan rawa pasang surut. Spesies tumbuhan tersebut dapat tumbuh sangat toleran pada tanah-tanah dengan kelarutan besi tinggi, yakni pada tanah sulfat masam ($\text{pH} < 4,0$). Oleh karena itu, jenis tumbuhan tersebut dapat digunakan sebagai penciri lahan sulfat masam. Sedangkan tumbuhan Kelakai (*Stenochlaena palustris*), tumbuh dominan pada lahan gambut/bergambut, khususnya pada lahan-lahan yang baru dibuka dan/atau lahan yang belum diusahakan (Gambar 2). Tumbuhan Kelakai ini dapat digunakan sebagai penciri dari lahan gambut/bergambut (Simatupang *et al.* 2015).



Gambar 2. Keragaan tumbuhan Kelakai (*Stenochlaena palustris*) di lahan gambut/bergambut

Sumber: Dok: Simatupang, 2015

Di lahan rawa pasang surut pada lahan-lahan yang sudah dimanfaatkan sebagai lahan sawah untuk tanaman padi dan dikelola secara intensif. Beberapa tahun kemudian, spesies tumbuhan yang tumbuh pada lahan tersebut mengalami perubahan (suksesi), keragamannya bertambah dan dominasi jenis gulma yang tumbuh juga berubah ditandai dengan pergantian spesies gulma. Pada lahan sulfat masam, setelah dibuka kawasan lahan didominasi oleh spesies Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dengan penutupan hampir mencapai 100% (Gambar 1a). Kemudian setelah beberapa tahun lahan ini diusahakan,

keragaman spesies gulma yang tumbuh pada lahan tersebut lebih beragam (banyak) dan dominasi spesies gulmanya relatif berubah dan spesies gulma dominan sebelumnya masih termasuk kategori gulma dominan (Tabel 1). Hasil penelitian, bahwa perubahan spesies gulma terjadi disebabkan karena perubahan lingkungan lahan (sifat kimianya) akibat tindakan budidaya yang dilakukan pada lahan tersebut, diantaranya adalah perubahan tingkat kemasaman tanah dan kesuburannya (Simatupang *et al.* 2015).

Tabel 1. Keragaan dan dominasi jenis gulma di sawah pasang surut pada tipologi lahan sulfat masam di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan

No.	Jenis Gulma	Nisbah Jumlah Dominasi (%)			
		Lokasi Tarantang		Lokasi Danda Jaya	
		Sawah diusahakan	Sawah bera	Sawah diusahakan	Sawah bera
1.	<i>Alternanthera sesilis</i>	-	-	0,60	-
2.	<i>Brachiana paspaloides</i>	3,91	-	1,19	-
3.	<i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb	25,29**	5,68	26,25**	11,73*
4.	<i>Cyperus kyllingia</i> Emdl	-	0,61	-	-
5.	<i>Cyperus sanguinalatus</i>	1,88	1,24	-	-
6.	<i>Cyperus platyrylis</i> RBR	-	0,36	-	-
7.	<i>Eragrotis uniolooides</i>	-	-	1,52	1,87
8.	<i>Eleocharis dulcis</i>	20,58*	29,32**	9,21	32,24**
9.	<i>Eleocharis acutangula</i>	10,83*	27,80**	8,23	27,23**
10.	<i>Eleocharis retroflaxa</i>	11,09*	10,94*	15,87*	11,01*
11.	<i>Echinocloa colonum</i>	1,45	-	0,61	-
12.	<i>Fimbristylis graffithii</i> B	7,09	2,41	12,98*	-
13.	<i>Fimbristylis miliacea</i>	-	-	1,79	-
14.	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb	-	-	0,80	1,93
15.	<i>Fulrena ciliaris</i> L	-	0,83	-	-
16.	<i>Hydiotis deffusa</i> WILL	-	-	2,38	-
17.	<i>Leersia hexandra</i>	0,80	-	3,81	3,83
18.	<i>Lindernia crustacea</i>	6,56	-	7,16	-
19.	<i>Ludwegia octavalis</i>	-	-	1,88	-
20.	<i>Lygodium lexmasum</i>	-	-	-	0,54
21.	<i>Melastoma affaine</i>	-	-	0,74	-
22.	<i>Panicum repens</i> L	-	3,88	-	0,75
23.	<i>Panicum paludosum</i>	-	3,11	-	1,32
24.	<i>Paspalum commersonii</i>	3,8	7,11	1,97	0,84
25.	<i>Rhynchospora corymbosa</i> L	6,72	5,79	1,42	5,89
26.	<i>Sacciolepis indica</i>	-	-	0,93	-
27.	<i>Xyris indica</i> L Var Indica	-	0,92	0,66	0,82
Total nilai NJD		100,00	100,00	100,00	100,00

Keterangan :
tanda *) menunjukkan species gulma yang lebih dominan
· Kriteria dominan apabila nilai NJD-nya > dari nilai NJD jenis gulma yang lain
· Sumber: Simatupang *et al.* (2014).

Di lahan rawa lebak, jenis tumbuhan yang tumbuh dan berkembang tergantung dan dipengaruhi oleh kondisi airnya, yakni disaat air menggenangi kawasan, maka jenis tumbuhan yang tumbuh dominan adalah spesies gulma air seperti Kayapu (*Pestia stratiotes*L), Kangkung air (*Ipomea acuatica*), Teratai (*Nymphaea spp*) dan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Jenis gulma seperti Kayapu mampu tumbuh dan menutupi sedemikian rupa (100%) kawasan yang luas di kawasan lahan rawa lebak (Gambar 3). Perubahan keragaman dan dominasi jenis tumbuhan yang berkembang dapat terjadi ketika lahan rawa yang tadinya digenangi oleh air menjadi kering disaat kemarau. Disaat lahan sudah kering jenis tumbuhan yang tumbuh dan berkembang berubah dari gulma air menjadi gulma dari golongan berdaun sempit (rumput) dan dari jenis teki-teki serta tumbuhan golongan berdaun lebar khususnya pada lahan atas atau pada lahan lebak pematang (Simatupang *et al.* 2017).



Gambar 3. Keragaan gulma Kayapu (*Pestia stratiotes*) tumbuh menutupi kawasan di lahan rawa lebak

Sumber: Dok. Simatupang, 2017

Tumbuhan Eceng gondok(*Eichornia crassipes*) termasuk salah satu jenis gulma yang tumbuh dan berkembang di lahan rawa lebak (Gambar 4). Gulma Eceng gondok adalah jenis gulma air (*Aquatic weeds*), tumbuhnya mengapung (*floating*), bukan merupakan gulma yang spesifik di lahan rawa karena jenis gulma ini banyak tumbuh di kawasan perairan bebas

(Simatupang *et al.* 2015). Kehadiran spesies gulma ini di kawasan lahan rawa lebak biasanya dikirim dari wilayah lain ketika air mulai menggenangi kawasan. Kehadiran gulma ini sangat mengganggu sistem perairan, transfortasi air sehingga mengganggu sistem perekonomian disebabkan tidak lancarnya mobolitas bagi pelaku ekonomi. Meskipun demikian, biomassa gulma eceng gondok ini berpotensi digunakan sebagai bahan kompos. Hasil analisis, kandungan hara Eceng gondok yakni 2,32% N, 0,24 % P, 1,95% K dan C/N ratio=22,01 (Nazemi *et al.* 2006).



Gambar 4. Gulma Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) tumbuh di kawasan lahan rawa lebak

Sumber: Dok. Simatupang, 2015

Potensi Biomassa Tumbuhan Rawa

Sebagaimana sudah dijelaskan bahwa tumbuhan (flora) rawa adalah salah satu sumberdaya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik pada sistem pertanian. Secara tradisional pemanfaatan biomassa gulma sudah dilakukan secara *in-situ* maupun *eks-situ* untuk mendukung sistem produksi tanaman padi di kawasan lahan rawa pasang surut sebagai kearifan lokal (Simatupang *et al.* 2015). Pengetahuan masyarakat sebagai sumber inspirasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, begitu juga dalam rangkan pemanfaatan biomassa gulma sebagai sumber bahan organik dan unsur hara.

Hasil survei yang dilakukan di lahan rawa pasang surut pada lahan-lahan yang intensif diusahakan maupun lahan yang mengalami bera diketahui seberapa besar produksi biomasnya. Dari beberapa spesies gulma yang termasuk gulma dominan produksi biomasnya berkisar 3,0-3,5 ton bahan kering/ha di lahan sulfat masam, dan sekitar 1,66-2,04 ton bahan kering/ha di lahan bergambut (Tabel 2). Biomassa gulma sangat potensial dan akan memberikan nilai ekonomi apabila dimanfaatkan menjadi bahan untuk membuat pupuk organik. Dikatakan potensial, adalah dikarenakan dapat menghasilkan biomassa yang banyak dan memiliki kandungan unsur hara makro maupun mikro yang dapat digunakan untuk mensubstitusi unsur hara yang diperlukan oleh tanaman.

Tabel 2. Produksi biomassa beberapa jenis gulma yang tumbuh dominan di lahan rawa pasang surut, di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan

Jenis gulma dominan	Produksi Biomassa (t/ha) Bahan Kering			
	Lahan Sulfat Masam		Lahan Bergambut	
	Dibera	diusahakan	Dibera	diusahakan
- <i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb	0,89	0,85	0,20	0,26
- <i>Eleocharis acutangula</i>	1,50	0,85	0,58	0,25
- <i>Eleocharis retroflaxa</i>	0,60	0,46	0,35	0,25
- <i>Fimbristylis graffithii</i> B	0,05	0,51	0,05	0,35
- <i>Leersia hexandra</i>	0,11	0,10	0,19	0,02
- <i>Panicum repens</i> L	0,12	0,05	0,67	0,53
- <i>Rhynchospora corymbosa</i> L	0,23	0,22	-	-
Total biomassa gulma (t/ha)	3,50	3,04	2,04	1,66

Keterangan:
Dihitung berdasarkan sumber: Indrayati dan Simatupang (2002)dalam Simatupang (2006)

Biomassa gulma yang dihasilkan merupakan sumberdaya yang sangat bermanfaat dan mempunyai nilai ekonomis serta dapat dijadikan sebagai pupuk organik setelah difermentase dan menjadi pupuk organik, kemudian dikembalikan ke dalam tanah untuk meningkatkan bahan organik tanah. Pemanfaatan biomassa gulma secara *in-situ* akan berlangsung proses daur ulang atau berlangsungnya proses siklus hara secara tertutup (*close nutrient cycle process*). Pengembalian biomassa tumbuhan atau sisa-sisa tanaman berupa serasah dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan kesuburan tanahnya (Simatupang *et al.* 2015).

Berdasarkan hasil penelitian dilaporkan bahwa beberapa spesies gulma yang tumbuh di lahan rawa pasang surut berpotensi menjadi sumber pupuk organik karena kandungan hara yang terdapat pada biomasnya,

diantaranya adalah gulma *Fymbristilis littolaris* dan *Panicum repens* memiliki kandungan N dan K yang tinggi, *Rhyncosphora corymbosa* kandungan P dan K tinggi dan gulma *Eleocharis sp* kandungan K-nya tinggi (Simatupang *et al.* 2006). Hasil analisis jaringan tumbuhan dan kompos dari biomassa beberapa spesies gulma terlihat variasi kandungan unsur hara N, P dan K (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan unsur hara N, P, K dan C-organik beberapa jenis gulma yang tumbuh di lahan sulfat masam

Jenis gulma	Kandungan hara (%)			
	N	P	K	C-Organik
1. <i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb	0,39	0,09	1,49	30,17
2. <i>Eleocharis acutangula</i> (Purun)	0,28	0,09	0,91	30,78
3. <i>Eleocharis dulcis</i> (Purun Tikus)	0,34	0,09	0,91	39,00
4. <i>Eleocharis congesta</i> (Papurunan)	0,39	0,41	1,04	32,29
5. <i>Eleocharis retroflaxa</i> (Bulu Babi)	0,41	0,45	0,97	30,34
6. <i>Rhynchosphora corymbosa</i> L (Kerisan)	0,84	1,22	1,22	55,32
7. <i>Panicum repens</i> (Puyangan/Bura-Bura)	0,56	0,21	0,80	43,99
8. <i>Fymbristilis littolaris</i>	2,35	0,32	0,89	27,06
Kompos gulma (<i>Sp</i> 2, 5, 6, 7, 8 + PK)	2,13	0,20	0,64	29,40

Sumber: Simatupang *et al.* (2002)

Dilihat dari aspek biomassanya, maka spesies tumbuhan dominan sebagaimana disebutkan di atas dapat menghasilkan biomassa yang cukup banyak, yakni mencapai 3,50 ton bahan kering/ha, hal ini merupakan sumberdaya alam yang sangat berharga apabila dimanfaatkan untuk mendukung usaha pertanian. Selain dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, pemanfaatan biomassa gulma sebagai pupuk organik dapat mensubsitusi unsur hara yang diperlukan tanaman sehingga pemberian unsur hara melalui pemupukan dapat diefisienkan. Dampak lain yang dapat diperoleh adalah meningkatnya kandungan bahan organik tanah, kualitas tanah menjadi lebih baik sehingga sistem pertanian yang dikembangkan dapat berkelanjutan.

Di lahan rawa lebak, tumbuhan yang tumbuh dan berkembang juga sangat beragam. Inventarisasi dan identifikasi jenis tumbuhan secara detail di lahan rawa lebak belum dilakukan sehingga belum ada data yang bersifat konprehensif, namun dalam skala sempit (spot-spot) telah dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian (survei skala terbatas) khususnya di Kalimantan Selatan, dilaporkan bahwa di lahan rawa lebak telah teridentifikasi sebanyak 17 jenis gulma golongan berdaun lebar, 5 jenis

golongan rumput dan 3 jenis golongan teki (Tabel 4) yang tumbuh di lahan lebak pematang dan lebak tengahan (Nazemiet *al.*2004). Sebagian besar tumbuhan yang termasuk golongan berdaun lebar termasuk gulma air dan tumbuh pada saat lahan tergenang, sedangkan golongan rumput dan teki tumbuh pada kondisi lahan macak-macak, lembab dan kering.

Tabel 4. Keragaman dan dominasi jenis gulma yang ditemukan pada lahan rawa lebak pematang dan tengahan di Kalimantan Selatan

No.	Spesies gulma	Nama umum	NJD (%)
Golongan berdaun lebar			
1.	<i>Eichornia crassipes</i>	Eceng Gondok	9,17 *
2.	<i>Culcumis sp</i>	-	1,57
3.	<i>Polygonum barbatum</i>	Jukut carang	6,26 *
4.	<i>Grangea maderaspatama</i>	Kembang paku konde	2,40
5.	<i>Ludwigia perennis</i>	Cacabean	4,91 *
6.	<i>Ipomea aquatica</i>	Kangkung	4,68 *
7.	<i>Ludwegia octovolvis</i>	Papisangan	2,11
8.	<i>Cleome rutidosperma</i>	Enceng-enceng	5,62 *
9.	<i>Cleome viscosal</i>	Enceng-enceng	0,82
10.	<i>Ipomea trilata</i>	Kangkung	0,63
11.	<i>Salvinia cuculata</i>	Kayambang	3,93
12.	<i>Pistia stratiotes</i>	Kiapu/Kayapu	5,11 *
13.	<i>Altenanthera sessilis</i>	Bayam kremeh	3,88
14.	<i>Ludwegia hyssopifolia</i>	Godong puser, Kakuluman	1,11
15.	<i>Heptis brevipes</i>	-	4,60 *
16.	<i>Ageratum conyzoides</i>	Babadotan	4,60 *
17.	<i>Hydrolea zeylanica</i>	-	4,08 *
Gulma golongan rumput			
1.	<i>Paspalidium punctatum</i>	Kumpai Babulu	9,06 *
2.	<i>Eichonochloa crusgalli</i>	Jajagoan	1,51
3.	<i>Leptochloa chinensis</i>	Suket timunan	7,29 *
4.	<i>Sacciolepis interrupta</i>	Utulan	9,21 *
5.	<i>Leersia hexandra</i>	Banta	2,70
Gulma golongan teki			
1.	<i>Cyperus distan</i>	Teki rawa	2,44 *
2.	<i>Cyperus halpan</i>	Papayungan	1,32
3.	<i>Cyperus rotundus</i>	Teki	1,12
Total			100

Keterangan : tanda * menyatakan gulma dominan

Sumber : Nazemi *et al.* (2004)

Dari beberapa spesies yang tumbuh dominan dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kompos (pupuk organik), diantaranya adalah gulma Kayapu (*Pistia stratiotes*), Eceng gondok (*Eichornia crassipes*), Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) dan rumput Kumpai Babuluh (*Paspalidium punctatum*) dan spesies gulma lainnya meskipun tidak dominan namun dapat memberikan sumbungan biomassa. Disamping dapat menyumbangkan biomassa, juga dapat meningkatkan kandungan unsur hara tertentu pada pupuk organiknya. Misalnya hara K pada gulma Teki rawa (*Cyperus distans*) cukup tinggi yakni 2,58% (Nazemi *et al.* 2004; Simatupang *et al.* 2017)

Gulma Kayapu (*Pistia stratiotes* L) merupakan spesies gulma yang khas dan pertumbuhannya di lahan rawa lebak sangat dominan. Gulma ini berkembang sangat cepat dan subur sehingga kemampuannya untuk menutupi suatu kawasan dapat berlangsung cepat, termasuk gulma dominan urutan ketiga di lahan rawa lebak. Potensi biomasnya cukup besar, pada kondisi pertumbuhan yang maksimal dengan tingkat penutupan 100%, dapat menghasilkan biomassa sebanyak 3,75 – 4,50 ton/ha bahan kering (Simatupang dan Nurita 2014). Analisis terhadap kandungan hara biomassa gulma Kayapu ini, diperoleh bahwa Kayapu mengandung 2,67% N, 0,30% P, dan 1,12% K, sehingga biomasnya sangat potensial dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik (Nazemi *et al.* 2004).

Tumbuhan Kumpai Babulu (*Paspalidium punctatum*) merupakan jenis gulma yang termasuk dominan di lahan rawa lebak. Gulma ini berkembang biak melalui biji dan bagian vegetatifnya, perkembangannya mengikuti pola genangan air, sehingga pada musim kemarau tahun berikutnya gulma ini telah menutupi kawasan lahan rawa lebak terutama pada lebak tengahan (Gambar 5). Gulma Kumpai Babulu pada kondisi tumbuh optimum dapat memproduksi biomassa sampai 5,0 t/ha bahan kering, sehingga sangat potensial dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pupuk organik, dan pemanfaatannya biasanya dilakukan secara *in-situ* yang difungsikan sebagai mulsa atau alas (lapik) untuk pertanaman semangka. Biomasnya memiliki kandungan 2,22% N, 0,12% P dan 1,29% K (Simatupang *et al.* 2017).



Gambar 5. Keragaan gulma Kumpai Babulu (*Paspalidium punctatum*) tumbuh di lahan rawa lebah tengahan

Sumber: Dok. Simatupang, 2016

Pupuk Organik Tumbuhan Rawa dan Pemanfaatannya

Karakteristik Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang tersusun dan/atau terbuat dari materi makhluk hidup, seperti berasal dari hasil pelapukan sisa-sisa tanaman, hewan dan manusia. Pupuk organik dapat berbentuk padat dan cair, digunakan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Pupuk organik lebih banyak mengandung bahan organik daripada kadar haranya ([https://id.m.wikipedia.org>wiki. Pupuk,](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Pupuk)).

Karakteristik pupuk organik tergantung pada kualitas bahan organik awal yakni kandungan biomassa yang digunakan sebagai bahan pembuat pupuk organik, terutama kandungan lignin dan rasio C/N bahan. Kualitas bahan organik ditentukan oleh komposisi kimia dan sifat fisik bahan. Komposisi kimia yang paling menentukan kualitas bahan organik yaitu kandungan C-organik, N-total, P-total, rasio C/N, kandungan lignin dan polifenol (Swift dan Woomer, 1993). Bahan organik dikatakan mempunyai kualitas tinggi jika mengandung lignin kurang dari 15%, kandungan

polifenol kurang 4%, Nitrogen lebih besar dari 2,5%, kandungan P-total lebih besar dari 2,5% dan hasil dekomposisi rasio C/N nya di bawah dari 2%(Hairiah, 2000). Bahan organik kualitas tinggi mempunyai kemampuan menyediakan unsur hara dalam waktu yang relatif cepat, sehingga sesuai sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Sebaliknya bahan organik yang mempunyai kualitas rendah dengan rasio C/N > 20, kandungan lignin lebih besar dari 15%, polifenol lebih besar 4%, hanya baik digunakan sebagai sumber bahan organik tanah.

Lignin merupakan polimer *amorf* di mana struktur kimianya sangat berbeda dengan selulosa dan hemi selulosa (Maftu'ah dan Nursyamsi 2015). Bahan organik yang berasal dari pupuk organik mengandung bermacam-macam hara yang dapat dimanfaatkan jika telah mengalami dekomposisi dan mineralisasi. Kandungan lignin yang tinggi menyebabkan bahan organik sulit terdekomposisi dan menurut (Brady 1990 dalam Atmojo 2003), gula, protein sederhana adalah bahan yang mudah terdekomposisi. Secara berurutan kemudahan bahan organik mengalami dekomposisi dipengaruhi oleh: (1) gula, pati, protein sederhana, (2) protein kasar, (3) hemiselulosa, (4) selulosa, (5) lemak, dan (6) lignin, lemak, waks dan lain-lain.

Kemudahan dekomposisi bahan organik berkaitan erat dengan rasio kadar hara, yang secara umum semakin rendah rasio antara kadar C dan N di dalam bahan organik akan semakin mudah dan cepat mengalami dekomposisi. Selama proses dekomposisi terjadi immobilisasi dan mobilisasi (mineralisasi) yang prosesnya ditentukan oleh kadar hara dalam bahan organik. Immobilisasi N secara netto terjadi bila rasio C dan N lebih besar dari 30, sedangkan mineralisasi netto terjadi bila rasio C dan N kurang dari 20. Keseimbangan antara immobilisasi dan mineralisasi terjadi jika rasio C dan N berada diantara 20 hingga 30. Immobilisasi dan mineralisasi tidak hanya terjadi pada unsur N namun terjadi juga pada unsur lain. Pada saat immobilisasi ini tanaman akan sulit menyerap hara karena terjadi persaingan dengan dekomposer. Bahan organik yang memiliki rasio C dan N rendah, lebih cepat menyediakan hara bagi tanaman, sedangkan bila bahan organik memiliki rasio C dan N yang tinggi akan mengimmobilisasi hara sehingga perlu dikomposkan terlebih dahulu (Atmojo, 2003) (Tabel 5).

Tabel 5. Pengelolaan bahan organik berdasarkan rasio C dan N

Rasio C dan N	Rekomendasi Pengelolaannya
Kurang dari 20 : 1	Dikekola sebagai bahan organik
Antara 20 : 1 - 30 : 1	Bahan yang memiliki sifat sebagai pupuk dan pembenah tanah, tetapi utamanya dikelola sebagai pupuk
Lebih dari 30 : 1	Dikelola sebagai pembenah tanah

Pupuk Organik Tumbuhan Rawa

Pupuk organik adalah pupuk yang dibuat dari bahan-bahan makhluk hidup yang sudah mati dan mengalami dekomposisi. Dari pengertian ini, maka pupuk organik tumbuhan rawa adalah pupuk organik yang bahan pembentuknya berasal dari biomassa tumbuhan rawa. Tentang tumbuhan rawa telah dijelaskan pada bab sebelumnya, yakni semua jenis tumbuhan yang tumbuh atau memiliki habitat di lahan rawa baik lahan rawa pasang surut maupun lahan rawa lebak. Artinya semua tumbuhan rawa baik secara sendiri maupun secara bersama-sama diproses menjadi satu melalui proses fermentasi dan mengalami pembusukan sehingga C/N rasionya menjadi rendah. Idealnya C/N-ratio berkisar antara 20 – 40%, tetapi semakin rendah C/N-rasionya artinya dekomposisi pupuk organik semakin baik (Watanabe 1984).

Beberapa spesies yang tumbuh dominan baik di lahan rawa pasang surut maupun lahan rawa lebak yang memiliki potensi dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik berbentuk kompos, bokhasi dan/atau bentuk lainnya yang dapat diaplikasi ke dalam tanah sebagai bahan untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Yang dimaksud berpotensi adalah dikarenakan produksi biomassa spesies gulma tersebut banyak dan memiliki kandungan hara terutama N, P dan K yang relatif tinggi sehingga mampu mensubstitusi kebutuhan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam mendukung pertumbuhannya. Disamping kandungan haranya cukup tinggi, biomasanya juga relatif mudah mengalami dekomposisi sehingga dapat mensuplai unsur hara yang dikandung bahan organiknya relatif cepat.

Salah satu pembentuk tanah organik atau tanah gambut, adalah bersumber dari serasah atau biomassa tumbuhan berupa: akar, batang/ kayu-kayuandari bagian bawah sampai pucuknya, daun-daunan dari tumbuhan, semak belukar maupun bahan tumbuhan lainnya yang sudah

mati. Biomassa tumbuhan jatuh ke atas tanah dan bertumpuk-tumpuk berlangsung ratusan bahkan ribuan tahun (Noor 2010). Onggokan biomassa tumbuhan yang sudah mengalami dekomposisi (membusuk) menjadi bahan organik tanah sumber hara yang dapat memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitasnya.

Proses dekomposisi biomassa tumbuhan (gulma) rawa dapat dilakukan secara tunggal (satu jenis tumbuhan yang dominan) maupun secara bersama-sama tanpa memperhatikan komposisi jenis tumbuhannya (berbentuk formula). Yang dimaksud formula adalah biomassa setiap jenis tumbuhan yang digunakan terukur jumlahnya (%) sehingga membentuk formulasi bahan kompos (pupuk organik). Bentuk formula biasanya disesuaikan dengan ketersediaan bahan, unsur hara yang diinginkan dan/atau tujuan pembuatan pupuk organik (kompos) yang dihasilkan.

Pupuk organik adalah pupuk (kompos) yang dihasilkan dari pelapukan bahan organik melalui proses biologis dengan bantuan organisme pengurai. Organisme pengurai atau dekomposer bisa berupa mikroorganisme ataupun makroorganisme. Mikroorganisme dekomposer bisa berupa bakteri, jamur atau kapang. Sedangkan makroorganisme dekomposer yang paling populer adalah cacing tanah. Mikroorganisme ini akan menambah mikroorganisme yang terdapat dalam tanah. Aktivitas biota tanah ini yang menghasilkan sejumlah nutrisi penting agar bisa diserap tanaman secara efektif. Hasil pengomposan berupa kompos yang memiliki muatan negatif, dapat dikoagulasikan oleh kation-kation dan partikel tanah untuk membentuk agregat tanah.

Proses pembuatan pupuk organik (kompos), dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu proses aerob (melibatkan udara) dan proses anaerob (tidak melibatkan udara). Dewasa ini teknologi pengomposan sudah berkembang pesat. Berbagai varian dekomposer beserta metode pembuatannya banyak ditemukan. Sehingga pupuk kompos yang dihasilkan banyak ragamnya, misalnya pupuk bokashi, vermikompos, pupuk organik cair dan pupuk organik tablet. Berikut akan dijelaskan beberapa jenis pupuk organik yang dibuat dari bahan biomassa tumbuhan rawa, baik yang diproses secara tunggal maupun berbentuk formula.

- a. Tumbuhan Purun tikus (*Eleocharis dulcis*): Pupuk organik (kompos) biomassa gulma ini mengandung: N (3,36%), P (0,43%), K (2,02%), Ca (0,26%), Mg (0,42%), S (0,76%), Al (0,57%) dan Fe (142,20 mg/l),

kaya akan hara N dan K disamping unsur-unsur hara lainnya, sehingga pupuk organiknya dapat dimanfaatkan sebagai bahan ameliorasi tanah. Kadar Fe yang tinggi berperan dalam mengkhelat asam-asam organik, selain itu juga dapat meningkatkan pH, Mg dan Ca (Lestari *et al.* 2008). Pemberian bahan organik purun tikus yang dikombinasikan dengan kapur dapat meningkatkan kesuburan tanah di lahan rawa pasang surut. Pemberian kompos purun tikus dapat meningkatkan tanah gambut sebesar 0,10-1,20 satuan, dan pemberian kompos purun tikus 2,5 t/ha hampir sama dengan pemberian 2 t dolomit/ha.

- b. Kompos formula biomassa gulma: Biomassa gulma *Eleocharis acutangula*, *Panicum repens*, dan *Rhynchospora corymbosa*, mengandung unsur hara N, P dan K masing-masing sebesar 1,96% N, 0,60% P dan 0,64% K (Simatupang *et al.* 2006). Pemberian kompos sebesar 6,0 t/ha, dapat menambahkan unsur hara N, P dan K ke dalam tanah masing-masing sebanyak 117,6 kg N, 40,8 kg P dan 38,4 K. Hara N untuk tanaman padi di lahan sulfat masam diperlukan sekitar 90 kg N/ha, dengan memanfaatkan kompos biomassa gulma tersebut di atas artinya telah menambahkan hara N ke dalam tanah sehingga pemberian unsur hara N tidak perlu dilakukan. Hasil analisis kimia, kandungan unsur hara dan C-organik tanah setelah diberi kompos formula biomassa gulma sebagaimana tabel berikut (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh pemberian kompos gulma terhadap beberapa sifat kimia tanah pada lahan sulfat masam, di KP. Balandean Kalsel

Pemberian kompos gulma (kg/ha)	Sifat kimia tanah setelah panen padi				
	C-organik	N-total	P-tersedia	K-dd	C/N-ratio
		-----%-----	ppm	Cmol/kg	
0	7,29	0,68	19,64	0,49	10,72
1,5	8,11	0,62	43,41	0,50	13,08
3,0	9,38	0,68	43,41	0,69	13,79
4,5	8,86	0,61	35,65	0,52	14,52
6,0	8,42	0,62	47,92	0,69	13,58
Pupuk NPK*	7,89	0,66	25,49	0,39	11,95
Tanah awal	7,55	0,59	8,80	0,41	12,79

Keterangan :

- Dosis pupuk NPK = 90 kg N/ha, 150 kg SP-36/ha dan 50 kg KCl/ha

- Contoh tanah dianalisis secara komposit

- Sumber : Simatupang *et al* (2006)

- c. Kumpai Babulu (*Paspalidium punctatum*): Spesies gulma rawa lebak banyak tumbuh pada tempat yang sudah mulai mengering airnya

sampai macak-macak dan pada galangan. Jika pertumbuhan gulma sudah mencapai maksimum dapat menghasilkan biomassa 3,0-4,0 ton/ha bahan kering. Cara pemanfaatan terhadap gulma ini untuk pertanian dilakukan dengan cara penebasan gulma selebar 1 meter untuk setiap tanaman sampai ke batas lahan yang akan ditanami. Hasil tebasan dikait/digulung menjadi beberapa bagian dan dibolak-balik untuk mempercepat pembusukan. Setelah membusuk, biomassa gulma dihaluskan (dicincang) dan disebar merata diatas permukaan tanah (tukungan) berdiameter 45 – 50 cm, dengan jarak antar tukungan berkisar 50 – 75 cm. Ketebalan bahan kering gulma ini sebagai mulsa berkisar antara 2 – 10 cm.

- d. Kangkung air (*Ipomea acuatica*): Adalah salah satu tumbuhan yang tumbuh dan berkembang pada agroekosistem lahan rawa lebak. Tumbuhan ini dapat berperan ganda yakni sebagai sayur ataupun sumber bahan organik. Kangkung dapat tumbuh secara alamiah maupun dibudidayakan petani. Pada umumnya jenis tumbuhan ini mempunyai nilai ekonomis, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan organik memerlukan tambahan biaya. Pemanfaatan kangkung ini sebagai bahan organik untuk mengurangi terjadinya degradasi hara, penipisan bahan organik, alternatif pengganti pupuk buatan, dan berperan menurunkan keasaman tanah, memberikan peningkatan N-total tanah serta peningkatan ketersediaan unsur hara lainnya.
- e. Eceng Gondok (*Eichornia crasipes*): Tumbuhan Eceng Gondok sangat potensial dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena mempunyai kandungan unsur hara N, P, K masing-masing sebesar 2,34%, 0,24% dan 1,95% (Nazemi *et al.* 2006). Rumput air ini sangat berguna dan dimanfaatkan dalam budidaya jagung dan kedelai pada musim kemarau, baik di lahan lebak maupun lahan pasang surut.
- f. Gulma air *Azolla* sp: Di lahan rawa lebak, azolla biasa dan sering dijumpai terapung di perairan sawah dan kolam ikan. Karena dianggap gulma, para petani lantas menyingkirkannya. Ditumpuk dan dibuang begitu saja. Padahal, bila dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman padi di sawah, azolla bisa menekan penggunaan pupuk urea sampai 65 kg/ha. Pemanfaatan azolla sebagai pupuk ini memang memungkinkan. Pasalnya, bila dihitung dari berat keringnya dalam bentuk kompos (azolla kering) mengandung unsur Nitrogen (N) 3 - 5 persen, Phosphor (P) 0,5 - 0,9 persen dan Kalium (K) 2 - 4,5 persen. Sedangkan

hara mikronya berupa Calsium (Ca) 0,4 - 1 persen, Magnesium (Mg) 0,5 - 0,6 persen, Ferum (Fe) 0,06 - 0,26 persen dan Mangan (Mn) 0,11 - 0,16 persen. Berdasarkan komposisi kimia tersebut, bila digunakan untuk pupuk mempertahankan kesuburan tanah, setiap hektar areal memerlukan azolla sejumlah 20 ton dalam bentuk segar, atau 6-7 ton berupa kompos (kadar air 15 persen) atau sekitar 1 ton dalam keadaan kering. Bila azolla diberikan secara rutin setiap musim tanam, maka suatu saat tanah itu tidak memerlukan pupuk buatan lagi. Hal ini dimungkinkan, karena pada penebaran pertama 1/4 bagian unsur yang dikandung azolla langsung dimanfaatkan oleh tanah. Seperempat bagian ini, setara dengan 65 Kg pupuk Urea. Pada musim tanam ke-2 dan ke-3, azolla mensubstitusikan 1/4 - 1/3 dosis pemupukan. Dibanding pupuk buatan, azolla memang lebih ramah lingkungan. Cara kerjanya juga istimewa, karena azolla mampu mengikat Nitrogen langsung dari udara. (http://agusrochdianto.multiply.com/Manfaat_Tanaman_Azolla).

Daftar berikut menginformasikan beberapa jenis tumbuhan yang tumbuh di lahan rawa lebak yang cukup potensial dijadikan sumber pupuk organik. Dikatakan cukup potensial adalah dikarenakan kandungan haranya. Tabel 7 berikut adalah hasil analisis kandungan unsur hara beberapa jenis tumbuhan/gulma rawa.

Tabel 7. Kandungan hara pada beberapa spesies tumbuhan rawa

No.	Jenis Tumbuhan	Kandungan				
		C-Org	N	P	K	C/N-ratio
Golongan berdaun lebar		(%)				
1.	<i>Ageratum conyzoides</i>	41,84	2,60	0,33	1,03	16,09
2.	<i>Altenanthera sessilis</i>	44,80	2,79	0,23	1,35	16,12
3.	<i>Cleoma rutidosperma</i>	41,98	2,49	0,51	0,19	16,86
4.	<i>Cleoma viscosal</i>	42,22	2,77	0,18	0,80	15,24
5.	<i>Cleoma viscosal</i>	48,68	1,41	0,21	1,42	34,52
6.	<i>Eichornia crassipes</i>	46,21	2,32	0,24	1,95	22,01
7.	<i>Grangea maderaspatama</i>	47,29	1,64	0,14	1,55	28,83
8.	<i>Heptis brevevis</i>	47,98	2,69	0,23	1,08	17,85
9.	<i>Hydrolea zeylanica</i>	34,43	2,95	0,10	2,24	11,67
10.	<i>Ipomea acuatica</i>	42,60	2,06	0,28	3,00	24,72
11.	<i>Ipomea trilata</i>	27,02	2,74	0,72	1,92	9,86
12.	<i>Ludwiaia perennis</i>	49,42	2,00	0,12	1,17	27,78

13.	<i>Ludwigia octovalvis</i>	45,82	1,33	0,15	2,33	34,45
14.	<i>Ludwigia hyssopitolia</i>	47,85	2,66	0,20	0,57	17,99
15.	<i>Pistia stratiotes</i>	35,20	2,67	0,30	1,12	13,53
16.	<i>Polygonum barbatum</i>	50,21	2,74	0,24	1,22	18,32
17.	<i>Salvinia culculata*</i>	41,97	2,78	0,28	0,87	16,27
Golongan rumput						
1.	<i>Echinochloa crus-galli</i>	51,26	1,53	0,07	1,78	33,50
2.	<i>Leptochloa chinensis</i>	54,49	1,41	0,06	1,68	38,64
3.	<i>Lersia hexandra</i>	47,11	2,83	0,17	0,81	17,33
4.	<i>Paspalidium punctatum*</i>	49,59	2,35	0,11	0,99	22,42
5.	<i>Sacciolepis interrupta</i>	49,80	2,79	0,18	0,84	17,86
Golongan teki						
1.	<i>Cyperus distans</i>	53,45	1,41	0,06	2,58	37,91

Keterangan : * Dominasinya tinggi

Sumber : Nazemi, *et al.* (2004)

Pemanfaatan Pupuk Organik

Bahan organik adalah komponen penting dalam sistem produksi di lahan rawa khususnya di lahan rawa pasang surut. Berlimpahnya biomassa gulma yang ditemukan di lahan rawa pasang surut merupakan sesuatu yang sangat berharga karena dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik dan/atau dijadikan sebagai bahan pembuatan pupuk organik yang dapat dikembalikan ke dalam tanah (Widjaya-Adhi, 1997 dalam Simatupang *et al.* 2015). Dari pengertian ini, maka seluruh dan/atau sebagian tumbuhan rawa dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pupuk organik dalam bentuk kompos maupun bentuk lainnya yang dikembalikan ke dalam tanah untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah.

a. Pembenah Tanah (Ameliorasi)

Pada dasarnya pemanfaatan pupuk organik berasal dari biomassa tumbuhan rawa (gulma) adalah untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Artinya biomassa tumbuhan tersebut difungsikan sebagai bahan ameliorasi tanah (*Soil amelioration*). Ameliorasi lahan adalah salah satu dari upaya penanggulangan kendala biofisik lahan. Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik dan kimianya. Ameliorasi lahan merupakan sebuah upaya memberikan bahan atau mineral baru ke tanah dengan tujuan memperbaiki sifat tanah secara fisik, kimia maupun biologi sehingga pertumbuhan dan produksi atau hasil tanaman dapat ditingkatkan. Beberapa contoh bahan amelioran

adalah bahan organik dari lingkungan pertanian seperti kompos, sisa tanaman, pupuk kandang dan sisa pakan ternak. Amelioran yang berasal dari luar lingkungan seperti pupuk anorganik, kapur, sampah kayu dan limbah non pertanian.

Aplikasi amelioran ke tanah dikenal sebagai ameliorasi tanah, dan perlu dijelaskan lebih lanjut agar bahan tersebut dikelola sebagai pupuk atau pembenah tanah. Bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai bahan amelioran diantara adalah pupuk organik, yakni pupuk kandang, kompos, bokashi, dan bahan lainnya berupa sisa-sisa tanaman sebelumnya maupun serasah tumbuhan. Sisa tanaman ataupun serasah tumbuhan yang di lahan pertanian sebelum dimanfaatkan sebagai bahan amelioran, terlebih dahulu diproses menjadi bahan organik.

Aribawa, (2002) melaporkan bahwa pemanfaatan biomassa gulma purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dalam bentuk bokashi yang diberikan ke dalam tanah dapat membenahi beberapa sifat kimia tanah sulfat masam, yakni ditandai dengan meningkatnya kandungan C-organik tanah, P-tersedia, K_{dd}, Ca_{dd} dan Mg_{dd} serta dapat menurunkan kadar Al_{dd} dan Fe-total. Meningkatnya kandungan unsur hara makro tanah dan menurunnya kandungan hara toksik, akan meningkatkan produktivitas tanah sehingga daya dukungnya terhadap tanaman akan menjadi lebih baik.

Suriadikarta dan Abdurrachman, (2000) melaporkan di lahan sulfat masam bahwa pemberian kapur dan gulma purun tikus ke dalam tanah sebagai bahan amelioran dapat mempertahankan stabilitas tanah sulfat masam dari perubahan sifat kimia tanah, dan mempunyai daya serap yang tinggi terhadap unsur besi sehingga kadar besi menurun dan juga dapat menurunkan sulfat. Oleh karena itu, gulma purun tikus dapat digunakan sebagai pembenah tanah (bahan amelioran) karena dapat memperbaiki sifat kimia tanah sulfat masam. Menurut Noor *et al.* (2006) penggunaan kompos gulma Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) sebagai bahan amelioran memberikan prospek yang baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kompos purun tikus pengaruhnya sangat baik dalam memperbaiki kualitas tanah, terutama pH tanah. Hal tersebut disebabkan karena kompos berasal dari biomassa gulma Purun tikus mengandung Fe yang cukup tinggi yang berfungsi mengkelat asam-asam organik dan menekan kemasaman tanah-tanah gambut.

Ameliorasi tanah menggunakan pupuk organik memberikan pengaruh yang positif terhadap sifat fisik dan kimia tanah, antara lain:

1. Memperbaiki struktur tanah: Pupuk organik merupakan material yang mempunyai sifat unik. Bisa menggemburkan tanah lempung yang solid, namun disisi lain juga bisa merekatkan tanah berpasir yang gembur. Karena sifatnya ini, pupuk organik bisa memperbaiki tanah pasir maupun lempung. Pupuk organik dapat merekatkan butiran-butiran halus pasir sehingga tanah menjadi lebih solid. Sehingga tanah berpasir bisa menyimpan air. Sedangkan pada tanah liat yang didominasi oleh lempung, pupuk organik bisa memberikan pori-pori, sehingga tanah tersebut menjadi gembur.
2. Meningkatkan kapasitas tukar kation. Dilihat dari sifat kimiawi, pupuk organik mempunyai kemampuan meningkatkan kapasitas tukar kation. Kapasitas tukar kation adalah kemampuan tanah untuk meningkatkan interaksi antar ion-ion yang ada dalam tanah. Tanah yang memiliki kapaitas kation tinggi lebih mampu menyediakan unsur hara bagi tanaman dibanding tanah dengan kapasitas ion rendah. Kandungan material organik yang tinggi akan meningkatkan kapasitas tukar kation tanah.
3. Meningkatkan daya simpan air: Pupuk organik dalam bentuk/struktur kompos sangat menyerap air (*higroskopis*). Air yang datang disimpan dalam pori-pori dan dikeluarkan saat tanaman membutuhkannya melalui akar. Keberadaan air ini mempertahankan kelembapan tanah sehingga tanaman dapat terhindar dari kekeringan.
4. Meningkatkan aktivitas biologi tanah: Dari sisi lingkungan dan ekosistem, pupuk organik memicu perkembangan organisme tanah. Tanah yang kaya akan organisme sanggup memberikan nutrisi secara berkelanjutan. Karena aktivitas organisme tanah akan menguraikan sejumlah nutrisi penting bagi tanaman. Sedangkan pupuk kimia sintetis malah membunuh organisme tanah. Sehingga untuk menyediakan nutrisi bagi tanaman selalu diperlukan penambahan pupuk dalam jumlah yang terus meningkat.

b. Sumber Nutrisi Tanaman

Pupuk adalah setiap bahan organik atau anorganik alami maupun sintetis yang di aplikasikan ke tanah untuk memasok satu atau lebih unsur hara penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tujuan utama dari aplikasi pupuk adalah untuk menyediakan unsur hara yang cukup dalam keseimbangan bagi tanaman. Pupuk bersifat melawan

ketidakseimbangan dalam tanah dan menggantikan nutrisi yang hilang melalui pengangkutan/panen tanaman. Bahan organik yang diklasifikasikan sebagai pupuk memiliki rasio C dan N kurang dari 30 hingga 1. Rasio C terhadap N untuk menentukan apakah bahan amandemen tanah harus dikelola sebagai pupuk atau kondisioner tanah.

Pupuk organik mengandung berbagai nutrisi penting yang dibutuhkan tanaman, baik yang sifatnya makro maupun mikro. Unsur makro yang dibutuhkan tanaman antara lain nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), sulfur (S), kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Sedangkan unsur mikro adalah besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), klor (Cl), boron (B), molybdenum (Mo) dan Aluminium (Al). Pupuk organik yang dibuat dengan bahan baku yang lengkap bisa mengandung semua kebutuhan unsur hara tersebut.

Pupuk organik baik untuk digunakan dalam jangka panjang karena sifatnya menggemburkan tanah dan meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air. Sehingga kesuburan tanah tetap terjaga. Sementara itu pupuk kimia sintetis walaupun efek reaksinya cepat, secara jangka panjang akan mengeraskan tanah dan mengurangi kesuburannya.

Pengaplikasian pupuk organik sebagai sumber bahan organik dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Berikut adalah beberapa hasil penelitian pada beberapa komoditas tanaman.

b.1. Tanaman padi

Pemberian kompos biomassa gulma setara dengan dosis 150 kg N (urea) di lahan rawa pasang surut sulfat masam dapat memperbaiki kesuburan tanah dan hasil padi yang diperoleh setara dengan hasil padi pada pemberian pupuk urea. Artinya kompos biomassa gulma ini mampu mensuplai hara N selain unsur hara lainnya (P dan K) yang dibutuhkan oleh tanaman padi (Simatupang *et al.* 2006). Hasil penelitian Maf'tuah *et al.* 2012, melaporkan bahwa pemberian formula dari (9,09% pupuk kandang dari ayam + 91,91% purun tikus) dengan takaran 20 t/ha memberikan hasil padi tertinggi sebesar 16,2 g/pot. Dari formula ini dapat menyumbangkan ion Fe yang berasal dari purun tikus, yang berperan dalam pembentukan kompleks dengan asam organik, sehingga mengurangi pengaruh negatif asam organik (Maftu'ah *et al.* 2012). Seperti yang dilaporkan oleh Suastika *et al.* (2004) dalam Maftu'ah *et al.* (2012), aplikasi amelioran yang mengandung mineral besi mampu meningkatkan hasil padi di lahan gambut dari 0,78 g/pot (kontrol) menjadi 13,85 g/pot.

Pemberian substitusi 60 kg N-urea dan 90 kg N-Azolla per ha meningkatkan komponen hasil dan hasil padi tertinggi yakni 4,39 t/ha dibanding substitusi 150 kg N-urea tanpa pemberian Azolla yakni 3,11 t/ha (Londong *et al.* 2004). Rivaie *et al.* (2012), melaporkan tanaman Azolla (*Azolla Pinnanta*) sebagai sumber N yang mengandung 2,43%, ini berarti dengan memberikan azolla 5 t/ha pada tanaman padi setara dengan memberikan 121,5 kg N atau 264 kg urea/ha. Pemberian 5,0 dan 7,5 t/ha azolla meningkatkan ketersediaan P, komponen hasil dan hasil panen padi.

b.2. Tanaman Jagung

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai sumber Fe adalah residu tumbuhan purun tikus. Pemberian amelioran berupa pupuk bokashi purun tikus pada tanah gambut perlu dijadikan alternatif mengingat keberadaan tumbuhan ini banyak dijumpai di Kalimantan Tengah yaitu pada lahan gambut yang tergenang air (Yulianto, 2008). Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketidaktersediaan unsur hara pada tanah gambut selain pengapuran adalah dengan pemupukan, baik pupuk anorganik maupun pupuk organik. Pemberian bokashi purun tikus dan fosfat alam adalah salah satu upaya pemupukan organik dan anorganik yang mampu menyediakan unsur-unsur pada tanah gambut pedalaman, sehingga dapat diserap tanaman jagung.

Pemberian tanaman kangkung dan eceng gondok sebesar 2,4 t/ha yang diberikan bersama 25% dari pupuk NPK sebagai pupuk dasar (25 kg urea/ha, 21 kg SP-36 dan 10 kg KCl/ha di lahan lebak memberikan hasil yang tinggi sebesar 5,44 t/ha dan 5,26 t/ha dibanding tanpa pemberian suplemen, dengan hasil 4,89 t/ha (Raihan, 2008). Dari Tabel 8, terlihat pemberian gulma in situ dengan dosis 2,5 t/ha di lahan rawa lebak meningkatkan hasil 27% dibanding kontrol dengan hasil 4,48 t/ha dan hampir sama dengan pemberian pupuk kandang 2,5 t/ha dengan hasil 5,51 t/ha (Fauziati *et al.* 2002).

Tabel 8. Pengaruh pupuk organik terhadap hasil jagung di rawa lebak

Perlakuan	Hasil (t/ha)	Peningkatan hasil (%)
Jagung varietas Arjuna		
Kontrol	4,48	-
Pupuk kotoran ayam (2,5 t/ha)	5,51	22,99
Kompos gulma insitu (2,5 t/ha)	5,69	27,00

Sumber: Fauziati *et al.* (2002).

Nazemi dan Arifin (2006) melaporkan bahwa pemberian 3,2 t/ha kangkung liar dan eceng gondok di lahan sulfat masam meningkatkan hasil tanaman jagung masing-masing 5,41 t/ha dan 5,10 t/ha dibanding tanpa pemberian kangkung liar dan eceng gondok dengan hasil masing-masing 2,89 t/ha dan 3,00 t/ha.

b.3. Tanaman kedelai

Pada budidaya kedelai, peranan pupuk organik sangt baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik dari biomassa eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dosis 3,2 ton/ha dapat diperoleh hasil kedelai yan tinggi atau 0,85 ton/ha lebih tinggi dibanding tanpa pemberian(Raihan *et al.* 2001).

b.4. Sayur-sayuran

Penambahan¹/₄ volume lapisan olah lumpur dan 2,5 t/ha kompos purun tikus di lahan gambut dapat meningkatkan hasil cabai varietas Hot Chili sebesar 13,43% dan tomat varietas Permata sebesar 18,14% di banding tanpa lumpur dan kompos purun tikus (Alwi 2004 *dalam* Anonim 2015).

Raihan dan Fauziati (2006) melaporkan, pemberian kompos gulma *in situ* dengan dosis 2,5 t/ha di lahan rawa lebak dapat meningkatkan hasil 17,76% tanaman mentimun dibanding tanpa pemberian kompos *in situ* dan lebih tinggi dari pemberian kotoran ayam 2,5 t/ha (Tabel 9).

Tabel 9. Pengaruh pupuk organik insitu terhadap hasil Mentimun di lahan rawa lebak

Perlakuan	Hasil (t/ha)	Peningkatan hasil (%)
Mentimun varietas Hercules		
Kontrol	27,37	-
Pupuk kotoran ayam (2,5 t/ha)	30,35	10,89
Kompos gulma insitu (2,5 t/ha)	32,23	17,76

Sumber: Raihan dan Fauziati (2006).

Pemberian bahan organik kompos purun tikus, kompos pakis-pakisan dan abu gulma *in situ* meningkatkan berat umbi tanaman lobak, berat basah sawi dan berat buah tanaman tomat dibanding tanpa pemberian kompos (Tabel 10.).

Pemberian kompos purun tikus dapat meningkatkan tanah gambut sebesar 0,10-1,20 satuan, dan pemberian kompos purun tikus 2,5 t/ha hampir sama dengan pemberian 2 t dolomit/ha dan dapat meningkatkan hasil tanaman tomat masing-masing sebesar 25,73% dan 25,97% (Lestari *et al.*2008).Campuran kompos tanaman purun tikus dan tanaman kelakai dengan dosis 5 t/ha dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman lobak di lahan gambut pasang surut dengan hasil umbi lobak segar sebanyak 25, 17 t/ha dan nyata meningkatkan hasil dibanding tanpa pemberian kompos dengan hasil 17,50 t/ha (Lestari *et al.* 2007).

Tabel 10. Hasil rata-rata tanaman sawi, tomat dan lobak dengan pemberian kompospupuk organik

Perlakuan	Berat basah sawi (g)	Berat tomat basah (g)	Berat umbi lobak (g)
Bahan organik/kompos			
Kompos purun tikus	23.10 a	151.67 a	22.71 a
Kompos pakis-pakisan/kelakai	21.50 a	163.67 a	17.97 ab
Abu gulma	20.51 a	164.64 a	17.16 b
Tanpa kompos	20.43 a	134.00 a	11.40 c

Penutup

Pada sistem pertanian di lahan rawa baik lahan rawa pasang surut maupun lahan rawa lebak, bahan organik memegang peranan penting pada proses produksi. Beberapa penelitian menunjukkan betapa besarnya peranan bahan organik atau pupuk organik untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman. Oleh karena itu, pada tanah-tanah yang kandungan bahan organiknya sangat rendah, pemberian pupuk organik sangat penting karena tanpa pemberian pupuk organik hasil tanaman akan menjadi rendah.

Lahan rawa sangat kaya dengan keragaman hayati, diantaranya ribuan spesies tumbuhan yang termasuk sebagai tumbuhan rawa yang tumbuh dan berkembang pada kawasan ini yang menjadi sumberdaya alam yang sangat bermanfaat terutama biomasnya apabila digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan kompos atau pupuk organik. Oleh karena itu, biomassa gulma yang cukup berlimpah jangan dibakar tetapi dimanfaatkan sebagai bahan organik untuk memperbaiki kesuburan tanah.

Daftar Pustaka

- Alwi, M dan L. Indrayati. 2017. Lahan Rawa Pasang Surut Sulfat Masam Terdegradasi dan upaya pemulihannya. *Agroekologi Rawa*. Buku. IAARD Press. Hlm. 501-528.
- Anonim. 2015. Buku *Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan*. Badan Litbang Pertanian. Kementrian Pertanian. IAARD Press. 68 hlm.
- Anonim. 2010. Resep sembuhkan tanah sakit. *Majalah Trubus* No.493, Desember/ 2010/XLI.
- Aribawa, I.B. 2002. Pengaruh kapur dan bokashi purun tikus terhadap tampilan tanaman padi dan perubahan beberapa sifat kimia tanah sulfat masam, Tesis Pascasarjana Program Studi Agronomi, Unlam, Banjarbaru.
- Atmojo, S.W. 2003. Peranan Bahan Organik terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya. Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta, pada tanggal 4 Januari 2003.
- Asikin, S. 2014. Fungsi Flora Rawa dalam Pertanian Organik. Pros. Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku III. Banjarbaru, 13-14 Juli 2011. Badan Litbang Sumberdaya Lahan. Badan Litbang Pertanian. Kementan.
- Asikin, S. dan M. Thamrin. 2012. Manfaat purun tikus (*Eleocharis dulcis*) pada ekosistem sawah rawa. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 31(1):35-42
- Fauziati, N. 2010. Pupuk Organik, Nyata Meningkatkan Hasil. Surat Kabar Kalimantan Post. ISSN 0211531. Terbit tanggal 28 april, 2010. Banjarmasin.
- Hairiah, K. 2000. *Biologi Tanah*. Program Pascasarjana. Universitas Brawijaya. Malang
- Agus, R. 2010. Manfaat Tanaman Azolla. [http://agusrochdianto.multiply.com/Manfaat Tanaman Azolla](http://agusrochdianto.multiply.com/Manfaat_Tanaman_Azolla) (di unduh 20 Juli 2010).
- Anonim. 2018. Pupuk. [https://id.m.wikipedia.org>wiki. Pupuk](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Pupuk), (diunduh 6 April 2018)
- Lestari, Y., Rosmini., H dan R. SSimatupang. 2007. Pengaruh Ameliorasi terhadap tanaman Lobak pada Tanah Gambut Pasang Surut Kalimantan Tengah. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa. Revitalisasi Kawasan PLG dan Rawa Lainnya untuk membangun Lumbung Pangan Nasional. Kuala Kapuas, 3-4 Agustus 2007. Badan Litbang Pertanian dan Pemerintah Kabupaten Kapuas Kalteng.

- Lestari., Y., Rosmini., H dan M. Noor. 2008. Pengaruh Amelioran Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Hasil Tomat pada Tanah Gambut. Hlm. 242-252. *Dalam* A. Supriyo., M.Noor., Isdijanto.A., dan Khairil Anwar (Ed). Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Lahan Rawa. Banjarbaru 5 Agustus 2008. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian dan Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Kalimantan Selatan.
- Liu, X. B., X.Y. Zhang., Y.X Wang., Y.YSui., S.L. Zhang., S.J. Herbert., dan G. Ding. 2010. Soil Degradation: a Problem Threatening the Sustainable Development of Agriculture in Northeast China. *Plant Soil Environ* 56 (2): 87-97
- Londong, P., A. Mursyid., Arifin dan Moehansyah. 2004. Efek substitusi urea oleh Azolla terhadap pH, C-organik, KPK, N-total tanah dan hasil padi. *J. Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian, Agroscentiae*. Universitas Lambung Mangkurat. 11 (3):198 -205
- Maftu'ah, E dan D. Nursyamsi. 2015. Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar. Prosiding Seminar Nasional Masy Biodiv Indon. Volume 1, Nomor 4, Juli 2015. ISSN: 2407-8050. Hal: 776-781
- Maftu'ah, E., L. Indrayati dan Mukhlis. 2012. The Improvement of Idle Peatland Productivity for Paddy through Organic Amelioration. Hlm. 213-223. *Dalam* Edi Husen *et al.* (Eds). Proceeding International Workshop on Sustainable Management of Lowland for Rice Production. Banjarmasin, 27-28 September 2012.
- Nazemi, D., I. Ar-Riza., dan A. Budiman. 2004. Kandungan nitrogen, fosfor, kalium dan karbon dari beberapa jenis gulma di lahan lebak. *J. Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian, Agroscentiae*. Universitas Lambung Mangkurat. 11 (2):140-145.
- Nazemi, D., dan Z. Arifin. 2006. Pemanfaatan gulma dan abu sekam sebagai sumber bahan organik dan suplemen hara di lahan rawa pasang surut. Hlm. 26-30. *Dalam* Indradewa, D., D. Kastono., Endang, S., dan E. Tarwaca (Eds) Prosiding Seminar Nasional Peran Agronomi Dalam Revitalisasi Pertanian Bidang Pangan dan Perkebunan. PERAGI Komda DIY, Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Noor., M., Y. Lestari dan M. Alwi. 2005. Teknologi Peningkatan Produksi dan Konservasi Lahan Gambut. Laporan Akhir Tahun 2006. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Noor. M., Y. Lestari., Rosmini. H., Nurtirtayani., S.Asikin., R.S. Simatupang dan S. Abdullah. 2006. Pengaruh Bahan Organik dan Bahan Amelioran Terhadap Produktivitas Sayuran di Lahan Gambut. Disampaikan pada Seminar Hasil Penelitian Balittra 2005, 30-31 Maret 2006. Banjarbaru.

- Noor, M. 2010. *Lahan Gambut: Pengembangan, Konservasi, dan Perubahan Iklim*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 312 Hlm.
- Raihan, S. dan Y. Raihana. 2001. Pemanfaatan biomassa gulma sebagai pupuk organik dalam penyediaan hara dan peningkatan hasil kedelai di lahan lebak. Prosiding. Buku I. Konferensi Nasional HiGi XV, 17 – 19 Juli 2001, Surakarta. hlm. 20-26.
- Raihan, S. 2008. Substitusi Hara oleh kompos gulma Eceng gondok dan Kangkung terhadap pupuk buatan dalam meningkatkan hasil jagung di lahan lebak pada musim kemarau. Hlm. 89-99. *Dalam Markus Anda et al.* (Eds). Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku IV. Bogor, 18-20 November 2008. BBSDL Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Deptan.
- Rivaie, A. A., S. Isnain dan Maryati. 2013. Application of Azolla Pinnanta Enhanced Soil N, P, K, and Rice Yield. *J. Tanah dan Iklim*. Edisi Khusus Rawa, Desember 2013.
- Retno Soetjiptadie. 2018. Kerusakan Tanah Ancaman Bagi Pertanian Indonesia. <https://sawitindonesia.com/rubrikasi-majalah/berita-terbaru/kerusakan-tanah-ancaman-bagi-pertanian-indonesia/> (diunduh 12 Juli 2018).
- Swift. M. J, and Woomer P 1993. Organic Matter and Sustainability of Agricultural System: Definition and Measurement. In : Soil Organic Matter Dynamic and Sustainability of Tropical Agriculture. Mulongoy K and Merckx R (eds) IITA/K.U.Leuven. A Wiley-Sayce Co-Publication. 3-8. Tate RL 1995. Soil Microbiology. John.
- Suriadikarta, D. A, dan A. Abdurrachman. 2000. Penggunaan tanaman purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dan perumpung (*Phragmites karka*) dalam upaya menanggulangi limbah reklamasi tanah sulfat masam. *Dalam Ar-Riza. I., H. Mukhlis., dan R. Smith Simatupang* (Penyunting) Pros. Semnas Budidaya Pertanian Olah Tanah Konservasi VII, Forum-OTK-HIGI. Balittra, Banjarmasin, 23-24 Agustus 2000. Hlm. 410-420.
- _____. R. S. 2006. Pemanfaatan kompos gulma untuk meningkatkan produksi padi di lahan rawa pasang surut sulfat masam. *Dalam Indradewa, D., D. Kastono., Endang, S., dan E. Tarwaca* (Penyunting) Prosiding Seminar Nasional Peran Agronomi Dalam Revitalisasi Pertanian Bidang Pangan dan Perkebunan. PERAGI Komda DIY, Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta. Hlm. 31-39.
- _____, dan L. Indrayati. 2007. Biomassa gulma sebagai bahan amelioran dan sumber unsur hara untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa pasang surut. *Dalam Riyanto., Suhartini. R., H.M. Sutisna., E.A. Syaifudin., Rusdiansyah* (Penyunting) Prosiding Seminar Nasional

XVIII HIGI Nasional. Komda HIGI Kaltim, Pemprov Kaltim, Faperta Unmul, Samarinda. Hlm. 89-89.

- _____, dan Nurita. 2014. Pemanfaatan biomassa gulma Kayapu (*Pistia stratiotes*) sebagai mulsa *in-situ* pada budidaya tanaman padi dan sayuran di lahan rawa lebak. *Dalam* Hadiwiyono *et al* (Penyunting) Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Pertanian Terpadu Berkelanjutan untuk Mewujudkan Kedaulatan Pangan dan Energi dalam Menyongsong Era Asia. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta. Hlm. 419-431.
- Simatupang, R. S., D. Cahyana dan E. Maf'tuah. 2014. Gulma rawa: Keragaman, Manfaat dan Cara Pengelolaannya. Hlm. 98-123. *Dalam* Mukhlis *et al.* (Eds.) *Biodiversiti Rawa, Eksplorasi, Penelitian dan Pelestariannya*. IAARD Press.
- _____, H. Subagio, L. Indrayati dan Nurita. 2015. *Gulma Pasang Surut. Keragaman, Dominasi, Pengendalian dan Femanfaatannya*. Badan Litbang Pertanian. Kemnetan Pertanian. IAARD Press.
- _____, D. Nazemi., dan M. Alwi. 2017. Keragaman, dominasi, manfaat dan pengelolaan gulma di lahan rawa lebak. *Dalam* Fatah, L., M. Noor., Masganti., H. Subagio., R. S. Simatupang., dan I. Ar-Riza (Penyunting) *Lahan Rawa Lebak: Sistem Pertanian dan Pengembangannya*. IAARD Press. Balitbangtan, Kementerian Pertanian Jakarta. Hlm 274-295.
- Suriadikarta, D. A, dan A. Abdurrachman. 2000. Penggunaan tanaman purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dan perumpung (*Phragmites karka*) dalam upaya menanggulangi limbah reklamasi tanah sulfat masam. *Dalam* Ar-Riza. I., H. Mukhlis., dan R. Smith Simatupang (Penyunting) Pros. Semnas Budidaya Pertanian Olah Tanah Konservasi VII, Forum-OTK-HIGI. Balittra, Banjarmasin, 23-24 Agustus 2000. Hlm. 410-420.
- Yatno. E. 2011. Peran Bahan Organik dalam Memperbaiki Kualitas Fisik Tanah dan Produksi Tanaman. *J. Sumberdaya Lahan* 5(1): 11-23.
- Yulianto, E. 2008. Pengaruh Bokashi purun Tikus dan Fosfat Alam (Rock Phosphate) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Gambut Pedalaman. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya.
- Watanabe, I. 1984. Aaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. *In* Organic Matter and Rice. IRRI, Los Banos, Laguna, Phillipines. p. 237-258.

PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN DI LAHAN RAWA TERDEGRADASI

E.S. Harsanti*), A. Wihardjaka*) dan A.N. Ardiwinata*)

*)Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Jl. Jakenan-Jaken Km 5 Jakenan, Pati 59182. Jawa Tengah
e-mail: eharsanti@yahoo.com

Ringkasan

Indonesia mempunyai lahan rawa dengan luas signifikan yaitu 34,1 juta hektar yang sebagian dapat dioptimalkan untuk mewujudkan Indonesia sebagai lumbung pangan dunia. Namun lahan rawa bersifat rapuh, maka pemanfaatan lahan rawa tersebut harus dilakukan secara hati-hati dengan perencanaan pengelolaan yang tepat berdasarkan tipologi lahan, tipe luapan, dan ramah lingkungan. Pengelolaan lahan rawa berprinsipkan pertanian ramah lingkungan berkelanjutan mensinergiskan pendekatan ekologis, sosial, ekonomi dengan memperhatikan kondisi biofisik dan karakteristik lahan sebagai bagian dari antisipasi perubahan iklim dan perbaikan kualitas sumberdaya lahan. Melalui pendekatan pertanian ramah lingkungan berkelanjutan, sistem usaha tani efektif memberikan hasil tinggi dengan *input* efisien yang diselaraskan dengan kebutuhan tanah dan tanaman. Penggunaan varietas toleran/tahan terhadap genangan dan salinitas, pengaturan air, praktis budidaya yang tepat sangat dianjurkan dalam memanfaatkan lahan rawa untuk budidaya tanaman pangan sekaligus menekan pembentukan GRK terutama gas metana. Beberapa varietas padi toleran rendaman atau tahan salinitas dapat digunakan dalam budidaya di lahan rawa sebagai aksi adaptasi sekaligus mitigasi dampak perubahan iklim, antara lain Inpari 34 Salin Agritan, Inpari 35 Salin Agritan, Inpara 4, Inpara 5, Inpara 6, Inpara 7, Inpari 8 Agritan, Inpari 9 Agritan, dan varietas lokal rendah emisi seperti Indragiri dan Sei Lalan. Penggunaan bahan amelioran di lahan rawa untuk budidaya tanaman pangan memberikan prospek dalam meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengurangi kontaminan Fe dan Al, antara lain bahan organik lokal yang dikomposkan

dan arang hayati (biochar) dari limbah pertanian. Biochar limbah pertanian dapat digunakan sebagai filter pengikat kontaminan dalam air irigasi. Filter yang mengandung biochar tersebut diletakan di pintu pemasukan (*inlet*) dan pintu pengeluaran (*outlet*) pada areal pertanian. Selain itu, lahan rawa dikelola secara berkelanjutan dengan memadukan sumberdaya yang tersedia seperti penerapan sistem integrasi tanaman-ternak, pemanfaatan pestisida nabati dalam mengendalikan hama penyakit tanaman, dan penggunaan tumbuhan remediator pengikat kontaminan seperti purun tikus dan *Vetiveria zizanoides*.

Pendahuluan

Peningkatan lahan kritis/terdegradasi di Indonesia mengganggu program prioritas pembangunan pertanian, antara lain target swasembada pangan berkelanjutan. Tahun 1992, seluas 18 juta hektare (ha) mengalami degradasi/penurunan kualitas lahan dan meningkat menjadi 38,6 juta ha di tahun 2002 (BPS 2002 dalam Metronews 2016). Degradasi lahan tersebut terjadi akibat pengelolaan lahan yang tidak tepat. Dalam upaya mewujudkan lumbung pangan dunia tahun 2045, Indonesia memerlukan tambahan lahan untuk budidaya tanaman pertanian seluas 14,9 juta ha yang meliputi 4,9 juta ha sawah, 8,7 juta ha lahan kering, dan 1,2 juta ha rawa (Metronew 2016), maka optimalisasi lahan kering beriklim kering, lahan rawa baik pasang surut maupun lebak, dan pencetakan sawah baru perlu digalakkan.

Indonesia mempunyai lahan rawa dengan luas cukup nyata, yaitu 34,1 juta hektare (ha) yang terdiri atas rawa pasang surut dengan luasan 8,9 juta ha dan rawa lebak seluas 25,2 juta ha (termasuk di dalamnya 14,9 juta ha lahan gambut) (BBSDLP 2014). Seiring dengan penyusutan lahan pertanian *eksisting* akibat alih fungsi lahan dan dampak perubahan iklim, potensi lahan rawa perlu dipertimbangkan untuk dioptimalkan sebagaiantisipasi kerawanan pangan. Sebagian lahan rawa telah mengalami degradasi berkelanjutan. Reklamasi lahan rawa dengan dominasi sulfat masam/gambut berisiko terjadi peningkatan kemasaman dan pelarutan ion-ion logam meracun seperti besi dan mangan. Peningkatan kemasaman tanah terjadi akibat perombakan bahan organik menjadi asam organik dan oksidasi pirit membentuk feri hidroksida, sulfat, dan ion hidrogen berlebihan sehingga tanah menjadi lebih masam dan pH dapat mencapai 2-3 (Widjaja Adhi *et al.*, 1992 dalam Husna 2014; Noor *et al.* 2016). Degradasi

berkelanjutan dan perbaikan kualitas lingkungan dapat dihindari dengan pengelolaan/pemanfaatan lahan rawa yang direncanakan secara hati-hati berdasarkan tipologi lahan, tipe luapan, dan ramah lingkungan.

Alih fungsi lahan menjadi kawasan industri dan pertambangan terjadi pula di ekosistem lahan rawa. Pembangunan kawasan industri dan pertambangan dapat menimbulkan dampak negatif seperti berkurangnya luas lahan, pencemaran tanah, terganggunya kenyamanan dan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Kurnia dan Sutrisno 2008). Dampak negatif tersebut disebabkan oleh masuknya limbah industri dan pertambangan yang mengandung senyawa/unsur kimia beracun dan berbahaya (B3) ke lahan budidaya. Selain itu kegiatan pertanian di lahan rawa juga memberi andil nyata sebagai sumber cemaran di lahan-lahan budidaya, misalnya penggunaan bahan agrokimia berlebihan dan tidak tepat.

Penggunaan bahan agrokimia yang tidak terkendali menyebabkan akumulasi residu pestisida dan logam berat dalam tanah dan tanaman. Penggunaan pestisida yang tidak tepat justru dapat meningkatkan resistensi hama dan penyakit tanaman, terbunuhnya musuh alami dan organisme berguna, akumulasi bahan kimia beracun dan berbahaya dalam tanah (Kurnia dan Sutrisno 2008). Beberapa kasus penolakan produk pertanian dan perikanan disebabkan oleh kandungan residu pestisida dalam produk yang melebihi batas aman untuk dikonsumsi.

Perubahan iklim berdampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap lahan rawa. Salah satu dampak perubahan iklim berupa kekeringan dapat meningkatkan akumulasi besi dalam tanah akibat oksidasi pirit. Kondisi tersebut memperparah penurunan kualitas lahan rawa yang memerlukan investasi tinggi untuk memperbaikinya secara berkelanjutan dengan berwawasan lingkungan.

Lahan Rawa Terdegradasi

Lahan rawa merupakan ekosistem yang marjinal dan rapuh (*fragile*), maka pemanfaatan lahan rawa memerlukan perencanaan yang teliti, penerapan teknologi yang sesuai, dan pengelolaan tanah dan air yang tepat. Menurut Widjaja-Adhi (1997) dalam Adimihardja *et al.* (2006), degradasi lahan rawa berkelanjutan disebabkan oleh beberapa faktor; antara lain (i) reklamasi lahan dengan drainase berlebihan yang menyebabkan oksidasi pirit dan gambut mengering tidak balik (*irreversible*), (ii) sistem

pemanfaatan lahan tanpa memperhatikan tipologi lahan dan tipe luapan, (iii) pembakaran gambut. Selain itu, penggunaan lahan untuk kegiatan perindustrian dan penambangan serta penggunaan bahan agrokimia berlebihan memperparah kondisi lahan rawa terdegradasi.

Alih fungsi lahan menjadi kawasan industri dan pertambangan terjadi pula di ekosistem lahan rawa. Pembangunan kawasan industri dan pertambangan dapat menimbulkan dampak negatif seperti berkurangnya luas lahan, pencemaran tanah, terganggunya kenyamanan dan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Kurnia dan Sutrisno 2008). Dampak negatif tersebut disebabkan oleh masuknya limbah industri dan pertambangan yang mengandung senyawa/unsur kimia beracun dan berbahaya (B3) ke lahan budidaya. Sumber logam berat yang meracuni di lingkungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber logam berat yang beracun bagi lingkungan dan kesehatan manusia

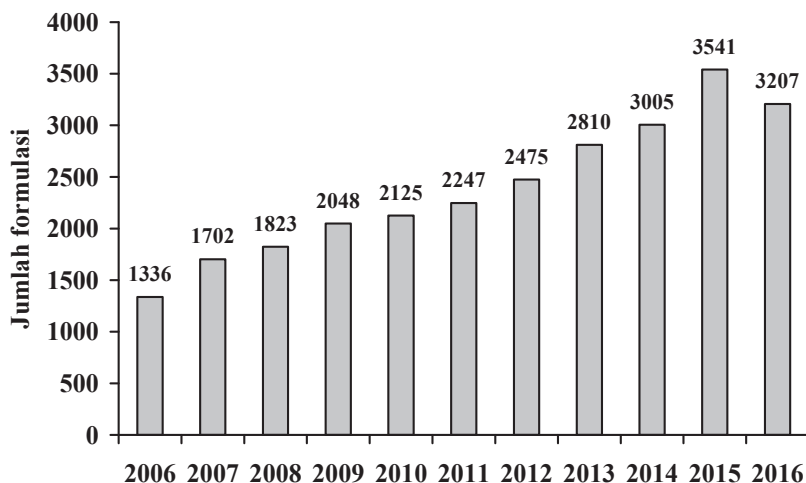
Kegiatan/sektor	Sumber logam berat
Industri	• Plastik (Co, Cr, Cd, HG) • Tekstil (Zn, Al, Ti, Sn) • Elektronik mikro (Cu, Ni, Cd, Zn, Sb) • Pengawetan kayu (Cu, Cr, As) • Pengilangan/penyulingan (Pb, Ni, Cr) • Minyak bumi dan transportasi (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr)³⁾
Pengendapan atmosfer	• Sumber perkotaan/industri, termasuk bangunan incenerator, pembuangan sampah (Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V) • Industri pirometalurgi (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, Zn) • Pembuangan gas/asap kendaraan (Mo, Pb (dengan Br dan Cl), V) • Pembakaran bahan bakar fosil (termasuk pembangkit listrik) (As, Pb, Sb, Se, U, V, Zn, Cd)
Pertanian	• Pupuk anorganik (As, Cd, Mn, U, V, Zn) • Pupuk organik / pupuk kandang (As, Cu, Mn, Zn) • Kapur/pengapuran (As, Pb) • Pestisida (Cu, Mn, Zn, As, Pb) • Air irigasi (Cd, Pb, Se) • Kegiatan pertanian (Cr, Hg)^{2,6)}

Kegiatan/sektor	Sumber logam berat
Limbah	· Karat logam / pelapisan seng dan logam (Fe, Pb, Zn) · Sludge cair (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) · Air cucian dari tempat buangan sampah (As, Cd, Fe, Pb) · Tumpukan sampah (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) · Api unggun, abu batubara (Cu, Pb) · Kegiatan <i>recycle</i> limbah elektronik (Zn, Pb, Cd, Cu, Ni)⁴⁾
Perusahaan listrik dan pertambangan	· Pembakaran batubara (Pb, Cd)¹⁾ · Kegiatan pertambangan (Pb, Cd, Zn, Hg)⁵⁾

Sumber: Ross (1994); Alloway (1995); ¹Markovic *et al.* (2010); ²Nacke *et al.* (2013); ³Arienzo *et al.* (2013); ⁴Jing Zheng *et al.* (2011); ⁵Mazej *et al.* (2010); Lin Jia *et al.* (2010)⁶⁾

Kegiatan pertanian di lahan rawa juga memberi andil nyata sebagai sumber cemaran di lahan-lahan budidaya. Penggunaan bahan agrokimia yang tidak terkendali menyebabkan akumulasi residu pestisida dan logam berat dalam tanah dan tanaman. Penggunaan pestisida yang tidak tepat justeru dapat meningkatkan resistensi hama dan penyakit tanaman, terbunuhnya musuh alami dan organisme berguna, akumulasi bahan kimia beracun dan berbahaya dalam tanah (Kurnia dan Sutrisno 2008). Perkembangan hama dan penyakit dari tahun ke tahun berimplikasi pada peningkatan jumlah formulasi pestisida (Gambar 1). Penggunaan pestisida dalam mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT) seharusnya memperhatikan target sasaran dan mengikuti kaidah pengelolaan OPT secara terpadu untuk menghindari akumulasi residunya dalam tanah, air, dan tanaman. Beberapa kasus penolakan produk pertanian dan perikanan disebabkan oleh kandungan residu pestisida dalam produk yang melebihi batas aman untuk dikonsumsi.

Keberadaan residu bahan agrokimia dalam tanah dipengaruhi antara lain oleh resistensi dalam tanah, laju degradasi dan transformasi yang melibatkan mikroba. Transformasi mikrobial kontaminan residu bahan agrokimia dapat diklarifikasikan sebagai: (i) biodegradasi dimana kontaminan digunakan sebagai substrat pertumbuhan, (ii) come-metabolisme dimana kontaminan digunakan sebagai sumber energi, (iii) akumulasi dimana kontaminan diinkorporasikan mikroorganisme, (iv) polimerisasi dimana kontaminan diikat oleh senyawa organik lain, (v) dampak sekunder aktivitas mikroba dari transformasi kontaminan (Pierzynski *et al.* 2000).



Gambar 1. Jumlah formulasi pestisida periode 2006-2016

Sumber: Fagi *et al.* 2013; Direktorat Pupuk dan Pestisida Kementa, 2014, 2015, 2016

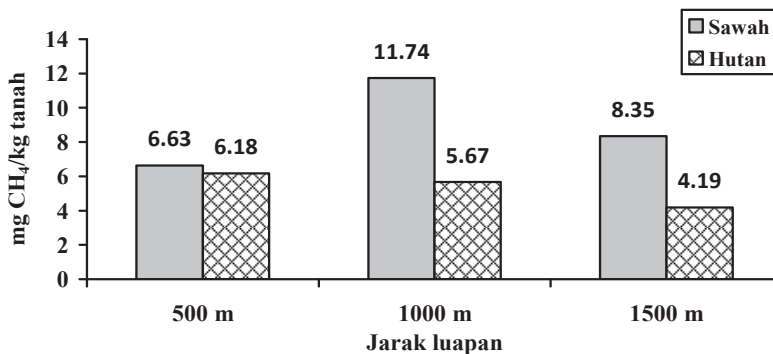
Pemanasan global dan perubahan iklim hingga kini masih menjadi perhatian serius masyarakat global, regional, nasional dan lokal. Penyebab pemanasan global tersebut adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer terutama yang berasal dari kegiatan manusia (antropogenik). Konsentrasi CO_2 global di atmosfer kini lebih tinggi dibandingkan masa pra industri, dari 280 ppm menjadi 379 ppm tahun 2005 (Sutamihardja 2009), dan 405,87 ppm pada bulan Maret 2016. Konsentrasi metana (CH_4) atau dikenal dengan gas rawa secara global juga meningkat dari 715 ppb (masa praindustri) menjadi 1732 ppb (tahun 1990) dan 1774 ppb (tahun 2005). Demikian juga dengan dinitrogen oksida (N_2O) global di atmosfer, konsentrasinya meningkat dari 270 ppb (masa pra industri) menjadi 319 ppb (tahun 2005) (Sutamihardja 2009).

Pemanasan global bumi berdampak terhadap perubahan iklim global dan intrusi air laut/peningkatan salinitas. Peningkatan suhu permukaan bumi menyebabkan terjadinya perubahan komponen iklim lainnya, seperti naiknya suhu air laut, meningkatnya penguapan di udara, dan berubahnya pola curah hujan dan tekanan udara yang pada akhirnya mengubah pola iklim dunia atau terjadi perubahan iklim global. Perubahan iklim terjadi secara perlahan dalam jangka waktu yang relatif panjang (50 – 100 tahun). Meskipun berjangka panjang, perubahan iklim memberikan dampak yang sangat besar pada kehidupan umat manusia.

Perubahan iklim global berdampak terhadap terancamnya ketahanan pangan di sektor pertanian akibat perubahan pola presipitasi, penguapan, air limpasan dan kelembapan tanah. Misal kejadian El-Nino tahun 1997 mengakibatkan kemarau panjang yang merusak 426.000 ha sawah. Perubahan iklim juga akan menurunkan kesuburan tanah berkisar 2 – 8%, yang berakibat terhadap penurunan panen padi sekitar 4 % setiap tahun, hasil kedelai 10 %, dan hasil jagung 50 % (Amin 2004).

Lahan rawa terdampak juga oleh perubahan iklim seperti intrusi air laut dan peningkatan salinitas tanah, peningkatan keracunan besi akibat oksidasi lapisan pirit yang dapat berpengaruh terhadap penurunan produktivitas tanaman budidaya dan kualitas lahan. Dampak perubahan iklim tersebut memperparah kondisi eksisting lahan rawa antara lain kesuburan tanah rendah, keracunan pirit, dan kemasaman tinggi. Strategi pengelolaan lahan rawa diperlukan untuk mengatasi dampak perubahan iklim melalui upaya sinergi adaptasi dan mitigasi. Upaya adaptasi perubahan iklim adalah langkah-langkah praktis untuk melindungi masyarakat dari kemungkinan gangguan dan kerusakan yang ditimbulkan dari dampak perubahan iklim, sedangkan upaya mitigasi perubahan iklim adalah tindakan untuk mencegah akumulasi gas rumah kaca di atmosfer dengan mengurangi jumlah emisi dan/atau dengan meningkatkan resor/cadangan karbon (Balitbangtan 2011).

Lahan rawa pasang surut dengan tipe luapan yang berbeda akan melepaskan emisi GRK yang berbeda. Hasil penelitian Sasa *et al.* (2006) pada lahan rawa pasang surut tipe luapan A menunjukkan bahwa potensi produksi CH_4 pada ekosistem sawah umumnya lebih tinggi dibandingkan pada ekosistem hutan. Dekomposisi bahan organik secara aerobik diduga terjadi di ekosistem hutan dengan kerapatan vegetasi gelam tinggi dan evapotranspirasi tinggi, sehingga produksi metana terhambat. Perombakan bahan organik secara aerobik sebagian besar menghasilkan CO_2 (Batjes dan Bridges 1992). Selain itu, keberadaan besi dan sulfat atau sulfid di tanah sulfat masam dapat menekan produksi metana oleh mikroba metanogen. Di ekosistem sawah, potensi produksi CH_4 di tanah sulfat masam pada jarak luapan 1000 meter lebih tinggi dibandingkan pada jarak luapan 500 meter dan 1500 meter (Gambar 2).



Gambar 2. Potensi produksi metana di rawa pasang surut tipe luapan A di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan

Sumber: Sasa *et al.* 2006

Pertanian Ramah Lingkungan

Pertanian berkelanjutan digulirkan dengan memperhatikan aspek ekologi, sosial budaya, ekonomi dan kelembagaan. Peningkatan capaian produksi tanaman pertanian dengan memadukan aspek ekologi akan melestarikan dan memperbaiki sumberdaya lahan pertanian. Tanpa melibatkan aspek ekologi, sistem pertanian yang diterapkan akan memberikan dampak negatif terhadap keseimbangan lingkungan. Pemanfaatan sumberdaya lokal yang dapat diperbaharui dapat berperan dalam meningkatkan kualitas biofisik, sehingga kehilangan unsur hara, biomassa dan energi dapat ditekan seminimal mungkin, serta dapat mencegah terjadinya cemaran/ kontaminasi. Dengan kata lain, indikator ekologi tidak menimbulkan degradasi sumberdaya lahan pertanian dan tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca ke atmosfer bumi.

Penerapan sistem pertanian berkelanjutan melibatkan beberapa komponen yang harus dikelola, antara lain: (i) pengelolaan unsur hara tanah dengan siklus unsur hara sebagai kunci dalam pengelolaan unsur hara tanaman, (ii) rotasi tanaman dan keragaman biologi sebagai dasar keberhasilan dalam sistem produksi pertanian tradisional, (iii) karakteristik ekologi dan agronomi sistem penanaman inovatif sebagai dasar menjaga kualitas lingkungan dalam jangka lama yang kurang bergantung pada masukan energi maupun bahan agrokimia, (iv) penerapan pengendalian hama secara terpadu dengan memaksimalkan efektivitas pengendalian

secara alami dan hayati, dan (v) pengelolaan bahan organik sebagai bahan pembenah tanah dan sumber unsur hara (Winarso 2005).

Pengelolaan pertanian terpadu dikembangkan dengan menerapkan prinsip-prinsip pertanian ramah lingkungan berkelanjutan, yaitu dengan memperhatikan aspek ekologi, ekonomi, sosial budaya, dan kelembagaan. Pertanian terpadu merupakan sistem pertanian yang mengupayakan suatu keseimbangan di alam dengan membangun suatu pola relasi yang saling menguntungkan dan berkelanjutan di antara setiap komponen ekosistem pertanian yang terlibat dengan meningkatkan keanekaragaman hayati dan memanfaatkan bahan-bahan organik (Wihardjaka *et al.* 2013).

Pertanian ramah lingkungan merupakan sistem pertanian berkelanjutan yang berbasis agroekologi dalam optimasi produksi disertai tindakan perawatan, peningkatan mutu, dan pelestarian sumberdaya alam pertanian menuju keseimbangan ekosistem (Soemarno 2001), dan memperhatikan aspek sosial, budaya, dan ekonomi menuju masyarakat yang berkelanjutan (Mitchell *et al.* 2003). Pertanian ramah lingkungan sebagai sistem berkelanjutan berprinsip untuk (i) melindungi sistem penunjang kehidupan, (ii) melindungi dan meningkatkan keanekaragaman biotik, (iii) memelihara dan menerapkan ukuran-ukuran rehabilitasi untuk ekosistem yang rusak/terdegradasi, (iv) mengembangkan dan menerapkan strategi preventif dan adaptif untuk menanggapi ancaman perubahan lingkungan global, dan (v) meyakinkan kesamaan sosial, budaya, ekonomi menuju masyarakat berkelanjutan (Robinson *et al.*, 1990 dalam Mitchell *et al.* 2003).

Prinsip pertanian ramah lingkungan mengacu pada pendekatan ekologis yang tidak bersifat eksploitatif, dan disesuaikan dengan kondisi alami baik biosfer, lithosfer, hidrosfer, maupun atmosfer (Hendrawati, 2001). Beberapa komponen dalam model pertanian ramah lingkungan berkelanjutan diyakini dapat mendukung perbaikan produktivitas tanah dan optimasi produksi sekaligus memperbaiki kualitas lahan terdegradasi dengan memperhatikan aspek-aspek lingkungan. Komponen tersebut adalah lain: (1) peningkatan produktivitas, (2) rendah emisi gas rumah kaca, (3) adaptif terhadap perubahan iklim, (4) penerapan pengendalian hama terpadu, (5) rendah cemaran logam berat, (6) bebas limbah (*zero waste*), (7) pemanfaatan sumberdaya lokal, (8) terjaganya keanekaragaman hayati, (9) integrasi tanaman-ternak, dan (10) konservasi tanah dan air (Fagi *et al.*, 2013; Wihardjaka dan Setyanto, 2014). Komponen-komponen

tersebut diintegrasikan dalam pengelolaan pertanian terpadu yang akhir-akhir ini memberikan kontribusi positif terhadap pembangunan pertanian antara lain sistem integrasi tanaman-ternak (SITT), sistem pengelolaan tanaman terpadu (SPTT), dan sistem pengendalian hama terpadu (SPHT) (Wihardjaka dan Nursyamsi, 2012; Fagi *et al.* 2013)

Pemerintah telah menargetkan penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 26% secara mandiri atau 41% melalui kerjasama internasional pada tahun 2020, seperti yang tertuang dalam Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011. Antisipasi parahnya dampak perubahan iklim dilakukan dengan pendekatan adaptasi dan mitigasi penyebab perubahan iklim yaitu emisi gas rumah kaca. Target penurunan emisi GRK dari sektor pertanian adalah 0,008 Gt CO₂ ekuivalen hingga tahun 2020 (1 Gg = 10¹² g), yang dapat dipenuhi dari lahan gambut, tanaman pangan dan hortikultura, tanaman perkebunan dan peternakan (Balitbangtan 2011). Pengelolaan lahan rawa dapat memberi andil yang nyata dalam penurunan emisi GRK, antara lain melalui: (1) pengelolaan dan optimalisasi lahan gambut dan pengembangan sistem peringatan dini kebakaran lahan pertanian di lahan gambut, (2) penerapan teknologi budidaya tanaman rendah emisi, penggunaan mikroba berguna pada tanaman hortikultura, penanaman buah-buahan untuk meningkatkan serapan karbon, (3) pengembangan dan peremajaan lahan perkebunan, pemanfaatan limbah perkebunan sebagai sumber bahan organik, pakan ternak, dan bioenergi, dan (4) pemanfaatan kotoran/urine ternak dan peningkatan kualitas pakan ternak (balitbangtan 2011).

Teknologi Ramah Lingkungan di Lahan Rawa Terdegradasi

Pengelolaan lahan rawa untuk budidaya tanaman terutama tanaman pangan harus memperhatikan kondisi biofisik dan karakteristik lahan sebagai bagian dari antisipasi perubahan iklim dan perbaikan kualitas sumberdaya lahan. Penggunaan varietas toleran/tahan terhadap genangan dan salinitas, pengaturan air, praktis budidaya yang tepat sangat dianjurkan dalam memanfaatkan lahan rawa untuk budidaya tanaman pangan sekaligus menekan pembentukan GRK terutama gas metana.

Penerapan sistem terpadu tanaman budidaya dan ternak di lahan rawa merupakan salah satu pendekatan ramah lingkungan yang mampu mensinergiskan upaya adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim. Penerapan sistem pertanian terpadu atau yang dikenal dengan *bio cyclo*

melalui proses pirolisis pada suhu 300-500 °C dalam kondisi oksigen terbatas dijadikan sebagai arang hayati atau biochar yang mengandung karbon 70-80% (Lehmann *et al.* 2006; Widowati *et al.* 2011; Reid *et al.* 2013). Manfaat penggunaan biochar sebagai pembenah tanah adalah meningkatkan pertumbuhan tanaman, memperbaiki sifat fisik tanah, memperbaiki kesuburan tanah dan dinamika air tanah, meningkatkan sekuistrasi karbon dalam tanah, menurunkan efikasi pestisida (Reid *et al.* 2013), meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba, dan meningkatkan efisiensi pemupukan nitrogen (Widowati *et al.* 2011). Fungsi biochar menjadi lebih efektif bilamana dikombinasikan dengan kompos. Biogas mengandung metana berkisar 55-80% dimana metana dari kotoran hewan mengandung energi 4.800-6.700 kcal/m³ sedangkan energi dari metana murni adalah 8.900 kcal/m³ (Widodo *et al.*, 2008). Keberadaan biodigester dalam SITT memberikan keuntungan ganda, antara lain upaya mitigasi emisi gas rumah kaca, mengurangi cemaran udara, sumber energi terbarukan, dan memberikan hasil samping berupa sludge sebagai pembenah tanah.

Pengelolaan air. Pengelolaan air di saluran tersier berpengaruh terhadap tata air mikro untuk budidaya tanaman pertanian. Kesalahan pengaturan air pada saluran tersier dapat memicu gagal panen akibat air tidak sampai ke lahan. Menurut Suriadikarta (2012), pengaturan tata air mikro di lahan petani sangat berkaitan dengan tipe luapan air pasang. Jika saluran tersier berada pada tipe luapan A, maka petani dapat menerapkan sistem aliran satu arah (*one way flow system*). Pada tipe luapan B dapat diatur dengan sistem aliran satu arah plus tabat. Sistem tabat dapat diterapkan pada tipe luapan C, sedangkan tipe luapan D dapat dilakukan sistem tabat plus irigasi tambahan dari kawasan tampung hujan yang berada di ujung tersiernya. Pengaturan air dengan menerapkan sistem aliran satu arah pada air yang masuk dan keluar dengan saluran yang berbeda dapat mencuci senyawa beracun (sulfat, Fe²⁺, asam-asam organik) di ekosistem rawa, menurunkan emisi metana melalui irigasi berselang (*intermittent*) dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

Irigasi berselang merupakan teknik pengaturan air terutama untuk budidaya padi sawah dimana kondisi kering-basah silih berganti selama pertumbuhan tanaman. Irigasi berselang (*intermittent irrigation*) mampu menekan emisi metana (CH₄) sebesar 79,5% dibandingkan pengairan terus menerus (*continuous irrigation*) (Tabel 2), tetapi produktivitas padi Ciherang dari kedua rejim air tersebut tidak berbeda nyata (Setyanto dan Kartikawati

2011). Rendahnya emisi metana disebabkan oleh peningkatan potensial redoks yang dapat menghambat proses dekomposisi anaerobik bahan organik dan menggiatkan aktivitas bakteri metanotrof yang mampu mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida (CO₂). Dari total metana yang dihasilkan dari tanah, hanya 16,6% yang diemisikan ke atmosfer, sedangkan sisanya dioksidasi menjadi CO₂ (Setyanto dan Kartikawati 2011).

Tabel 2. Hasil gabah padi Ciherang dan emisi metana dari pengelolaan air dan tanaman

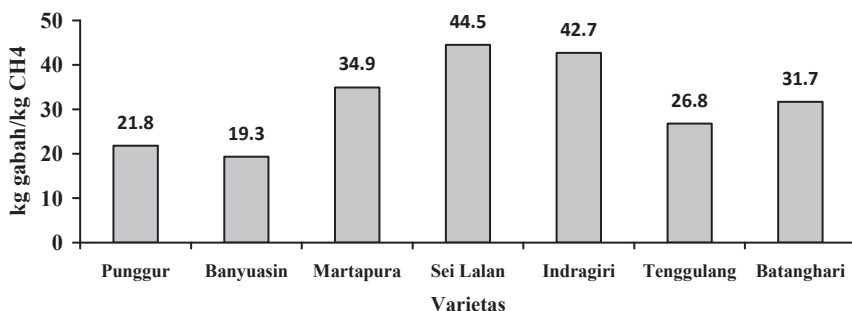
Pengelolaan air dan tanaman	Hasil gabah kering giling (t/ha)	Emisi metana (kg/ha/musim)
Tergenang terus menerus + padi konvensional	6,72 ± 0,19	283 ± 36
Pengairan berselang + padi konvensional	6,49 ± 1,15	58 ± 8
Tergenang terus menerus + PTT	7,10 ± 0,08	347 ± 28
Pengairan berselang + PTT	6,76 ± 0,14	78 ± 42
SRI	2,41 ± 0,34	61 ± 9

Sumber : Setyanto dan Kartikawati (2011)
Keterangan: PTT = pengelolaan tanaman terpadu, SRI = *system of rice intensification*

Penggunaan varietas adaptif. Sebagai aksi adaptasi sekaligus mitigasi dampak perubahan iklim, beberapa varietas padi toleran rendaman atau tahan salinitas dapat digunakan dalam budidaya di lahan rawa, antara lain Inpari 34 Salin Agritan, Inpari 35 Salin Agritan, Inpara 4, Inpara 5, Inpara 6, Inpara 7, Inpari 8 Agritan, Inpari 9 Agritan dan beberapa varietas unggul rendah emisi. Gambar 4 memperlihatkan bahwa varietas lokal pasang surut potensial yang memproduksi metana relatif rendah antara lain Indragiri dan Sei Lalan dengan indeks emisi masing-masing sebesar 42,7 dan 44,5 kg gabah/kg CH₄ dibandingkan Punggur dengan indeks emisi 21,8 kg gabah/kg CH₄ (Fagi *et al.* 2013). Susilowati *et al.* (2009) melakukan penelitian emisi metana pada beberapa varietas lokal yang toleran terhadap keracunan Al dan Fe dan hasilnya adalah varietas Punggur dan Banyuasin melepaskan metana lebih tinggi dibandingkan Tenggulan dan Batanghari dengan emisi masing-masing sebesar 183, 179, 124, 104 kg CH₄/ha/musim.

Jumlah metana yang diemisikan dipengaruhi oleh eksudasi akar, rongga aerenkhima pada akar dan batang tanaman, dan proses fisiko-kima di rhizosfer tanaman padi (Wassmann dan Aulakh 2000). Perbedaan gradien konsentrasi CH₄ di air sekitar perakaran dan ruang antar sel lisigenus pada akar menyebabkan CH₄ terlarut disekitar perakaran berdifusi ke permukaan perakaran menuju dinding sel korteks akar. Dalam dinding sel korteks, CH₄ terlarut menjadi gas dan terangkut ke dalam batang melalui pembuluh

aerenkhima dan ruang antar sel lisigenus, yang selanjutnya CH_4 dilepaskan melalui pori-pori mikro pelepah daun bagian bawah (Wagatsuma *et al.*, 1990).



Gambar 4. Indeks emisi dari beberapa varietas lokal pasang surut

Sumber: Fagi *et al.* 2013

Penggunaan bahan amelioran. Penggunaan bahan amelioran di lahan rawa berfungsi untuk memperbaiki kesuburan dan produktivitas tanah sulfat masam, misal bahan organik yang berfungsi untuk mempertahankan kondisi reduksi dan mencegah oksidasi pirit. Penggunaan bahan amelioran juga merupakan salah satu teknologi efektif untuk meremediasi lahan tercemar. Hasil penelitian Koesrini dan William (2006) dalam Husna (2014) menunjukkan bahwa peberian bahan amelioran berupa kombinasi kapur dan pupuk kandang dapat meningkatkan hasil biomassa buncis sebesar 81,5 – 92,3 % lebih tinggi daripada tanpa amelioran (3,164 t/ha).

Bahan organik berperan penting dalam tanah dan tidak dapat digantikan oleh komponen lain yang tersedia. Bahan organik dalam tanah memperbaiki struktur tanah, drainase, aerasi, daya simpan air, stabilisasi suhu tanah, kegemburan tanah, retensi air, pengikat partikel tanah, penghambat erosi tanah, mitigasi perubahan iklim, dan pengikat kontaminan (Soemarno *et al.* 2009). Pemberian bahan organik lokal yang dikomposkan efektif menurunkan emisi gas rumah kaca, mengikat besi fero, dan meningkatkan produktivitas lahan. Bahan organik yang mengandung asam humat dan fulvat mempunyai afinitas yang tinggi terhadap Fe, Al, dan meningkatkan ketersediaan hara. Asam humat dan fulvat yang terkandung dalam bahan organik mudah terdekomposisi dan bernisbah C/N rendah mampu mengkelat Al dan Fe, sehingga metanogenesis terhambat. Pemberian bahan organik dengan nisbah (C/N rendah) dapat

mengurangi pelepasan metana ke atmosfer dari tanah (Wihardjaka *et al.* 1999), menurunkan kelarutan besi ferro di tanah sulfat masam (Fahmi *et al.* 2009), meningkatkan ketersediaan hara, mengkelasi unsur racun seperti Fe dan Al, dan potensial meningkatkan produksi padi rawa sekitar 4 t/ha.

Penggunaan tumbuhan remediator. Remediasi secara hayati dapat dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan yang potensial menyerap logam berat (fitoremediasi) atau melalui pemanfaatan mikroorganisme (bioremediasi). Fitoremediasi adalah perbaikan tanah tercemar logam berat dengan prinsip penanaman tanaman yang mempunyai kemampuan untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi, dan mengimobilisasi bahan pencemar termasuk logam berat (Phrasad, 2011; Takagi *et al.* 2011). Kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam berat dalam tanah beragam, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Tumbuhan purun tikus dapat berfungsi sebagai bio-filter di lahan rawa untuk menyerap besi Fe²⁺ dan sulfat, serta memperbaiki kualitas air.

Tabel 3. Beberapa tumbuhan yang mampu meremediasi tanah sawah tercemar logam berat

Tumbuhan	Hasil kajian
Enceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	Menyerap Cd, Hg, dan Ni masing-masing sebesar 1,35; 1,77; dan 1,16 mg/g dalam waktu 24 jam Menurunkan kandungan Cr sebesar 51,85% pada pH 7
Mendong (<i>Fimbristyllis globulosa</i>)	Menurunkan konsentrasi logam Pb, Cr, Co, Fe, dan Cu pada tanah sawah dari 15,04; 0,13; 19,90; 53,45; 58 ppm menjadi 12,71; 0,11; 14,13; 49,83; 50 ppm
<i>Brassica juncea</i>	Menyerap seluruh Pb yang diberikan pada media tumbuh, Cd terserap 55%, Cr 51%, Ni 45%, Cu 98%
Rumput Purun Tikus	Rumput purun tikus mampu menurunkan konsentrasi Pb, Cd, Cu dalam tanah yang tercemar limbah tekstil di Karanganyar, Jawa Tengah masing-masing sebesar 96, 93, dan 4% dalam waktu 2 bulan setelah ditanami purun tikus
<i>Vetiveria zizanoides</i>	Menurunkan konsentrasi Pb dan Cd masing-masing sebesar 8,6 dan 15,4% pada tanah sawah tercemar Pb dan Cd

Sumber: Mulyadi *et al.* (2007)

Penggunaan Biochar. Penggunaan biochar limbah pertanian di lahan terdegradasi selain memperbaiki produktivitas tanah dan tanaman, juga mengurangi kontaminan, meningkatkan kapasitas menahan air,

menguntungkan aktivitas dan dinamika mikroba, dan meningkatkan sekuistrasi karbon dalam tanah (Widowati *et al.* 2011). Pemberian biochar dapat meningkatkan produktivitas tanaman jagung dari 3 t menjadi 6 t/ha (Gani 2009). Penambahan biochar 0,4-8 t C/ha pada berbagai tanaman terjadi peningkatan produktivitas 20-220% dengan produksi biomassa 120-320% dibandingkan tanpa biochar (Lehmann *et al.* 2006). Penggunaan biochar di lahan rawa diulas juga dalam buku ini.

Biochar limbah pertanian dapat digunakan sebagai filter pengikat kontaminan dalam air irigasi. Filter yang mengandung biochar tersebut diletakan di pintu pemasukan (*inlet*) dan pintu pengeluaran (*outlet*) pada areal pertanian. Alat filter *inlet-outlet* telah dirancang dan dikembangkan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) yang dapat menurunkan residu klorpirifos (pestisida organofosfat) dan lindan (pestisida organoklorin) dalam air masing-masing hingga 50%. Contoh alat filter *inlet-outlet* terlihat dalam Gambar 5. Alat filter *inlet-outlet* yang mengandung biochar tersebut dapat diletakkan di saluran pemasukan-pengeluaran air di ekosistem rawa agar kontaminan Fe^{2+} dan sulfat dapat diikat dan tidak meracuni tanaman budidaya.



Gambar 5. Alat filter *inlet-outlet* berbahan baku plastik dan lempengan besi

(Sumber: Koleksi Foto Balingtan tahun 2016)

Biochar limbah pertanian digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa karena mampu meningkatkan pH tanah, retensi air, aktivitas biologi tanah dalam memperbaiki permasalahan lingkungan. Biochar bersifat multifungsi karena berbagai keuntungan diperoleh melalui penerapan biochar, antara lain simpanan karbon, reduksi pencucian hara dengan peningkatan daya sangga tanah, reduksi

kemasaman tanah, reduksi residu pestisida dan polutan organik, dan reduksi pembentukan gas rumah kaca terutama CH₄ dan N₂O (Nursyamsi *et al.* 2014). Hasil penelitian Nursyamsi *et al.* (2014) di lahan rawa gambut di Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa kombinasi biochar dengan pupuk kandang kotoran hewan meningkatkan hasil gabah tanaman padi, mengurangi besi terlarut dan mengurangi kemasaman tanah, seperti yang ditunjukkan pada perlakuan kotoran ayam + biochar (A2) memberikan hasil gabah 0.42 t/ha lebih tinggi dibandingkan tanpa amelioran, sekaligus dapat menurunkan Fe terlarut 281 ppm daripada tanpa amelioran (Tabel 4).

Tabel 4. Ameliorasi lahan rawa gambut terhadap hasil gabah, Fe terlarut, dan kemasaman tanah

Bahan amelioran	Hasil gabah kering giling (t/ha)	Fe terlarut (ppm)	pH_H ₂ O
A0 = Tanpa amelioran	3,00	342	3,30
A1 = Kotoran ayam 2,5 t/ha + purun tikus 2,5 t/ha + gulma 2,5 t/ha	3,58	165	3,55
A2 = Kotoran ayam 1,25 t/ha + biochar 6,25 t/ha	3,42	61	3,58
A3 = Kotoran ayam 0,7 t/ha + purun tikus 6,8 t/ha	3,17	67	3,50

Sumber: Nursyamsi *et al.* (2014)

Penggunaan pestisida nabati. Penggunaan pestisida kimiawi harus dikendalikan berdasarkan prinsip pengendalian hama terpadu (PHT) agar tidak digunakan secara masif dan intensif. Salah satu teknologi pengendalian hama dan penyakit yang ramah lingkungan adalah penggunaan pestisida nabati atau agensia hayati. Penggunaan pestisida hayati tersebut secara ekologi mampu mempertahankan ekosistem tetap baik dan tidak merusak lingkungan hidup. Di lahan rawa, beberapa tumbuhan (tumbuhan liar/gulma, pohon dan semak serta tumbuhan mangrove) dapat berfungsi sebagai bahan obat-obatan, pupuk organik, pestisida botani, biofilter dan tanaman sebagai penyerap unsur beracun. Tumbuhan mangrove seperti Api-Api (*Avicennia sp* L), Buta-Buta (*Excoecaria agallocha* L), Bakau (*Rhizophora sp*), Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dapat digunakan sebagai bahan pestisida nabati untuk mengendalikan larva larva ulat krop kubis (*Crocidolomia papartata*) (Wakhid *et al.* 2017). Menurut Alindatus *et al.* (2013) dalam Wakhid *et al.* (2017), bahwa ekstrak daun tanaman hutan mangrove mampu menghambat aktivitas makan dari larva ordo *Lepidoptera*, selain

dapat menghambat aktivitas makan, juga mampu menghambat peneluran, menghambat pertumbuhan dan perkembangan serangga serta dapat menimbulkan efek kematian. Hasil penelitian Asikin *et al.* (2017), ekstrak tumbuhan rawa Bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam), Melinjo (*Gnetum gnemon* L.), Sungkai (*Peronema canescens*), Sawi Laut dan Kumandrah (*Croton tiglium*) berpotensi untuk digunakan sebagai insektisida nabati dengan mortalitas larva ulat grayak (*Spodoptera litura*) masing-masing secara berurutan yaitu 84,4%, 80,0%, 82,2%, 82,2%, 84,4%. Bahan-bahan tersebut mengandung metabolit sekunder antara lain alkaloid, saponin, tannin, flavonoid, sineol, steroid, dan terpenoid yang mampu melindungi tanaman dari serangga, bakteri, jamur, dan pathogen lainnya (Asikin *et al.* 2017).

Penutup

Sejak revolusi hijau, peningkatan capaian produksi tanaman pertanian lebih nyata, namun dari aspek lingkungan tanpa pengelolaan yang tidak tepat justru berdampak negatif terhadap lingkungan antara lain isu pemanasan global, degradasi lahan pertanian dan peningkatan kontaminan dalam tanah, air, dan produk pertanian. Melalui pendekatan pertanian ramah lingkungan berkelanjutan, sistem usaha tani efektif memberikan hasil tinggi dengan *input* efisien yang diselaraskan dengan kebutuhan tanah dan tanaman.

Peningkatan produksi pertanian ke depan diarahkan untuk keberlanjutan ketahanan dan keamanan pangan, mendukung stabilitas ketahanan energi, peningkatan kualitas lingkungan pertanian, danantisipasi dampak perubahan iklim melalui sinergi aksi adaptasi dan aksi mitigasi emisi gas rumah kaca. Pengelolaan lahan rawa yang marjinal dan rapuh untuk peningkatan produksi pertanian perlu dilakukan secara hati-hati, terencana, berasaskan pembangunan berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Sistem integrasi tanaman-ternak (SITT) meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi pertanian, optimasi pemanfaatan lahan, perbaikan kualitas lingkungan dan meningkatkan pendapatan petani, sehingga model ini dapat diterapkan dan dikembangkan dengan berbasis agroekosistem, antara lahan lahan pasang surut. SITT merupakan alternatif teknologi yang dapat memperbaiki lahan-lahan pertanian dengan tingkat kesuburan tanah rendah untuk mendukung pencapaian swasembada pangan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Adimihardja, A., K. Subagyo, & M. Al-Jabri. 2006. Konservasi dan rehabilitasi lahan rawa. *Dalam: Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. 2nd Ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Amin, I. 2004. *Impact and Adaptation to Climate Change: Status and Application in Agriculture Sector*. Summary Report: What's next after the Ratification of the Kyoto Protocols.
- Arienzo, M., A.A. Masuccio, L. Ferrara. 2013. Evaluation of Sediment Contamination by Heavy metals, Organochlorinated Pesticides, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Berre Coastal Lagoon (Southeast France). *Arch Environ Contam Toxicol* 65:396-406. DOI 10.1007/s00244-013-9915-3
- Asikin, S., N. Wakhid, & M.A. Susanti. 2017. Insektisida nabati hama ulat grayak (*Spodoptera Litura*) dari beberapa tumbuhan rawa di Kalimantan Selatan. *Prosiding Seminar Inovasi Pestisida Ramah Lingkungan Mendukung Swasembada Pangan*. Pati, 6-7 September 2017. Hlm. 191-202.
- Balitbangtan. 2011. *Road Map Strategi Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Batjes, N.H., & E.M. Bridges. 1992. A review of soil factors and processes that control fluxes of heat, moisture, and greenhouse gasses. Technical Review. Prepare in *Framework of the Netherland National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change*. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Netherland.
- BBSDL. 2014. *Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan*. Edisi-1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2014. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan Tahun 2014*. Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2015. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan Tahun 2015*. Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2016. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan Tahun 2016*. Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian.

- Fagi, A.M., A. Djulin, P. Setyanto, & A. Wihardjaka. 2013. *Pedoman Umum Pengembangan Model Pertanian Ramah Lingkungan Berkelanjutan*. Edisi kesatu. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Fahmi, A. B. Radjagukguk, & B.H. Purwanto. 2009. Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *J. Tanah Tropika* 14(2): 119-125.
- Gani, A. 2009. Potensi arang hayati biochar sebagai komponen teknologi perbaikan produktivitas lahan pertanian. *Iptek Tanaman Pangan* 4(1): hlm. 33-48.
- Hendrawati, T. 2001. Pengelolaan lahan sawah tadah hujan berwawasan lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Budidaya Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan*. Puslitbangtan. Bogor. Hlm. 21-35.
- Husna, N. 2014. Pengelolaan bahan organik di tanah sulfat masam. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. Palembang, 26-27 September 2014.
- Jing Zheng, Xiao-Jun Luo, Jian-Gang Yuan, Luo-Yiyi He, Yi-Hui Zhou, Yong Luo, She-Jun Chen, Bi-Xian Mai, Zhong-Yi Yang. 2011. Heavy Metals in Hair of Residents in E-Waste Recycling Area, South China: Contents and Assessment of Bodily State. *Arch Environ Contam Toxicol* 61:696-703. DOI 10.1007/s00244-9650-6
- Kurnia, U., & N. Sutrisno. 2008. Strategi pengelolaan lingkungan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2(1): 59-74.
- Lehmann, J., J. Gaunt, & M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.
- Lin Jia, Wuyi Wang, Yonghua Li, and Linsheng Yang. 2010. Heavy Metals in Soil and Crops of Intensively Farmed Area: A Case Study in Yucheng City, Shandong Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 7:395-412. doi:10.3390/ijerph7020395. ISSN 1660-4601. www.mdpi.com/journal/ijerph
- Markovic, M, S. Cupae, R. Durovic, J. Milinovic, P. Klajic. 2010. Assessment of Heavy Metal and Pesticide Levels in Soil and Plant Product from Agricultural Area of Belgrade, Serbia. *Arch Environ Contam Toxicol* 58:341-351. DOI 10.1007/s00244-009-9359
- Metronews. 2016. Degradasi lahan pertanianancam swasembada pangan nasional. Metronews edisi 21 Agustus 2016. <http://ekonomi.metronews.com/mikro/5b2MRDnN-degradasi-lahan-pertanian-ancam-swasembada-pangan-nasional>
- Mazej, Z., S.A. Sayegh-Petkovsek, B. Pokorny. 2010. Heavy Metal Concentrations in Food Chain Lake Velenjsko Jezero, Slovenia: An

- Artificial Lake from Mining. Arch Environ Contam Toxicol. DOI 10.1007/s00244-009-9417-5
- Mitchell, B., B. Setiawan, & D.H. Rahmi. 2003. *Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Mulyadi, S.Y. Jatmiko, & A.N. Ardiwinata. 2007. Pencemaran limbah industri di lahan pertanian dan teknologi penanggulangannya. *Dalam: Pengelolaan Lingkungan Pertanian Menuju Mekanisme Pembangunan Bersih*. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Hlm. 130-192
- Nacke, H., A.C. Goncalves Jr., D. Schwantes, I.A. Nava, L. Strey, G.F. Coelho. 2013. Availability of Heavy Metals (Cd, Pb, and Cr) in Agricultura from Commercial Fertilizers. Arch Environ Contam Toxicol 64: 537-544. DOI 10.1007/s00244-012-9867-z.
- Noor, M., Masganti, dan F. Agus. 2016. Pembentukan dan karakteristik gambut tropika Indonesia. Dalam: Agus, F., M. Anda, A. Jamil, Masganti. (eds). *Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Edisi revisi. IAARD Press. Hlm. 7-32.
- Nursyamsi, D., E. Maftuah, I. Khairullah, & Mukhlis. 2014. Use of biochar to improve soil characteristics and increase rice yield in swamp land. In: Hayashi, K. (ed.). *Biochar for Future Food Security: Learning from Experiences and Identifying Research Priorities*. IRRI Limited Proceedings No. 18. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Pierzynski, G.M., J.T. Sims, & G.F. Vance. 2000. *Soils and Environmental Quality*. 2nd Edition. CRC Press. New York.
- Prasad, M.N.V. (2011). *A state of the art report on bioremediation, its applications to contaminated site in India*. Ministry of Environment and Forest. Government of India.
- Reid, B.J., F.L. Pickering, A. Freddo, M.J. Whelan, and F. Coulon. 2013. Influence of biochar on isoproturon partitioning and bioaccessibility in soil. *Environmental Pollution* 181: 44-50.
- Ross, S.M. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant system. In Ross, S.M (Ed). *Toxic Metals in Soil-Plant System*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore. pp. 3-25.
- Sasa, I.J., A. Ichwan, & Sriyanto. 2006. Potensi produksi gas metan dari lahan pasang surut sulfat masam tipe luapan A di Kalimantan Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya lahan Pertanian*. Buku II. Bogor, 14-15 September 2006. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. Hlm. 467-476.

- Soemarno. 2001. Konsep usaha tani lestari dan ramah lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Budidaya Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Hlm. 1-3.
- Soemarno, U.G. Kartasasmita, & D. Pasaribu. 2009. Pengayaan kandungan bahan organik tanah mendukung keberlanjutan sistem produksi padi sawah. *Iptek Tanaman Pangan* 4(1): 18-32.
- Suriadikarta, D.A. 2012. Teknologi pengelolaan lahan rawa berkelanjutan: Studi kasus kawasan Ex PLG Kalimantan Tengah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 6(1): 45-54.
- Susilowati, H.L., P. Setyanto, & R. Kartikawati. 2009. Karakteristik tanaman padi pasang surut dan perbedaannya terhadap fluks CH_4 di tanah gambut. *Jurnal Tanah dan Iklim* 30: 67-79.
- Sutarnihardja, R.T.M. 2009. *Perubahan Lingkungan Global*. Yayasan Pasir Luhur Bogor.
- Takagi, K., R. Kataoka, and K. Yamazaki. (2011). Review: Recent technology on bio-remediation of POPs and persistent pesticide. *JARQ* 45 (2), 129-136.
- Wagatsuma, T., T. Nakashima, K. Tawaraya, S. Watanabe, A. Kamio, & A. Ueki. 1990. Role of plant aerenchyma in wet tolerance and methyane emission from plants. pp. 455-461 in *Plant Nutrition-Plant Physiology and Application*. Kluwer Academic Publisher.
- Wakhid, N., M.A. Susanti, & S. Asikin. 2017. Efektivitas ekstrak beberapa tanaman mangrove sebagai insektisida nabati terhadap hama krop kubis di lahan rawa pasang surut. *Prosiding Seminar Inovasi Pestisida Ramah Lingkungan Mendukung Swasembada Pangan*. Pati, 6-7 September 2017. Hlm. 171-182.
- Wassman, R., & M.S. Aulakh. 2000. The role of rice plants in regulating the mechanism of methane emission. *Biol. Fertil. Soils* 31: 20-29.
- Widodo, T.W., A. Asari, A. Nurhasanah, & T. Alihamisyah. 2008. Teknologi pemanfaatan limbah ternak untuk biogas. *Dalam: Widjono, A., Hermanto, Sunihardi (Eds.). Sistem Integrasi Tanaman Pangan-Ternak Bebas Limbah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. Hlm. 34-48.
- Widowati, W.H. Utomo, L.A. Soehono, & B. Guritno. 2011. Effect of biochar on the release and loss of nitrogen from urea fertilization. *J. Agric. Food. Tech.* 1(7): 127-132.
- Wihardjaka, A., & D. Nursyamsi. 2012. Pengelolaan tanaman terpadu pada padi sawah yang Ramah Lingkungan. *Pangan* 21(2): 185-196.

- Wihardjaka, A., dan P. Setyanto. 2014. Pertanian ramah lingkungan pada tanaman pangan. *Sains Indonesia* Edisi 31, Juli 2014. Hlm. 92-94.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto, & A.K. Makarim. 1999. Pengaruh penggunaan bahan organik terhadap hasil padi dan emisi gas metana pada lahan sawah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah*. Bogor, 24 April 1999. Hlm. 44-53.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto, & Mulyadi. 2013. Pendekatan pertanian ramah lingkungan berkelanjutan melalui sistem integrasi tanaman-ternak. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pertanian Ramah Lingkungan*. Buku I. Makasar, 19-21 Juni 2013. Hlm. 653-663.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Penerbit Gaya Megia. Yogyakarta.

TEKNOLOGI PUPUK HAYATI UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS LAHAN DAN TANAMAN DI LAHAN RAWA

Mukhlis dan Yuli Lestari

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jln. Kebun Karet, Loktabat, Banjarbaru, Kalsel
mukhlisbalitra@yahoo.com

Ringkasan

Secara kuantitas, Indonesia mempunyai sumberdaya lahan rawa yang luas dengan berbagai keragaman dan karakteristik. Sesuai dengan sifatnya yang suboptimal, dan selaras dengan konsep dan tuntutan pembangunan pertanian berkelanjutan, maka pengembangan dan optimalisasi lahan rawa akan diarahkan pada beberapa aspek, yaitu produktivitas, efisiensi produksi, kelestarian sumberdaya dan lingkungan serta kesejahteraan petani. Pupuk merupakan salah satu komponen penting dalam proses produksi pertanian, oleh karena itu inovasi teknologi di bidang pemupukan (anorganik, organik, dan hayati) harus terus dikembangkan, baik dalam pengembangan formula baru, peningkatan efektivitas maupun peningkatan efisiensi penggunaannya. Pengembangan inovasi di bidang formulasi ini sangat dibutuhkan untuk pengembangan lahan rawa yang pada umumnya mempunyai tingkat produktivitas rendah akibat terkendala oleh sifat-sifat tanah yang kurang baik. Dari aspek kemajuan teknologi, pemanfaatan pupuk hayati belum sepenuhnya berkembang di lahan rawa, meskipun diyakini mikroba telah banyak berperan dalam sistem usaha pertanian. Pemanfaatan pupuk hayati yang sesuai dengan kondisi tanah dan target peruntukannya merupakan alternatif untuk meningkatkan kesuburan tanah, efisiensi pemupukan anorganik, produktivitas tanaman dan mengurangi bahaya pencemaran lingkungan. Pupuk hayati fungsinya antara lain untuk membantu penyediaan hara bagi tanaman, mempermudah penyerapan hara bagi tanaman, membantu dekomposisi bahan organik, menyediakan lingkungan rhizosfer yang lebih baik sehingga pada akhirnya mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman. Berbagai

hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk hayati mampu beradaptasi dan meningkatkan produktivitas tanaman di lahan rawa.

Pendahuluan

Berdasarkan trend kebutuhan pangan nasional terutama padi, jagung dan kedelai, maka hingga tahun 2025 dibutuhkan 4,7 juta lahan bukaan baru, untuk perluasan areal sawah sekitar 1,4 juta ha, kedelai sekitar 2 juta ha dan jagung sekitar 1,3 juta ha. Padahal, lahan yang subur sudah sangat terbatas, lahan cadangan yang tersisa sebagian besar merupakan lahan suboptimal, termasuk didalamnya lahan terdegradasi dan terlantar (Warta Ekonomi 2016). Oleh karena itu untuk mendukung peningkatan produksi pangan pada tahun 2018, Kementan melakukan terobosan baru dengan ekstensifikasi penanaman pangan melalui program Perluasan Areal Tanam Baru (PATB) di lahan rawa seluas 1 juta ha. Perluasan areal lahan rawa seluas 1 juta ha ini, selain untuk mewujudkan ketahanan pangan, pemerintah juga ingin meningkatkan taraf hidup masyarakat dan mengentaskan kemiskinan.

Permasalahan pemanfaatan lahan rawa untuk pengembangan tanaman pangan adalah terkendala pada sifat fisika, kimia, dan biologi tanah sebagai faktor pembatas pertumbuhan tanaman, antara lain; tingkat kesuburan tanah rendah, kemasaman tanah, dan keracunan Fe dan Al (Haryono 2013) serta rendahnya populasi mikroorganisme tanah (Mukhlis 2012). Selain itu, tanah lahan rawa yang telah dibuka dan dimanfaatkan di daerah tropik secara umum kandungan haranya cepat menurun (Ismawi *et al.* 2012). Oleh karena itu, sebagian besar lahan rawa yang telah dibuka masih memiliki nilai produktivitas yang rendah. Produktivitas padi di lahan rawa hanya berkisar 3-5 t GKG/ha atau rata-rata 4,5 t GKG/ha dan jauh lebih rendah dibandingkan produksi padi pada lahan sawah irigasi di Pulau Jawa yang telah mencapai 6 - 7 ton/ha.

Dengan kondisi demikian, maka usaha peningkatan produksi pangan yang perlu dilakukan adalah intensifikasi melalui perbaikan pemupukan. Selama ini pemupukan yang dilakukan petani lahan rawa masih mengandalkan pupuk anorganik karena hasilnya dapat terlihat dengan relatif cepat. Namun penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan menyebabkan polusi udara dan air tanah serta meningkatkan kandungan hara di perairan (*eutrofikasi*) (Youssef dan Eissa 2014). Dampak negatif lain terhadap ekosistem tanah adalah pengerasan tanah, penurunan bahan

organik, kontaminasi logam berat, resistensi hama dan penyakit tertentu, dan dapat menghilangkan jenis predator dan parasitoid (Stoate *et al.* 2001).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap dampak negatif akibat penggunaan pupuk anorganik dan didukung oleh kemajuan bidang bioteknologi telah mendorong berkembangnya produk-produk alternatif yang lebih ramah lingkungan. Pupuk hayati (*biofertilizer*) salah satu alternatif yang bila digunakan sesuai dengan kondisi tanah dan target peruntukannya maka mampu meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, mengefisienkan penggunaan pupuk anorganik, dan mengurangi bahaya pencemaran lingkungan. Dalam tulisan ini dikemukakan teknologi dan strategi pemanfaatan pupuk hayati untuk meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman di lahan rawa.

Potensi dan Status Hara Lahan Rawa

Lahan rawa merupakan lahan suboptimal yang memiliki potensi sangat besar untuk dikelola menjadi areal pertanian termasuk pertanian tanaman pangan. Di Indonesia luas lahan rawa seluruhnya mencapai 34,93 juta ha, yang mencakup lahan pasang surut seluas 19,90 juta ha dan lebak seluas 15,03 ha. Dari luasan tersebut, sekitar 19,99 juta ha (57,24%) merupakan lahan potensial untuk pertanian, sedangkan sisanya sekitar 14,93 juta ha tidak potensial untuk pertanian yang sebagian besar terdapat di kawasan hutan (BBSDL 2014). Produktivitas lahan rawa sangat beragam dan sangat tergantung pada kondisi tanah, tata air dan penerapan teknologi terutama pengelolaan lahan dan varietas tanaman. Berdasarkan tipologi lahan, produktivitas padi sawah eksisting di lahan sulfat masam potensial berkisar antara 3,2 – 4,0 t GKG/ha, di lahan sulfat masam aktual berkisar 2,6 – 3,5 t GKG/ha, di lahan gambut berkisar antara 2,7 – 3,0 t GKG/ha, dan lahan salin berkisar antara 2,6 – 3,9 t GKG/ha. Melalui optimalisasi lahan, potensi produktivitas padi masing-masing tipologi lahan berkisar 6,3 – 7,0 t GKG/ha pada lahan sulfat masam potensial, 4,5 – 6,0 t GKG/ha pada lahan sulfat masam aktual, 4,0 – 5,0 t GKG/ha pada lahan gambut, dan 4,0 – 5,0 t GKG/ha pada lahan salin (BBSDL 2011).

Berdasarkan macam dan tingkat kendala dalam pengembangan dan pengelolaan, khususnya untuk pertanian, lahan rawa dibagi menjadi lima tipologi lahan, yaitu: 1) lahan potensial, 2) lahan sulfat masam, 3) lahan gambut, 4) lahan salin atau pantai, dan 5) lahan rawa lebak. Lahan

potensial adalah lahan mineral yang berada di sepanjang aliran sungai alam yang sering mengalami luapan air pasang. Walaupun kemasaman relatif rendah, namun adanya pencucian baik oleh luapan pasang maupun curah hujan mengakibatkan lahan tersebut miskin hara terutama yang mudah tercuci seperti N dan K. Lahan sulfat masam adalah lahan yang mempunyai lapisan pirit atau sulfurik pada kedalaman 0-100 cm dan dibagi menjadi lahan sulfat masam aktual dan sulfat masam potensial. Pada tanah sulfat masam, kemasaman yang tinggi menyebabkan ketersediaan hara makro primer (N, P, dan K), hara makro sekunder (Ca dan Mg) dan unsur hara mikro terutama B untuk tanaman menjadi berkurang. Defisiensi N terjadi karena terhambatnya proses mineralisasi bahan organik, defisiensi P terjadi karena adanya pembentukan kompleks Al/Fe-P, sedangkan defisiensi K, Ca, dan Mg terjadi karena hilang melalui proses pencucian. Defisiensi B terjadi karena proses pengendapan. Proses reaksi kimia alamiah yang berlangsung sangat lama berakibat tanah pada lahan rawa menjadi miskin hara.

Lahan gambut adalah lahan yang mempunyai lapisan gambut >50cm. Umumnya tanah gambut Indonesia termasuk kriteria sangat masam (pH 3-5), mempunyai kejenuhan basa (KB) rendah, dan miskin hara. Miskinnya hara ini disebabkan bahan induk dari pohon-pohon yang tumbuh pada tanah miskin dan proses pembentukannya dipengaruhi oleh air hujan sehingga tidak ada pengkayaan dari luar. Porositas gambut yang tinggi menyebabkan hara yang terbentuk dari proses mineralisasi mudah tercuci ke lapisan dasar (substratum), sehingga makin tebal gambut akan semakin miskin hara. Adanya asam-asam organik menyebabkan terjadinya khelatisasi terhadap unsur mikro sehingga sering terjadi kahat Fe, Cu, dan Zn, serta Si. Status kimia tanah pada lahan potensial, sulfat masam, dan gambut disajikan pada tabel 1, 2, dan 3. Sedangkan lahan lebak merupakan lahan yang mempunyai topografi datar, dipengaruhi oleh banjir luapan sungai dan curah hujan selama musim penghujan. Semakin menjauhi tanggul sungai, topografi lahan semakin rendah. Lahan ini tergenang banjir sepanjang tahun atau hampir sepanjang tahun, tergantung dari topografi lahan (Noor 2007). Syahbuddin (2011) melaporkan lahan lebak umumnya mengandung hara N-total sedang (0,33%), P tersedia rendah (11,3 ml/100g), K sedang (0,20 ml/100g), dan C organik 10,8 %. Lahan lebak jenis mineral yang berasal dari endapan sungai cukup potensial untuk budidaya tanaman pangan. Lahan salin adalah lahan yang berada pada zona payau atau kawasan pantai dan sering mengalami intrusi air laut sehingga mengakibatkan tingginya kadar garam. Umumnya berada pada kawasan

tipe luapan A dan luapan pasangannya intensif sehingga mengakibatkan hara yang mudah tercuci seperti N dan K menjadi mudah hilang. Sifat kimia lahan lebak disajikan pada Tabel 4.

Tabel 1. Sifat kimia tanah di berbagai tipologi lahan dan tipe luapan air lahan rawa pasang surut, Kalimantan Selatan dan Tengah

Sifat kimia tanah	Lahan potensial tipe A	Lahan sulfat masam			Lahan gambut tipe C
		Tipe B	Tipe C	Tipe B/C	
pH	5,31	3,94	3,70-3,69	3,46-4,74	4,30
C-organik (%)	4,55	9,75	7,10-7,50	46,97	-
N-total (%)	0,20	0,59	0,27-0,48	0,12-0,21	0,38
P ₂ O ₅ -tersedia (ppm)	25,30	-	0,25-23,55	1,57	7,87
EC (μS/cm)	561,50	172,00	301,00	40,00	-
Kation tertukar	-	-	-	-	-
K (cmol/kg)	0,70	0,40	0,32	2,04	0,72
Na (cmol/kg)	4,65	0,15	0,39	2,76	0,29
Al (cmol/kg)	0,60	7,50	13,25	5,21	3,95
Kejenuhan basa (%)	81,00	26,00	-	4,40-28,78	-

Keterangan: - = data tidaktersedia
Sumber: Noor (2004)

Tabel 2. Sifat kimia tanah pada lahan sulfat masam (lapisan atas 0-20 cm) di Kalimantan dan Sumatera

Sifat-sifat tanah*)	Kalimantan		Sumatera
	Sulfat masam Potensial	Sulfat masam Aktual	Sulfat masam Potensial
pH H ₂ O (1:5)	4,3	3,6	4,0
C-organik (%)	9,16	10,93	20,54
N-total (%)	0,59	0,49	0,70
P ₂ O ₅ HCl (mg/100g)	115	45	58
K ₂ O HCl (mg/100g)	32	81	35
P ₂ O ₅ Bray II (ppm)	17,7	19,3	32,3
Ca tertukar (cmol/kg tanah)	5,11	4,12	7,84
Mg tertukar (cmol/kg tanah)	7,05	9,25	10,89
K tertukar (cmol/kg tanah)	0,56	0,89	0,64
Na tertukar (cmol/kg tanah)	6,01	14,87	2,34
KTK pH 7 (cmol/kg tanah)	31,5	37,2	62,5
Kejenuhan basa (%)	49	42	35
Kejenuhan Al (%)	35	71	32

*) Nilai rata-rata dari 27 contoh tanah
Sumber: Subagyo (2006)

Tabel 3. Sifat kimia lahan lebak (lapisan atas 0-30 cm) di Kalimantan timur

Sifat kimia	Tipologi lahan lebak					
	Lebak dangkal		Lebak menengah		Lebak dalam	
pH (H ₂ O)	4.80	4.50	5.90	5.00	5.50	6.50
C-orgnik (%)	1.80	1.96	4.56	1.87	6.12	9.61
N-total (%)	0.19	0.21	0.34	0.17	0.41	0.61
C/N	9.47	9.00	13.41	11.00	14.93	16.00
P-Bray (ppm)	0.85	2.70	1.98	1.30	2.67	4.61
Ca (cmol/kg)	8.43	0.30	7.90	12.50	17.88	10.34
Mg (cmol/kg)	5.67	0.40	3.48	8.72	4.57	5.44
K (cmol/kg)	0.42	0.48	0.47	0.24	0.89	0.43
Na (cmol/kg)	0.09	0.03	0.26	0.33	0.61	0.10
KTK (cmol/kg)	38.89	23.36	33.78	28.10	47.90	46.05
Kejenuhan Al (%)	16.75	18.1	8.90	4.3	8.40	15.10
Lokasi	T.garong	Ancalong	T.garong	Ancalong	T.garong	Ancalong

Sumber : Arifin dan Susanti (2005)

Pupuk Hayati

Pupuk hayati didefinisikan sebagai substansi yang mengandung mikroorganisme hidup dan bila diaplikasikan pada benih, permukaan tanaman, atau tanah, dapat mengkolonisasi rhizosfer atau bagian dalam tanaman dan mendorong pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan pasokan atau ketersediaan hara primer bagi tanaman inang (Moelyohadi *et al.* 2012). Sementara itu, dalam PERMENTAN No. 70/Permentan/SR.140/10/2011 disebutkan bahwa pupuk hayati adalah produk biologi aktif terdiri dari mikroorganisme yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, kesuburan dan kesehatan tanah, sedangkan komposisi mikroorganisme/mikrofauna dan bahan pembawa penyusun pupuk hayati merupakan formula pupuk hayati (Permentan 2011).

Saat ini, pupuk hayati merupakan alternatif ramah lingkungan yang sedang berkembang diaplikasikan di dunia pertanian. Aplikasi pupuk hayati terbukti berdampak baik terhadap pertumbuhan tanaman hingga produksinya. Pengaplikasian pupuk hayati dapat menjadikan unsur-unsur yang tidak tersedia karena terikat dalam koloid tanah, menjadi tersedia. Hal ini disebabkan karena aktivitas mikroba dalam pupuk hayati dapat melepas khelat unsur-unsur yang terikat dalam koloid tanah. Pupuk hayati sebagai kegiatan mikrobiologis bukanlah pupuk biasa (kimia anorganik) yang secara langsung meningkatkan kesuburan tanah dengan menambahkan nutrisi ke dalam tanah. Pupuk hayati atau mikrobiologis

menambahkan nutrisi melalui proses alami, yaitu fiksasi nitrogen atmosfer, menjadikan fosfor bahan yang terlarut, dan merangsang pertumbuhan tanaman melalui sintesis zat-zat yang mendukung pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme dalam pupuk hayati mengembalikan siklus nutrisi alami tanah dan membentuk material organik tanah. Melalui penggunaan pupuk hayati, tanaman yang sehat dapat ditumbuhkan sambil meningkatkan keberlanjutan dan kesehatan tanah.

Pupuk hayati memberi manfaat bagi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen melalui perannya memfiksasi N pada tanah yang kaya jenis mikro dan makro-nutrisi, melarutkan P dan K atau mineralisasi, melepaskan zat pengatur tumbuh tanaman, dan memproduksi antibiotik serta merombak bahan organik (Sinha *et al.* 2014). Ketika pupuk hayati diaplikasikan pada benih atau tanah, mikroorganisme yang terkandung di dalamnya akan berkembang biak dan berperan aktif dalam pemberian nutrisi dan meningkatkan produktivitas tanaman (Singh *et al.* 2011). Pemanfaatan pupuk hayati yang sesuai dengan kondisi tanah dan target peruntukannya merupakan alternatif untuk meningkatkan kesuburan tanah, efisiensi pemupukan anorganik, produktivitas tanaman dan mengurangi bahaya pencemaran lingkungan. Pupuk hayati fungsinya antara lain; untuk membantu penyediaan hara bagi tanaman, mempermudah penyerapan hara bagi tanaman, membantu dekomposisi bahan organik, menyediakan lingkungan rhizosfer yang lebih baik sehingga pada akhirnya mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman (Saraswati, 2012).

Penyediaan hara ini berlangsung melalui hubungan simbiotis atau non simbiotis. Secara simbiosis berlangsung dengan kelompok tanaman tertentu atau dengan kebanyakan tanaman sedangkan non simbiosis berlangsung melalui penyerapan hara hasil pelarutan oleh kelompok mikroba pelarut fosfat, dan hasil perombakan bahan organik oleh kelompok organisme perombak. Mikroorganisme dalam pupuk hayati yang digunakan dalam bentuk inokulan dapat mengandung hanya satu strain tertentu atau monostRAIN tetapi dapat pula mengandung lebih dari satu strain atau multistRAIN. Strain-strain pada inokulan multistRAIN dapat berasal dari satu kelompok inokulasi silang (*cross inoculation*) atau lebih. Pada mulanya hanya dikenal inokulan yang hanya mengandung satu kelompok fungsional mikroba (pupuk hayati tunggal) tetapi perkembangan teknologi inokulan telah memungkinkan memproduksi inokulan yang mengandung lebih dari satu kelompok fungsional mikroba. Inokulan-inokulan komersial saat

ini mengandung lebih dari suatu spesies atau lebih dari satu kelompok fungsional mikroba.

Mikroorganisme yang umum digunakan sebagai bahan aktif pupuk hayati ialah mikroorganisme penambat N, pelarut P, dan mikroorganisme penghasil zat pengatur tumbuh (ZPT). Mikroorganisme yang teridentifikasi sebagai penyedia unsur nitrogen antara lain: *Azotobacter chroococcum*, *Azomonas agilis*, *Azotobacter beijerinckii*, *Azospirillum lipoperum*, *Azospirillum brasilense*, *Blue Green Algae*, *Rhizobium japonicum*, *Rhizobium lupine*, dan *Rhizobium leguminosarum*. Kelompok mikroorganisme pelarut fosfat antara lain *Aspergillus niger*, *Bacillus megatenum*, *Lolium multiflorum*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas diminuta*, dan *Penicillium* (Syarifudin 2002). Mikroorganisme pelarut fosfat mampu mengubah bentuk P terfiksasi menjadi P yang lebih larut dan mudah diambil tanaman serta meningkatkan pertumbuhan dengan mekanisme memproduksi fitohormon seperti IAA yang merupakan pemacu tumbuh tanaman (Mittal *et al.* 2008). Bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* dapat memacu pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen, dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin (Nasahi 2010). IAA yang dihasilkan oleh bakteri dalam tanaman berperan meningkatkan jumlah rambut akar dan akar lateral tanaman (Okon dan Kapulnik 1986). Hormon IAA mampu mensintesis unsur hara yang secara biologis dapat meningkatkan perkecambahan biji, tinggi dan pertumbuhan tanaman (Berkum dan Bohlool 1980). Menurut Pan *et al* (1999), hormon yang dihasilkan oleh bakteri tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh secara langsung dengan cara meningkatkan pertumbuhan tanaman, dan sebagai fasilitator dalam penyerapan beberapa unsur hara dari lingkungan. Sedangkan secara tidak langsung, melalui mekanisme penghambatan organisme patogen pada tanaman oleh fitohormon yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi bakteri aerobik *Azotobacter* sp yang hidup bebas dalam tanah memberikan pengaruh positif pada berbagai tanaman. Studi lain menunjukkan bahwa *Azotobacter* selain efektif untuk fiksasi nitrogen juga memproduksi hormon tumbuh, bahan fungisida, siderofor, dan mampu melarutkan fosfat (Jalilian *et al.* 2012). Penggunaan isolat mikroorganisme lokal (*indigenous*) lebih dianjurkan dalam seleksi inokulasi pada tanaman karena mikroorganisme tersebut

telah beradaptasi dengan kondisi ekologi setempat dibandingkan dengan strain non-indigenous (Bhattarai dan Hess *dalam* Kizilkaya 2008).

Penggunaan pupuk hayati sudah banyak diaplikasikan terhadap beberapa tanaman penting baik pangan maupun hortikultura. Guntoro *et al* (2006) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk hayati *Azospirillum* sp. meningkatkan efisiensi pemupukan dan serapan hara pada tanaman *Cynodon dactylon* var. Tifdwarf (*turfgrass*). Andriawan (2010) menunjukkan bahwa pupuk hayati dapat menurunkan penggunaan dosis pupuk anorganik sebesar 25% tanpa mengurangi hasil tanaman padi sawah. Setyawan (2013) menambahkan bahwa penggunaan pupuk hayati beserta pemberian pupuk organik dan pembenaman jerami dapat menurunkan penggunaan pupuk anorganik sebesar 50% tanpa menurunkan hasil yang dibandingkan dengan pemberian pupuk anorganik dengan dosis 100%.

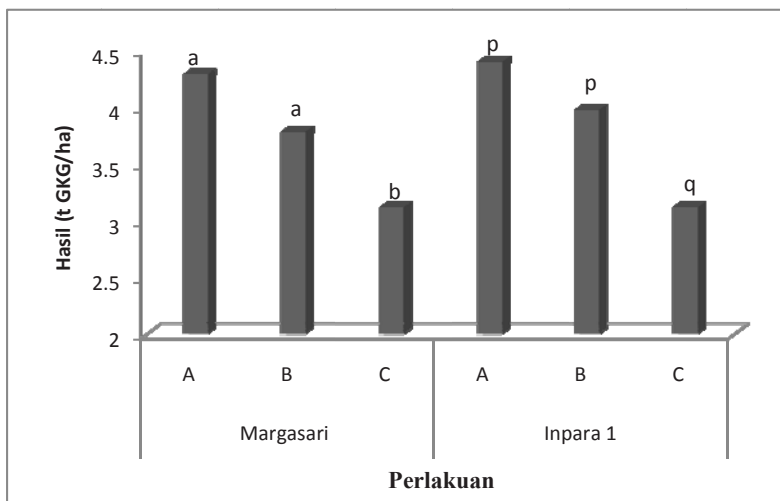
Kualitas pupuk hayati bisa dilihat dari parameter berikut (Simanungkalit *et al.* 2006): (1) Jumlah populasi mikroorganisme dimana jumlah mikroorganisme hidup yang terdapat dalam pupuk harus terukur (bakteri $\geq 10^7$ cfu, jamur $\geq 10^4$ cfu). Bila jumlahnya kurang maka aktivitas mikroorganisme tersebut tidak akan memberikan pengaruh pada pertumbuhan tanaman. (2) Efektifitas mikroorganisme dimana tidak semua mikroorganisme memberikan pengaruh positif pada tanaman. Bahkan beberapa diantaranya bisa menjadi parasit. Hanya mikroorganisme tertentu yang bisa dijadikan sebagai pupuk hayati. Sebagai contoh, jenis *Rhizobium* yang bisa menambat nitrogen, atau *Aspergillus niger* sebagai pelarut fosfat. (3) Bahan pembawa dimana fungsinya sebagai media tempat mikroorganisme tersebut hidup. Bahan pembawa harus memungkinkan organisme tetap hidup dan tumbuh selama proses produksi, penyimpanan, distribusi, hingga pupuk siap digunakan. (4) Masa kadaluarsa terkait karena mikroorganisme memiliki siklus hidup. Apabila mikroorganisme dalam pupuk hayati telah mati, pupuk tersebut tidak bisa dikatakan sebagai pupuk hayati. Untuk memperpanjang siklus hidup tersebut, produsen pupuk biasanya mengemas mikroorganisme tersebut dalam keadaan dorman. Sehingga perlu aktivasi kembali sebelum pupuk diaplikasikan pada tanaman. Pupuk hayati yang benar seharusnya mencantumkan tanggal kadaluarsa dalam kemasannya.

Efektivitas Pupuk Hayati di Lahan Rawa

Padi

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa sebagai salah satu institusi penelitian di bawah Badan Litbang Pertanian telah berhasil membuat formulasi pupuk hayati Biotara yang adaptif dengan tanah masam lahan rawa dan mampu meningkatkan produktivitas tanaman dan keberlanjutan sumberdaya lahan. Pupuk hayati ini mengandung konsorsia mikroba dekomposer (*Trichoderma sp*), pelarut-P (*Bacillus sp*), dan penambat N (*Azospirillum sp*) yang dapat mengikat N, meningkatkan ketersediaan hara P tanah, mendekomposisi sisa-sisa organik, dan memacu pertumbuhan.

Penelitian yang dilaksanakan di lahan rawa pasang surut sulfat masam, KP. Belandean, kec. Alalak, kab. Batola, Kalsel pada MK 2011 memperlihatkan bahwa pupuk hayati Biotara efektif meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi di lahan rawa sulfat masam. Pemberian pupuk hayati Biotara sebesar 25 kg/ha dengan pupuk NPK Pelangi 400 kg/ha dan pemanfaatan bahan organik *in situ* dapat meningkatkan hasil sebesar 13,49% (varietas Margasari) dan 10,55% (varietas Inpara 1) dibandingkan pemberian pupuk NPK Pelangi 600 kg/ha dan pemanfaatan bahan organik *in situ*. Dibandingkan dengan cara petani, pemberian Biotara dengan dosis tersebut dapat meningkatkan hasil sebesar 37,50% (varietas Margasari) dan 41,03% (varietas Inpara 1). Disamping itu, pupuk hayati ini dapat mengefisienkan penggunaan pupuk anorganik (NPK Pelangi). Hal ini terlihat bahwa pemberian pupuk hayati Biotara dengan pengurangan dosis NPK sebesar 33,33% dari dosis rekomendasi (perlakuan A) tidak menurunkan pertumbuhan tanaman dan hasil gabah dibandingkan pemupukan NPK sesuai rekomendasi (perlakuan B) (Mukhlis dan Saleh 2014).



Gambar 1. Pengaruh pemupukan dan varietas terhadap hasil padi di lahan rawa sulfat masam. KP. Belandean, Kab. Batola. MK 2011

A=Biotara 25 kg/ha + NPK Pelangi 400 kg/ha + jerami/gulma *in situ* segar 5 t/ha;

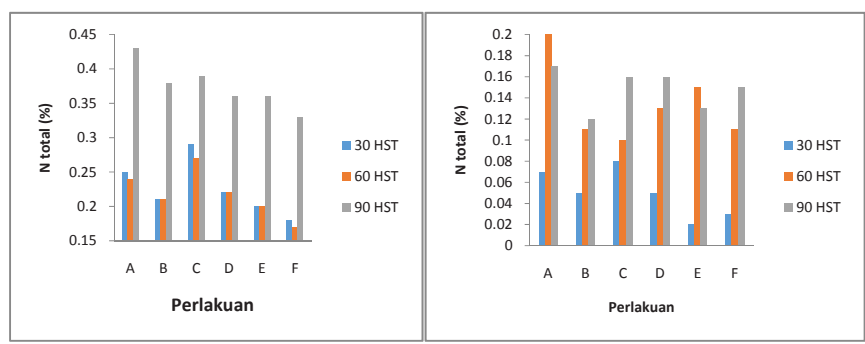
B= NPK Pelangi 600 kg/ha + jerami/gulma *in situ* segar 5 t/ha; dan

C= Cara petani (Urea 124 kg/ha, SP 36 17 kg/ha, jerami/gulma diangkut).

Sumber : Mukhlis dan Saleh (2014)

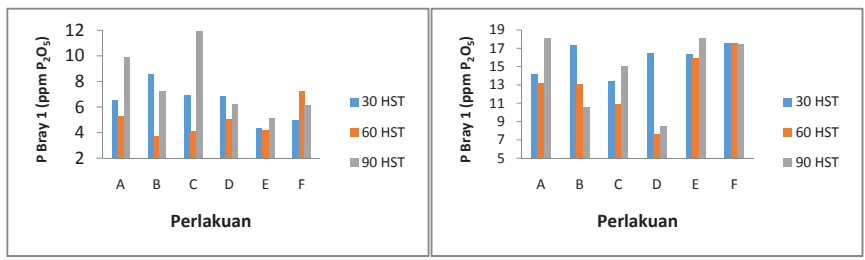
Pada pengujian yang dilaksanakan di lahan sulfat masam, desa Karang Bunga (kab. Batola, Kalsel) dan desa Sido Mulyo (kab. Kutai Barat, Kaltim) menunjukkan bahwa kandungan hara pada perlakuan yang diberi pupuk hayati Biotara lebih tinggi dibandingkan tanpa pupuk hayati Biotara. Hasil analisis tanah pada perlakuan A (NPK Pelangi 300 kg/ha + pupuk hayati Biotara 25 kg/ha), C (NPK Pelangi 400 kg/ha + pupuk hayati Biotara 25 kg/ha) dan E (dosis petani + pupuk hayati Biotara 25 kg/ha) memiliki kandungan N-total, P-tersedia, Ca_{dd} , dan Mg_{dd} lebih tinggi dibandingkan perlakuan B (NPK Pelangi 300 kg/ha + Urea 100 kg/ha), D (NPK Pelangi 400 kg/ha + Urea 100 kg/ha), dan F (dosis petani) (Gambar 2, 3, 5, dan 6). Sedangkan kandungan K_{dd} di desa Karang Bunga tidak dipengaruhi oleh perlakuan pupuk hayati Biotara (Gambar 4). Peningkatan hara ini dimungkinkan terjadi melalui aktivitas jamur *Trichoderma* sp yang mampu mempercepat perombakan sisa-sisa organik (jerami padi dan gulma) sehingga dapat segera tersedia bagi tanaman, bakteri penambat N yang mampu menambat N bebas dan bakteri pelarut P yang dapat melarutkan P yang terikat dengan senyawa lain menjadi tersedia.

Pemberian pupuk hayati Biotara juga mampu meningkatkan tinggi dan jumlah anakan padi (Gambar 7 dan 8). Perlakuan A memperlihatkan tinggi tanaman dan jumlah anakan lebih tinggi dibandingkan perlakuan B. Demikian juga tinggi tanaman dan jumlah anakan pada perlakuan C lebih tinggi dari perlakuan D. Peningkatan pertumbuhan ini sejalan dengan peningkatan kandungan hara tanah yang diberi pupuk hayati Biotara. Keadaan ini menunjukkan bahwa pupuk hayati Biotara efektif meningkatkan pertumbuhan tanaman padi dan dapat mengefisienkan penggunaan pupuk Urea (sumber N) sampai 100 kg/ha (Mukhlis 2012).



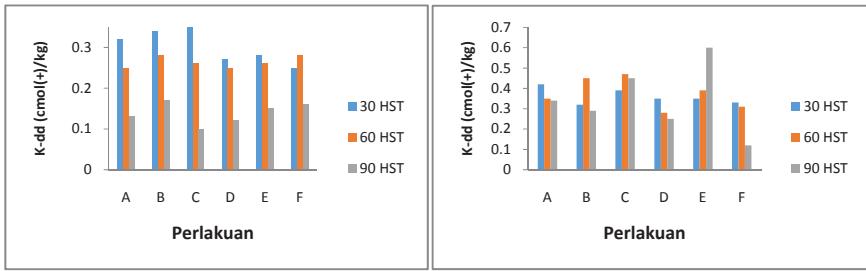
Gambar 2. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap N total di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



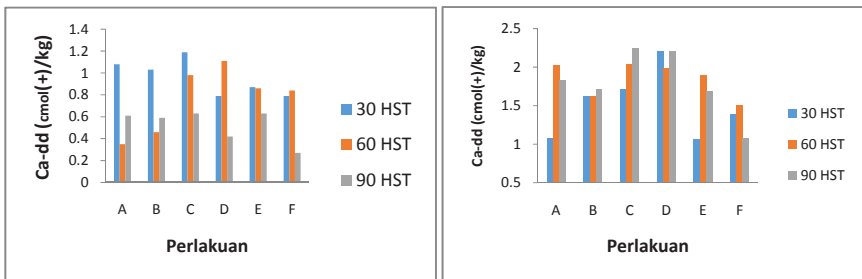
Gambar 3. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap P tersedia di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



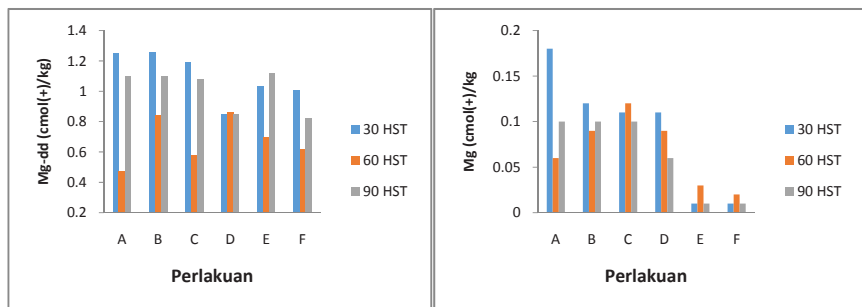
Gambar 4. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap K tersedia di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



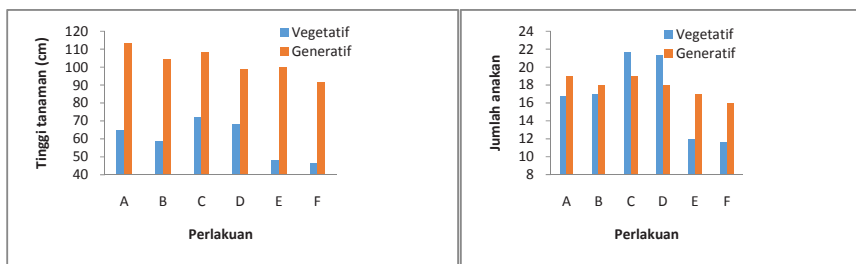
Gambar 5. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap Ca-dd di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



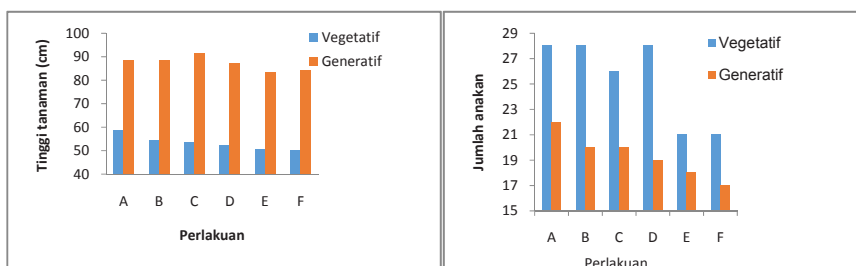
Gambar 6. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap Mg-dd di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



Gambar 7. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap tinggi tanaman (kiri) dan jumlah anakan padi (kanan) di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, (Kalsel). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)

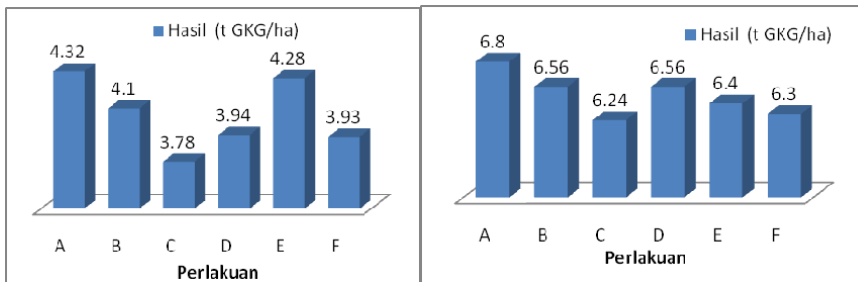


Gambar 8. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap tinggi tanaman (kiri) dan jumlah anakan padi (kanan) di lahan rawa sulfat masam. Desa Sido Mulyo, (Kaltim). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)

Hasil gabah yang diberi pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil gabah di desa Karang Bunga lebih rendah dibandingkan hasil gabah di desa Sido Mulyo. Hal ini dikarenakan varietas padi yang digunakan di desa Karang Bunga adalah varietas Margasari yang potensi hasilnya hanya 4,5 t/ha, sedangkan di desa Sido Mulyo menggunakan pada varietas INPARA 5 yang mempunyai potensi hasil sebesar 7,2 t/ha. Di desa Karang Bunga, perlakuan A memperlihatkan hasil yang tertinggi dan meningkatkan hasil sebesar 0,21 t/ha (5,12 %) dibandingkan perlakuan B. Dibandingkan perlakuan F (cara petani), perlakuan A juga dapat meningkatkan hasil sebesar 0,39 t/ha (9,92 %). Pada perlakuan C dan D, hasil yang diperoleh lebih rendah dari perlakuan A dan B. Rendahnya hasil ini dikarenakan tanaman rebah, sehingga banyak gabah yang rontok ke tanah. Kemungkinan dosis pupuk NPK Pelangi yang

lebih tinggi pada perlakuan C dan D mengakibatkan tanaman tidak tahan terhadap terpaan angin. Sedangkan di desa Sido Mulyo, perlakuan A juga memperlihatkan hasil yang tertinggi. Dibandingkan dengan perlakuan B dan F, perlakuan A dapat meningkatkan hasil masing-masing sebesar 0,24 t/ha (3,66%) dan 0,5 t/ha (7,94%). Hasil yang diperoleh pada perlakuan C lebih rendah karena tanaman terserang penyakit blas leher, sehingga banyak gabah menjadi hampa (Mukhlis 2012).



Gambar 9. Pengaruh pupuk hayati Biotara dan pupuk NPK Pelangi terhadap hasil padi di lahan rawa sulfat masam. Desa Karang Bunga, Kalsel (kiri) dan desa Sido Mulyo, Kaltim (kanan). MK 2012

Sumber: Mukhlis (2012)



Gambar 10. Penampilan tanaman padi dengan perlakuan pupuk hayati Biotara + NPK Pelangi (kiri) dan dosis petani (kanan)

Sumber: Dok. Mukhlis

Jagung

Mukhlis dan Lestari (2013) melaporkan bahwa aplikasi pupuk hayati yang mengandung dekomposer (*Trichoderma sp*), penambat N (*Azospirillumsp*), dan pelarut P (*Bacillus sp*) sebanyak 15 kg/ha yang

dikombinasikan dengan pupuk NPK mampu meningkatkan pertumbuhan jagung manis dan meningkatkan hara tanah di lahan pasang surut sulfat masam. Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan di lahan rawa lebak, Desa Pulau Semambu, Kecamatan Indralaya Utara, Kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan, Wahyudi *et al* (2016) melaporkan bahwa kombinasi pupuk hayati Bio P + *Azospirillum* sp memberikan hasil jagung manis berupa panjang dan berat tongkol tertinggi dibanding tanpa pupuk hayati di lahan lebak. Pupuk hayati Bio P dan *Azospirillum* merupakan pupuk hayati yang mampu dalam memberikan unsur hara bagi tanaman, yang bersimbiosis dengan tanaman secara baik dan memiliki adaptasi yang tinggi pada lahan lebak. Kandungan yang terdapat pada bio P adalah mikroba pelarut mineral dan fosfat, sedangkan *Azospirillum* sp. merupakan bakteri tanah penambat nitrogen nonsimbiotik. Bakteri ini hidup bebas di dalam tanah, yang berada disekitar atau dekat dengan perakaran.

Pada penelitian lain, Hawayanti *et al* (2015) melaporkan bahwa pupuk mikoriza memberikan hasil tertinggi pada produksi jagung manis di lebak dengan hasil sebesar 16,73 ton/hektar dan mampu mengurangi penggunaan pupuk anorganik N, P dan K sebesar 50%. Perlakuan pupuk mikoriza 50% pupuk N, P dan K menghasilkan jumlah daun terbanyak yaitu (12,13 helai), panjang tongkol terpanjang yaitu (20,14 cm) berat tongkol/tanaman terberat yaitu (439,31 gram), berat berangkas kering terberat yaitu (187,71 gram), dan produksi per petak tertinggi yaitu (10544,50 gram). Hal ini menunjukkan jenis pupuk hayati mikoriza merupakan jenis pupuk hayati yang mampu dalam mensubstitusi unsur hara bagi tanaman, yang dapat bersimbiosis dengan tanaman dengan baik serta memiliki daya adaptasi yang tinggi pada lahan lebak. Kemampuan fungi mikoriza dapat menginfeksi sistem perakaran tanaman inang, memproduksi jalinan hifa secara intensif yang membantu dalam perluasan bidang serap akar tanaman sehingga tanaman yang mengandung mikoriza tersebut akan mampu meningkatkan kapasitas dalam penyerapan unsur hara.

Khairiyah *et al* (2017) menyatakan bahwa pengaruh pupuk hayati Micro Green bersifat lambat dan baru terlihat pada fase akhir vegetatif atau memasuki fase generatif tanaman jagung manis di lahan lebak. Pada penelitian yang dilaksanakan di lahan lebak Desa Tambalang Kecil Kecamatan Sungai Pandan Kabupaten Hulu Sungai Utara, Kalsel terlihat bahwa pada fase generatif perlakuan pupuk hayati Micro Green berpengaruh terhadap umur berbunga, umur panen, panjang tongkol berkelobot dan

tanpa kelobot serta bobot tongkol berkelobot dan tanpa kelobot. Hal ini diduga karena pada setiap perlakuan kondisi unsur hara sudah cukup tersedia bagi tanaman sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Adanya unsur N dan P mampu mencukupi kebutuhan hara yang dibutuhkan tanaman. Pupuk hayati Migro Green mengandung mikroba *Azotobacter* yang berfungsi sebagai penambat N₂. Dosis pupuk hayati 6 l/ha memperlihatkan pengaruh relatif lebih baik terhadap pertumbuhan tanaman jagung manis. Sedangkan Mahdiannor (2014) melaporkan bahwa pupuk hayati Agroboost berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, berat tongkol, dan panjang tongkol jagung manis di lahan lebak. Penelitian yang dilaksanakan di Desa Babirik Hilir Kecamatan Babirik Kabupaten Hulu Sungai Utara, Kalsel ini memperlihatkan dosis pupuk hayati terbaik adalah 9 l/ha. Pupuk hayati Agroboost mengandung mikroba *Azotobacter* sp. yang berfungsi sebagai penambat N₂.

Kedelai

Hasil penelitian Endriani *et al* (2017) di lahan rawa lebak dangkal di Lampung menunjukkan bahwa tinggi tanaman dan jumlah daun kedelai pada fase vegetatif maksimum dengan perlakuan pupuk hayati lebih tinggi dibandingkan tanpa pupuk hayati (Tabel 4). Pemberian pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap kadar N daun dengan kombinasi 108 kg P₂O₅/ha dan berbeda nyata dengan tanpa pupuk hayati dan 108 kg P₂O₅/ha. Disamping itu, interaksi pupuk hayati dan pupuk P meningkatkan bobot kering tajuk (Tabel 5). Interaksi pupuk hayati dengan pupuk N meningkatkan bobot biji per tanaman (Tabel 6). Dosis yang direkomendasikan untuk pengembangan kedelai di lahan rawa lebak adalah pupuk hayati + 11.25 kg N/ha dan 36 kg P₂O₅/ha.

Tabel 4. Pengaruh pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman kedelai di lahan rawa lebak pada umur 8 minggu setelah tanam

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Jumlah cabang (buah)
Pupuk hayati	132,48 a	25.65a	3.75a
Tanpa pupuk hayati	125,85 b	23.82b	3.58a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada $\alpha = 5\%$

Sumber: Endriani *et al.* (2017)

Tabel 5. Pengaruh interaksi pupuk hayati dengan pupuk P terhadap berat kering tajuk dan kadar hara N daun tanaman kedelai

Perlakuan	P ₂ O ₅ kg/ha			
	0	36	72	108
Berat kering tajuk (g)				
Pupuk hayati	23.74b	29.48ab	23.84b	30.79a
Tanpa pupuk hayati	29.30ab	26.84ab	26.90ab	26.93ab
Kadar hara N (%)				
Pupuk hayati	4.58b	4.59ab	4.66ab	4.84a
Tanpa pupuk hayati	4.44b	4.61ab	4.64ab	4.49b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada $\alpha = 5\%$

Sumber: Endriani *et al.* (2017)

Tabel 6. Pengaruh pupuk hayati dengan pupuk N terhadap bobot biji per tanaman (g)

Perlakuan	N (kg/ha)			
	0	11,25	22,50	33,75
Pupuk hayati	19.66ab	22.37a	16.11b	21.61a
Tanpa pupuk hayati	21.71a	19.41 ab	19.33ab	16.39b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada $\alpha = 5\%$

Sumber: Endriani *et al.* (2017)

Penelitian yang dilaksanakan di areal persawahan lahan rawa pasang surut di Kecamatan Sragi, Kabupaten Lampung Selatan memperlihatkan bahwa produksi kedelai Anjasmoro dan Argomulyo dengan pemberian pupuk hayati yang dikombinasikan dengan perlakuan NPK 75% dan NPK 50% dari dosis standar lebih baik dibandingkan dengan kedelai Grobogan pada perlakuan NPK 100% dan pupuk hayati + NPK 100%, khususnya pada petak aplikasi teknis budidaya jenuh air. Penggunaan pupuk hayati dengan bahan aktif bakteri *B. japonicum* R6 dan *A. punctata* RJM 3020 yang dikombinasikan dengan penerapan teknis budidaya jenuh air dapat mengurangi dosis pupuk NPK sampai dengan 50%. Teknik ini dapat meningkatkan produksi kedelai masing-masing sebesar 35,1% (Arjasmoro) dan 31,7% (Argomulyo) jika dibandingkan dengan teknik budidaya petani saat ini dan penggunaan pupuk NPK 100% dari dosis standar. Penggunaan pupuk hayati untuk tanaman kedelai varietas Anjasmoro dan Argomulyo di dalam suatu sistem budidaya jenuh air dalam penelitian ini yang dikombinasi dengan pupuk NPK 50% dapat menghasilkan produksi biji

tertinggi masing-masing 2,798 kg biji/ha (Anjasromo) dan 2,397 kg biji/ha (Agromulyo) (Hafif dan Santi 2016).

Strategi Pemanfaatan Pupuk Hayati

Beberapa strategi yang bisa dilakukan dalam pemanfaatan pupuk hayati di lahan rawa, yaitu:

1. Penggunaan jenis pupuk hayati yang tepat dan efektivitas tinggi sesuai kondisi lahan. Kualitas produk menjadi prioritas utama bagi petani dalam pemilihan pupuk hayati. Oleh karena itu, produsen pupuk hayati sebaiknya memberikan informasi keunggulan produk kepada konsumen pada label kemasan. Agar pemanfaatan pupuk hayati berdampak pada peningkatan pendapatan petani, maka teknologi pupuk hayati yang dimanfaatkan harus sudah teruji dan efisien.
2. Teknik aplikasi yang tepat. Informasi teknik aplikasi pupuk hayati yang tepat perlu diberikan kepada petani agar penerapannya sesuai dengan semestinya. Kesalahan dalam aplikasi berdampak pada ketidakpercayaan petani terhadap keunggulan pupuk hayati. Produsen pupuk hayati dapat melakukan pendekatan melalui kelompok tani atau bekerjasama dengan penyuluh untuk melakukan edukasi pada petani mengenai penggunaan pupuk hayati. Pemahaman strategi pemanfaatan pupuk hayati untuk memperbaiki kualitas tanah, memelihara keanekaragaman hayati yang menunjang keberlanjutan produktivitas pertanian perlu ditekankan.
3. Kombinasi dengan bahan organik. Keberadaan bahan organik di dalam tanah selain memperbaiki sifat kimia tanah (meningkatkan ketersediaan hara makro maupun mikro) juga sebagai sumber energi bagi mikroorganisme penyubur tanah. Pemberian inokulan mikroorganisme penyubur tanah dan bahan organik tidak hanya diarahkan untuk mengganti atau mengurangi penggunaan pupuk namun juga sebagai upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan.
4. Dukungan pemangku kepentingan. Percepatan pengembangan teknologi pupuk hayati memerlukan dukungan dari berbagai pihak atau pemangku kepentingan (swasta, pemerintah dan sumber dana lainnya) untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dan mendukung pertanian terpadu berkelanjutan (*integrated sustainable agriculture*).

Penutup

Pupuk dapat diartikan sebagai bahan-bahan yang diberikan pada tanaman dan tanah untuk menambah unsur-unsur hara yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Jenis pupuk yang banyak digunakan oleh para petani saat ini adalah pupuk anorganik (kimia), namun penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dan terus menerus dalam pertanian intensif sangat merugikan, karena dapat meninggalkan residu yang dapat mencemari tanah dan lingkungan, serta menyebabkan menurunnya kehidupan biologi di dalam tanah. Menurunnya kadar zat organik dan kehidupan biologi di dalam tanah pada akhirnya akan berdampak pada menurunnya produktivitas lahan. Dalam rangka mengurangi penggunaan pupuk kimia perlu dicari alternatif pupuk yang berkualitas dan bersifat ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan memperbanyak penggunaan pupuk hayati yang bersifat ramah lingkungan.

Pupuk hayati adalah produk biologi aktif terdiri atas mikroba yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, kesuburan, dan kesehatan tanah. Mikroba membantu menguraikan unsur-unsur yang ada pada tanah menjadi senyawa yang dapat diserap oleh akar tanaman. Oleh karena mampu mengurangi konsumsi pupuk kimia, maka teknologi pupuk hayati ini diyakini sebagai bagian penting dalam sistem pertanian berkelanjutan. Beberapa jenis mikroba yang umum digunakan sebagai pupuk hayati adalah bakteri penambat N (simbiotik dan non simbiotik), bakteri dan fungi pelarut P, dan bakteri penghasil fitohormon. Penggunaan pupuk hayati tidak akan meninggalkan residu pada hasil tanaman sehingga aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Selain itu penggunaan pupuk hayati diharapkan dapat meningkatkan kesehatan tanah, memacu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produktivitas tanaman. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk hayati mampu beradaptasi dan meningkatkan produktivitas tanaman di lahan rawa.

Daftar Pustaka

- Andriawan, I. 2010. Efektivitas pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah. Skripsi S1. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arifin, MZ dan MA Susanti. 2005. Inventarisasi dan Karakterisasi Potensi Sumberdaya Lahan Rawa. Laporan Tahunan Penelitian Pertanian Lahan Rawa Tahun 2004. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.

Hlm. 2-6. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

- BBSDLP. 2011. Laporan Tahunan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 113 hlm.
- BBSDLP. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indoensia: Luas, Penyebaran, dan Potensi. Laporan Teknis 1/BBSDLP/10/2014, Edisi ke-1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 56 hlm.
- Berkum, VP and BB Bohlool. 1980. Evaluation of nitrogen fixation by bacteria in association with roots of tropical grasses. *Microbiol Rev.* 44(3): 491-517.
- Endriani, M. Ghulamahdi, dan E. Sulistyono. 2017. Pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan rawa lebak dengan aplikasi pupuk hayati dan kimia. *Agron. Indonesia* 45(3):263-270.
- Guntoro D, MA Chozin, B. Tjahjono, dan I. Mansur. 2006. Pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Bakteri *Azospirillum* sp. untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan pada *Turfgrass*. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 34(1):62-70
- Hafif, B. dan LP Santi. 2016. Optimasi produksi kedelai (*Glycine max* L. Merr) melalui aplikasi pupuk hayati dan budidaya jenuh air di lahan rawa. *Menara Perkebunan* 84 (2), 88-97.
- Haryono, 2013. *Lahan Rawa Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. IAARD PRESS, 142hal.
- Hawayanti, E, N. Amir, M. Exselen. 2015. Pemberian jenis pupuk hayati dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt) di tanah lebak. *Klorofil X* - 1:32 – 35.
- Jalilian, J, SAM. Modarres-Sanavy, SF. Saberali, and K. Sadat-Asilan. 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. *Field Crops Research* 127:26–34.
- Ismawi S, MS Gandaseca and OH Ahmed, 2012. Effects of deforestation on soil major macronutrient and other selected chemical properties of secondary tropical peat swamp forest. *Int. J. Phy. Scie.* 7 (14), 2225 – 2228.
- Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering* 33:150–156.
- Khairiyah, S. Khadijah, M. Iqbal, S. Erwani, Norliani, dan Mahdianoor. 2017. Pertumbuhan dan hasil tiga varietas jagung manis (*Zea mays*

- saccharata Sturt) terhadap berbagai dosis pupuk organik hayati pada lahan rawa lebak. ZIRAA'AH 42(3):230-240.
- Mahdiannoor. 2014. Pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* L. var. *saccharata*) dengan pemberian pupuk hayati pada lahan rawa lebak. ZIRAA'AH 39 (3):105-113.
- Mittal, V, O. Singh, H. Nayyar, J. Kaur, and R. Tewari. 2008. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). *Soil Biology & Biochemistry* 40: 718–727.
- Moelyohadi, Y, Harun, MU, Munandar, Hayati, R., dan Gofar, N. 2012. Pemanfaatan berbagai jenis pupuk hayati pada budidaya tanaman jagung (*Zea mays* L.) di lahan kering marginal. J. Lahan Suboptimal. I (1).
- Mukhlis. 2012. Efektivitas pupuk hayati 'Biotara' mengurangi penggunaan pupuk anorganik dan meningkatkan produktivitas padi di lahan rawa pasang surut. *Agroscientiae* 19(3):170-177.
- Mukhlisand Y. Lestari. 2013. Effects of biofertilizer "M-STAR" on land productivity and growth of sweet corn in acid sulphate soil of swamp land. *Agrivita* 35(3):242-248.
- Mukhlis dan M. Saleh. 2014. Keefektifan pupuk hayati 'Biotara' terhadap produktivitas tanaman padi di lahan rawa sulfat masam. Hal. 758-767. Dalam Herlinda S. *et al.* (Editor). Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Tahun 2014, 26-27 September 2014. PUR-LSO Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Nasahi, C. 2010. *Peran Mikroorganisme Dalam Pertanian Organik*. UNPAD. Bandung. Hlm. 22-32.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. RajaGrafindo Persada. Jakarta.
- Noor, M. 2007. *Rawa Lebak: Ekologi, Pemanfaatan, dan Pengembangannya*. RajaGrafindo Persada. Jakarta. 213 hlm.
- Okon, Y. and Y. Kapulnik. 1986. Development and Function of *Azospirillum* Inoculated Roots. *Plant Soil*. 90:3-16.
- Pan, B, YM Bai, S. Leibovitch and DL. Smith. 1999. Plant-growth-promoting rhizobacteria and kinetin as way to promote corn growth and yield in a short-growing-season area. *Agronomy Journal* 11:179 – 186.
- Permentan, 2011. Peraturan Menteri Pertanian Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah, Peraturan Menteri Pertanian No. 70/Permentan/SR.140/10/2011, Jakarta

- Saraswati, R. 2012. Teknologi pupuk hayati untuk efisiensi pemupukan dan keberlanjutan sistem produksi. Hlm. 727-738. *Dalam* I.G.P. Wigena, N.L. Nurida, D. Setyorini, Hunain, E. husen, dan E. Suryani (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. Bogor. 29-30 Juni 2012.
- Setyawan T. 2013. Aplikasi Pembenaman Jerami, Pupuk Organik, dan Pupuk Hayati untuk Pengurangan Dosis Pupuk NPK pada Padi Sawah. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Simanungkalit, RDM., E. Husen, dan R. Saraswati. 2006. Baku Mutu Pupuk Hayati dan Sistem Pengawasannya, Hal 245-264. *Dalam Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor,
- Singh, JS, VC. Pandey, and DP. Singh. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric Ecosyst Environ* 140:339–353.
- Sinha, RK, D. Valani, K. Chauhan and S. Agarwal. 2014. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Int J Agric Health Saf*. 1:50–64.
- Stoate C, ND Boatman, RJ Borralho, CR Carvalho, GR de Snoo, and P. Eden. 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J Environ Manage*, 63 (4) : 337-65.
- Subagyo, H. 2006. Klasifikasi dan penyebaran lahan rawa. Hlm. 1-22. *Dalam* Didi A.S, U. Kurnia, Mamat H.S., W. Hartatik, D. Setyorini (Eds.). *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Syahbuddin, H. 2011. *Rawa Lumbung Pangan Menghadapi Perubahan Iklim*. Balittra, Banjarbaru. 71 Hlm.
- Syarifudin, A. 2002. Teknik identifikasi mikroorganisme penyedia unsur hara tanaman pada ultisols pulau Buru. *Bulletin Teknik Pertanian* 7(1) : 21-24
- Youssef, MMA, and MFM Eissa. 2014. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes. A review. *E3 J Biotechnol. Pharm Res*. 13:1–6.
- Wahyudi, I., H. Hawalid, dan E. Hawayanti. 2016. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman jagung hibrida (*Zea mays* L.) pada pemberian pupuk hayati dengan jarak tanaman berbeda di lahan lebak. *Klorofil XI - 1* : 20 – 25.

Warta Ekonomi. 2016. Degradasi lahan pertanianancam swasembada pangan nasional. 22 Agustus 2016. <https://www.wartaekonomi.co.id/penulis.html>. Diakses 22 Maret 2018.

BUDIDAYA KACANG HIJAU DI LAHAN RAWA

Muhammad Saleh¹⁾ dan Helda Orbani Rosa²⁾

¹⁾Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.

Jaln Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712. Kalimantan Selatan

²⁾Fakultas Pertanian Unlam

Jalan Ahmad Yani km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan

e-mail: saleh_duransyah@yahoo.co.id

Ringkasan

Tanaman kacang hijau sudah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia. Kandungan gizinya cukup tinggi, setiap 100 g biji kacang hijau mengandung 345 kalori, 24,0 g protein, 1,3 g lemak dan 56,7 g karbohidrat . Biji kacang hijau merupakan bahan pangan dan bahan baku industri yang dapat diolah dalam berbagai bentuk seperti touge, kue, bubur, biskuit dan makanan bayi. Pada produk minuman, sohun, bihun dan pati, penggunaan kacang hijau sebagai bahan baku masih relatif sedikit. Selama ini sentral produk kacang hijau di Pulau Jawa, pada lahan tegalan atau lahan sawah setelah pertanaman padi. Indonesia memiliki lahan rawa yang luas dan potensial untuk pertanian. Tanaman kacang hijau juga cukup adaptif dibudidayakan pada lahan rawa, baik pada lahan rawa lebak maupun lahan rawa pasang surut. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, melalui para peneliti pemulia tanaman pada Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi sejak tahun 1983, telah melepas 12 varietas unggul kacang hijau, yaitu varietas Betet, Sriti, Kenari, Murai, Perkutut, Sampeong, Kutilang, Vima 1 , Vima 2, Vima 3, Vima 4, Vima 5. Pengelolaan tanaman kacang hijau di lahan rawa perlu memperhatikan tahapan-tahapan kegiatan seperti: persiapan benih, pengelolaan lahan, pengapuran, pemberian bahan organik, penanaman, pemupukan dan pemeliharaan tanaman yang meliputi pengendalian gulma, pengendalian hama dan penyakit, panen serta penanganan pascapanen.

Pendahuluan

Tanaman kacang hijau dengan nama ilmiah (*Vigna radiata*) sudah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia, dimana tanaman kacang hijau ini diduga berasal dari India. Tanaman kacang hijau ini merupakan tanaman semusim, berupa semak yang tumbuh tegak. (Purwono dan Hartono 2012). Kacang hijau berdaun majemuk, anak daun berbentuk bulat telur, ujung daun meruncing pendek dengan tepi daun rata. Bunga berbentuk kupu kupu (*Famili Papilionaceae*), berkelamin dua, kelopak bersatu, jumlah makota bunga ada 5, benang sari 10. Jumlah biji banyak. Buah berbentuk polong panjang 4- 6,5 cm, berbulu coklat, bersekat, dan mudah pecah (Steenis *et al.* 2008 dan Tjitrosoepomo 2007). Klasifikasi botani tanaman kacang hijau adalah sebagai berikut:

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledonae

Ordo : Rosales

Famili : Leguminosae

Genus : *Vigna*

Spesies : *Vigna radiata*

Umur tanaman kacang hijau tergolong pendek, stadia pertumbuhan dan umur tanaman kacang hijau dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Stadia pertumbuhan tanaman kacang hijau

Simbol	Stadia tumbuh	Umur (hst)
VE	Biji berkecambah sampai fase kotiledone	5
VK	Kotiledone terbuka	6
V1	Daun trifoliat 1	11
V2	Daun trifoliat 2	17
V3-V4	Daun trifoliat 3 dan 4	23
V5-V6	Daun trifoliat 5 dan 6	35
R1	Tanaman mulai berbunga	35
R2	Pada lebih 3 buku terdapat bunga	37
R3	Mulai pembentukan polong	37
R4	Berpolong penuh	39
R5	Pengisian biji	43

Simbol	Stadia tumbuh	Umur (hst)
R6	Biji memenuhi rongga polong	46
R7	Pemasakan polong	52
R8	Panen (95%) polong berwarna hitam	60

Sumber: Trustinah 1993

Tanaman kacang hijau merupakan tanaman legum dengan buah berbentuk polong. Polong panjang yang berisi beberapa biji. Polong yang muda berwarna hijau dan kalau sudah masak berangsur-angsur berubah menjadi hitam. Panen dilakukan secara bertahap, polong yang berwarna hitam yang siap panen (Gambar 1).



Gambar 1. Tanaman kacang hijau merupakan tanaman legum dengan buah berbentuk polong

Sumber: Saleh 2009

Biji kacang hijau merupakan bahan pangan dan bahan baku industri yang dapat diolah dalam berbagai bentuk seperti *touge*, kue, bubur, biskuit dan makanan bayi (Farid *et al.* 2007). Pada produk minimum, *sohun*, *bihun* dan *pati* penggunaan kacang hijau sebagai bahan baku masih relatif sedikit (Hapsari *et al.* 2016). Biji kacang hijau merupakan salah satu sumber protein, vitamin dan mineral yang cukup penting bagi manusia. Tiap 100 g biji kacang hijau mengandung 345 kalori, 24,0 g protein, 1,3 g lemak dan 56,7 g karbohidrat (Farid *et al.* 2007).

Pada tahun 2015 luas panen kacang hijau di Indonesia 229.408 ha dengan hasil 271.420 ton dan rata-rata hasil 1,183 t/ha. Di Kalimantan Selatan luas panen kacang hijau 634 ha dengan hasil 655 ton dan rata-rata hasil 1,033 t/ha (BPS 2016).

Tanaman kacang hijau memiliki kelebihan dari segi agronomis dan ekonomis seperti: (a) lebih tahan terhadap kekeringan, (b) dapat dipanen pada umur 55 – 60 hari, (c) dapat ditanam pada tanah yang kurang subur dengan cara budidaya yang mudah, (d) harga jual relatif stabil dan (e) risiko kegagalan panen secara total relatif lebih kecil (Inayati *et al.* 2017).

Peningkatan produksi kacang hijau dengan intensifikasi dapat dilakukan melalui seleksi varietas yang dapat beradaptasi pada lingkungan tertentu yang spesifik, sehingga mendukung program ekstensifikasi terutama pada lahan marginal, seperti lahan rawa pasang surut (Farid *et al.* 2007).

Potensi Lahan Rawa

Perkembangan pertanian ke depan, lahan rawa memegang peranan yang penting, terutama untuk program peningkatan produksi tanaman pangan seperti program upaya khusus padi, jagung dan kedelai (Pajale). Indonesia memiliki Lahan rawa yang luas, tercatat 34,12 juta ha atau 17,92 % dari luas total daratan Indonesia (191,09 juta ha), tersebar di Sumatera 12,93 juta ha, Kalimantan 10,02 juta ha, Papua 9,87 juta ha, Sulawesi 1,05 juta ha, Maluku 0,16 juta ha dan Jawa 0,09 juta ha (Ritung *et al.* 2015).

Berdasarkan tipologi lahan, lahan rawa dibedakan menjadi 2 yaitu lahan rawa lebak dan lahan rawa pasang surut (Purwono dan Hartono 2012). Lahan rawa lebak berbentuk cekungan yang pada musim hujan tergenang, pengatusannya jelek, ditutupi tumbuhan air dan pada musim kemarau menjadi kering (Las *et al.* 2007). Luas lahan rawa lebak 25,21 juta hektar, tersebar di Sumatera 9,91 juta ha, Papua 7,44 juta ha, Kalimantan 7,04 juta ha, Sulawesi 0,73 juta ha, dan Maluku 0,09 juta ha (Ritung *et al.* 2015). Berdasarkan lama dan ketinggian genangan air, lahan lebak dibagi menjadi tiga kategori, yaitu (Adhi *et al.* 1992): (1) lebak dangkal, mempunyai tinggi genangan 25-50 cm selama minimal 3 bulan dalam setahun, mempunyai hidrotopografi nisbi lebih tinggi dan merupakan wilayah paling dekat dengan tanggul, (2) lebak tengahan, mempunyai tinggi genangan 50-100 cm, selama minimal 3-6 bulan dalam setahun, mempunyai hidrotopografi

lebih rendah dari lebak dangkal dan terletak antara lebak dangkal dan lebak dalam, (3) lebak dalam, mempunyai tinggi genangan > 100 cm, selama > 6 bulan dalam setahun, mempunyai hidrotopografi paling rendah.

Lahan rawa pasang surut menyebar di beberapa pulau besar di Indonesia. Lahan rawa pasang surut terluas terdapat di Sumatera 3,02 juta ha, kemudian diikuti Kalimantan 2,99 juta ha dan Papua 2,43 juta ha. Di Sulawesi luas lahan rawa pasang surut sekitar 0,32 juta ha, di Jawa 0,09 juta ha dan Maluku 0,07 juta ha (Ritung *et al.* 2015).

Tanaman kacang hijau merupakan tanaman yang tidak tahan terhadap genangan, sehingga penanaman di lahan rawa lebak, baik lebak dangkal maupun lebak tengahan di tanaman pada musim kemarau. Petani di lahan rawa lebak dangkal Kalimantan Selatan, menanam kacang hijau di lahan sawah setelah panen padi pada musim kemarau, seperti yang dilakukan petani di Kecamatan Kasarangan Kabupaten Hulu Sungai Tengah dan Nagara Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Penanaman kacang hijau secara hamparan dapat dilakukan pada lahan rawa lebak, untuk rawa lebak dangkal budidaya dilakukan baik pada musim hujan maupun musim kemarau, sedangkan pada rawa lebak tengahan hanya pada musim kemarau (Gambar 2).



Gambar 2. Budidaya kacang hijau bentuk hamparan di lahan rawa lebak dangkal pada musim kemarau

Sumber: Saleh 2016

Tanaman kacang hijau juga dapat ditanam pada lahan rawa pasang surut. Budidaya kacang hijau secara hamparan dapat dilakukan pada lahan pasang surut dengan tipe luapan C dan D, sedang pada lahan rawa pasang surut dengan tipe luapan B dapat dilakukan dengan sistem surjan, tanaman kacang hijau ditanam pada bagian yang tinggi yaitu galangan atau timbukan (Gambar 3).



Gambar 3: Budidaya kacang hijau pada lahan rawa pasang surut tipe luapan B dengan sistem surjan

Sumber: Saleh 2009

Pengelolaan Tanaman Kacang Hijau

Persiapan Benih

Salah satu kunci utama keberhasilan penanaman kacang hijau adalah benih, karena itu benih yang digunakan merupakan varietas unggul bermutu dan telah bersertifikat yang dihasilkan oleh penangkar resmi yang ditunjuk oleh Balai Pengujian dan Sertifikasi Benih (BPSB) dari kantor Dinas Pertanian setempat. Menurut Badan Litbang Pertanian (2016), dengan daya tumbuh benih 90%, kebutuhan benih yang diperlukan dalam luas tanam 1 ha, sebanyak 20 kg. Ciri-ciri benih bermutu adalah (Purwono dan Hartono 2012):

1. daya tumbuh minimal 80%,
2. benih harus sudah tumbuh kurang dari 4 hari,
3. murni dimana tidak tercampur dengan varietas lain atau gulma,
4. sehat secara fisik, bernas, tidak keriput, tidak terdapat luka gigitan serangga.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, melalui para peneliti pemulia tanaman pada Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi sejak tahun 1983, telah melepas 12 varietas unggul kacang hijau yaitu: varietas Betet (1983), Sriti (1992), Kenari (1988), Murai (2001), Perkutut (2001), Sampeong (2003), Kutilang (2004), Vima 1 (2008), Vima 2 (2014), Vima 3 (2014), Vima 4 (2016), Vima 5 (2016). Deskripsi dari varietas vima 2, Vima 3, Vima 4 dan Vima 5 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi kacang hijau varietas Vima 2, Vima 3, Vima 4 dan Vima 5.

Deskripsi	Vima 2	Vima 3	Vima 4	Vima 5
Potensi hasil (t/ha)	2,44	2,11	2,32	2,34
Rata-rata hasil (t/ha)	1,8	1,8	1,91	1,84
Umur panen (hari)	56	60	56	56
Kategori umur	Genjah	Genjah	Genjah	Genjah
Warna biji	Hijau mengkilat	Hijau kusam	Hijau mengkilat	Hijau kusam
Bobot 100 biji (g)	6,6	5,9	6,62	6,67
Kategori ukuran biji	Besar	Besar	Besar	Besar
Kunggulan	Toleran hama Thrips dan penyakit tular tanah	Toleran terhadap tular tanah. Sesuai untuk kecambah	Agak tahan hama Thrips dan penyakit embun tepung	Agak tahan hama Thrips dan penyakit embun tepung

Sumber : Badan Litbang Pertanian 2016.

Varietas-varietas unggul baru menunjukkan potensi hasil yang tinggi, yaitu di atas 2,0 t/ha. Tingginya hasil tersebut karena didukung oleh jumlah polong/tanaman yang banyak, seperti yang ditunjukkan oleh varietas Vima 4 dan Vima 5 (Gambar 4).



Gambar 4. Penampilan varietas Vima 4 dan Vima 5

Sumber: Saleh 2016

Pengolahan Lahan

Langkah awal yang dilakukan dalam pengolahan lahan yang akan ditanami kacang hijau adalah membersihkan gulma. Gulma serta tumbuhan lainnya dibuang atau disingkirkan dari lahan, kemudian tanah dicangkul atau dibajak sedalam 15-20 cm. Setelah tanah terlihat gembur, dilakukan penggaruan untuk meratakan permukaan lahan. Pengolahan lahan ini dilakukan untuk memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Tanah yang gembur menjadikan aerasi dan drainasenya lancar, sehingga mikroba yang menguntungkan tanaman juga akan berfungsi secara maksimal. Tanaman kacang hijau merupakan tanaman kacang-kacangan (legume), pada akhirnya akan membentuk bintil yang mengandung bakteri *Rhizobium* dan dapat mengikat Nitrogen dari udara bebas. Tanah yang gembur sangat membantu dalam pembentukan bintil-bintil akar (Purwono dan Hartono 2012).

Penanaman kacang hijau dilahan sawah setelah panen padi, tidak memerlukan pengolahan lahan secara intensif. Perlakuan yang harus dilakukan adalah rumpun padi perlu dipotong pendek dan membersihkan seperlunya jerami padi yang ada. Apabila lahan sawah masih mengandung air dan tanah becek maka perlu dibuatkan saluran drainase dengan jarak 3,0 – 5,0 meter, agar pertumbuhan tanaman kacang hijau tidak terganggu. Menurut Burhansyah *et al.* (2017), pada sentra produksi kacang hijau di kabupaten Sambas, Kalimantan Barat, petani menanam kacang hijau pada lahan sawah bekas panen padi, tidak melakukan pengolahan tanah dan juga tidak melakukan pemupukan, karena mereka beranggapan lahan bekas padi masih terdapat residu pupuk. Hasil analisis usaha tani pada daerah

tersebut menunjukkan kacang layak diusahakan dengan nilai $B/C > 1$, bila dibandingkan uasha tani padi, jagung dan kedelai. Sedangkan penanaman kacang hijau pada lahan tegalan bekas tanaman palawija lainnya seperti jagung, ubi jalar, ubikayu dan lain-lain, perlu dilakukan pengolahan tanah sempurna dengan dicangkul atau dibajak.

Pengapuran

Pertumbuhan tanaman kacang hijau yang optimal, memerlukan pH tanah antara 5,5 - 6,5. Pada lahan rawa dengan pH tanah kurang dari 5,5 diperlukan pemberian kapur 1-2 t/ha. Pemberian kapur ini bertujuan untuk peningkatan pH tanah, menetralkan keracunan Fe dan Al. Pemberian kapur dilaksanakan pada saat pengolahan tanah, meratakan permukaan tanah, dengan cara ditabur merata di seluruh permukaan pada saat 7-15 hari sebelum tanam (Purwono dan Hartono 2012).

Pemberian Bahan Organik

Salah satu kendala di lahan rawa pasang surut adalah kahat unsur hara makro, seperti N,P dan K. Kendala tersebut dapat dikurangi dengan meningkatkan bahan organik. Menurut Dinesh *et al.* (2010) dalam Widiyawati *et al.* (2016), pemberian bahan organik juga dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air dan meningkatkan kehidupan biologi tanah. Tanaman kacang hijau yang ditanam dengan sistem surjan di lahan pasang surut sulfat masam tipe luapan B, pemberian bahan organik berupa pupuk kandang untuk varietas Murai, Betet dan Vima-1 masing-masing sebesar 0,90 t/ha, 2,57 t/ha dan 2,45 t/ha (Raihan *et al.* 2011). Pemberian bahan organik dilakukan pada saat tanam dengan cara dilarik disepanjang barisan tanaman.

Penanaman

Penanaman dilakukan dengan cara ditugal, biji dimasukkan dalam lubang tanam, kemudian ditutup kembali. Sebelum lubang tanam ditutup, sebaiknya diberikan insektida berbahan aktif Carbufuran berbentuk granular, dengan tujuan mencegah serangan hama perusak benih. Jarak tanam antar barisan tanaman 40 cm, dan jarak dalam barisan tanaman 15 cm. Tiap lubang tanam dimasukkan benih sebanyak 2 biji. Untuk lubang

yang tanamannya tidak tumbuh atau mati, dapat dilakukan penyulaman, waktu penyulaman sebaiknya dilakukan tidak lebih dari 7 hari setelah penanaman.

Pemupukan

Akar tanaman kacang hijau membentuk bintil berisi bakteri *Rhizobium*. Bakteri ini mempunyai kemampuan mengikat N bebas dari udara, sehingga pemberian pupuk N cukup dilakukan satu kali pada saat awal pertumbuhan, dan pemberian pupuk N ini hanya sebagai starter saja (Purwono dan Hartono 2012). Pada lahan yang kurang subur, dosis pemupukan adalah 45 kg Urea, 45-90 kg SP36 dan 50 kg KCl/ha. Semua jenis pupuk dicampur merata, diberikan secara larikan disisi lubang tanam sepanjang barisan tanaman, kemudian ditutup agar pupuk tidak menguap atau hanyut oleh air (Badan Litbang Pertanian 2016).

Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman yang perlu diperhatikan dalam budidaya kacang hijau di lahan rawa baik pasang surut maupun lebak adalah pengendalian gulma dan hama penyakit tanaman.

Pengendalian gulma. Pengendalian dapat dilakukan melalui cara kimia ataupun manual (fisik). Pengendalian secara kimia dilakukan melalui penyemprotan herbisida pratumuh nonselektif dengan takaran 1-2 l/ha. Penggunaan herbisida ini sangat membantu bagi daerah yang kekurangan tenaga kerja. Pengendalian secara manual (fisik) dilakukan sebanyak dua kali, dengan cara membersihkan gulma dengan tangan. Pengendalian pertama dilakukan pada saat tanaman berumur 14 hari setelah tanam, pengendalian kedua setelah tanaman berumur 40 hari setelah tanam (Badan Litbang Pertanian 2016).

Pengendalian hama dan penyakit tanaman. Hama dan penyakit tanaman yang menyerang tanaman kacang hijau di lahan rawa, tidak berbeda dengan hama dan penyakit yang menyerang pada ekosistem lainnya. Beberapa hama yang menyerang tanaman kacang hijau diantaranya hama lalat kacang, hama perusak daun dan hama penggerek polong.

1. Hama lalat kacang (*Ophiomya phaseoli* Coq). Hama ini menyerang pada awal pertumbuhan tanaman (fase vegetatif), dari kotiledone terbuka sampai terbentuknya daun. Hama lalat ini akan meletakkan telur pada

bagian tanaman seperti pada pangkal keping biji juga pada pangkal daun pertama dan kedua. Telur lalat ini akan menetas setelah 4 hari. Gejala dari serangan hama lalat ini adalah berupa bekas gigitan bintik-bintik putih pada keping biji, tangkai daun, batang dan pangkal akar tanaman. Atau bisa juga ditandai dengan timbulnya bercak cokelat sampai hitam pada keping biji atau daun pertama. Dalam waktu 2 hari, larva menggerek sambil memakan bagian dalam keping biji atau daun pertama dan kedua. Stadia larva berkisar antara 7 sampai 11 hari. Pengendalian secara kultur teknis dapat dilakukan melalui: a) penanaman secara serentak dengan selisih tanam tidak lebih 10 hari, b) pergiliran tanaman dengan tanaman yang bukan kacang-kacangan seperti jagung, ubijalar, ubikayu, c) menutup lubang tanam dengan mulsa atau jerami, d) pemberian insektisida sistemik (Purwono dan Hartono 2012).

2. Hama perusak daun. Beberapa hama yang dapat menimbulkan kerusakan pada daun diantaranya ulat grayak (*Spodoptera litura* F), ulat jengkal (*Chrysodeixis chalcites* Esp) dan ulat penggulung daun (*Lamprosema indica*). Ulat grayak memakan bagian epidermis daun, yang menyebabkan tersisanya hanya tulang daun. Selain itu gejala yang disebabkan oleh serangan ulat grayak adalah berlobangnya polong. Ulat grayak ini aktif memakan daun pada sore dan malam hari, sedang pagi sampai siang hari ulat grayak bersembunyi pada bagian bawah helaian daun atau di tanah sekitar tanaman. Ulat jengkal memakan daun dengan cara memakan daun sehingga daun menjadi berlubang-lubang. Hama penggulung daun berupa larva dan pupa yang bersembunyi dalam gulungan daun dan juga memakan daun, sehingga yang tertinggal hanya tulang daun. Pengendalian serangan ulat daun ini dapat dilakukan melalui sanitasi kebun, pergiliran tanaman dengan tanaman bukan kacang-kacangan. Penggunaan insektisida kimia merupakan langkah pengendalian terakhir dengan menurut dosis anjuran yang sudah ditetapkan. (Badan Litbang Pertanian 2016; Purwono dan Hartono 2012).
3. Hama penggerek polong (*Maruca testulalis* Geyer). Larva hama ini menyebabkan kerusakan pada polong dengan cara menggerek kulit polong dan kemudian masuk ke dalam polong untuk memakan biji. Sebagai akibatnya biji yang terbentuk tidak sempurna. Selain itu larva yang masih muda dapat menyerang bunga yang sudah mekar, dan larva

yang tua dapat merusak bunga, kuncup bunga, daun muda dan pucuk (Badan Litbang Pertanian 2016 ; Purwono dan Hartono 2012).

4. Penyakit. Penyakit yang menyerang tanaman kacang hijau pada umumnya adalah bercak daun (*Cercospora canescent* Ellis *et* Martin). Penyebab penyakit bercak daun ini adalah cendawan *Cercospora* yang menyebar pada jaringan daun. Gejala dari serangan bercak daun ini terdapatnya bercak cokelat pada bagian atas daun, sedang bagian bawah daun berwarna cokelat gelap. Gejala serangan ditunjukkan pada daun yang tua, kemudian menyebar ke seluruh daun pada tanaman. Pengendalian penyakit ini dapat dilakukan melalui penggunaan varietas yang tahan terhadap penyakit bercak daun, melakukan pergiliran tanaman dengan tanaman yang tidak tergolong legume dan melaksanakan penyemprotan dengan fungisida sesuai anjuran pemakaian (Badan Litbang Pertanian 2016 ; Purwono dan Hartono 2012)

Panen dan Pascapanen

Berdasarkan pemasakan polong tanaman kacang hijau dibedakan menjadi dua, yaitu polong masak serentak dan polong masak bertahap. Kacang hijau dengan polong masak serentak umurnya berkisar antara 58-60 hari setelah tanam, sedang yang polongnya masak bertahap umurnya dapat mencapai 100 hari setelah tanam. Pada tanaman kacang hijau dengan polongnya masak serentak, panen juga dilakukan secara serentak (hanya satu kali panen), sedangkan tanaman kacang hijau dengan pemasakan polong bertahap, panen juga dilakukan secara bertahap dengan interpal panen 2 sampai 3 kali. Panen dapat dilakukan dengan ciri-ciri polong sebagai berikut:

1. Perubahan warna polong dari hijau menjadi coklat atau hitam.
2. Kulit polong menjadi kering dan keras.
3. Sebagian besar polong mudah pecah.

Sifat polong yang mudah pecah mengharuskan pemanenan dilakukan tepat waktu. Menunda waktu panen atau terlambatnya panen, akan menjadikan polong pecah dan biji berhamburan di lahan (Purwono dan Hartono 2012). Pada tanaman dengan polong masak serentak, pemanenan dilakukan dengan cara memotong pangkal tangkai polong menggunakan sabit atau pisau yang tajam, sedang yang masak bertahap dengan cara

dipetik. Waktu panen yang terbaik pada pagi hari, hal ini bertujuan mengurangi polong yang pecah pada saat pemanenan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam kegiatan pascapanen adalah: pemecahan polong untuk mendapatkan biji, pengeringan biji, penyimpanan dan pengemasan.

Pemecahaan polong. Sifat polong kering kacang hijau yang mudah pecah dapat menyebabkan kehilangan hasil. Untuk menghindari kehilangan hasil, setelah biji dijemur dimasukkan ke dalam karung, kemudian karung dipukul-pukul menggunakan kayu atau bambu, sehingga polong pecah dan biji terpisah dari polong dan ditampi.

Pengeringan. Agar biji dapat disimpan lama, biji harus kering. Kadar air biji yang dianjurkan berkisar antara 10-12%. Pengeringan dapat dilakukan dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari langsung atau melalui alat pengering dengan suhu 60°C selama 2-3 hari.

Penyimpanan. Tempat penyimpanan benih menggunakan karung goni atau karung kain seperti karung tepung terigu. Hindari penggunaan dari bahan plastik, karena biji akan lembab dan mudah rusak. Penyimpanan dilakukan pada ruangan yang sejuk, dengan suhu 9°C. Biji dapat bertahan selama 1 tahun. Sanitasi ruangan penyimpanan harus tetap terjaga, agar terhindar dari serangan hama gudang.

Penutup

Tanaman kacang hijau adaptif pada lahan rawa. Pada lahan rawa lebak dangkal dan tengahan, waktu penanaman dilaksanakan pada musim kemarau. Pada lahan rawa pasang surut tipe B, penanaman dapat dilakukan pada galangan pada sistem surjan, sedang pada lahan rawa pasang surut tipe luapan air C dan D dapat dilakukan secara hamparan. Sifat tanaman kacang hijau dengan umur panen yang genjah, sangat menguntungkan pada pengelolaan tanaman di lahan rawa lebak, yang keadaan airnya sulit dipredeksi. Penanaman kacang hijau cukup mudah, tidak begitu berbeda dengan penanaman jenis kacang-kacangan lainnya seperti kedelai, kacang tunggak. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penanaman kacang hijau adalah: persiapan benih, pengelolaan lahan, pengapuran, pemberian bahan organik, penanaman pemupukan, dan pemeliharaan tanaman yang meliputi pengendalian gulma, pengendalian hama dan penyakit tanaman, panen serta penanganan pascapanen. Penanaman kacang hijau layak diusahakan dengan nilai $B/C > 1$.

Daftar Pustaka

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2016. *Teknologi Produksi Kacang Hijau*. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Malang.
- BPS. 2016. Luas Panen Kacang Hijau menurut Provinsi di Indonesia. <https://bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/876> (diunduh 29 Maret 2017).
- Burhansyah, R. Y. Nurhakim, dan N. Prasetyaswati. 2017. Keragaan usaha tani kacang hijau di lahan suboptimal Kabupaten Sambas *Dalam* Agustina AR *et al.* (eds). Proseding Inovasi Teknologi Lahan Suboptimal untuk Pengembangan Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Mendukung Pencapaian Kedaulatan Pangan. Hlm. 481-487.
- Farid BDRM, Haryono SK dan Soemartono. 2007. Penyaringan Ketahanan Kacang Hijau terhadap salinitas dengan menggunakan NaCl. BPPS – Universitas Gajah Mada. 11(1B):91 – 107.
- Hapsari RT, Trustinah dan R. Iswanto. 2016. Identifikasi plasma nutfah kacang hijau asal introduksi berdasarkan karakter agronomi *Dalam* Agustina AR *et al.* (eds). Proseding Seminar Nasional Hasil Penelitian Aneka Kacang dan Umbi Tahun 2015. Peran Teknologi Aneka Kacang dan Umbi dalam Mendukung Program Kedaulatan Pangan. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Hlm 483 – 497.
- Inayati, A. Sulistiyo Dewi S.Yusnawan dan Ratri.T.H. 2017. Evaluasi ketahanan plasma nutfah kacang hijau terhadap penyakit busuk akar *Rhizoctonia*. *Dalam* Agustina AR *et al.* (eds). Proseding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Inovasi Teknologi Lahan Suboptimal untuk Pengembangan Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Mendukung Pencapaian Kedaulatan Pangan. Hlm 456 – 462.
- Las Irsal, Sukarman, Kasdi S, D A Suriadikarta, M. Noor dan A. Jumberi. 2007. Grand design lahan rawa. *Dalam* Mukhlis, M. Noor, A. Supriya, Izzuddin Noor dan R.S.Simatupang (eds) Proseding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian dan Pemkab Kapuas. Kalimantan tengah. Hlm 29 – 48.
- Purwono dan R. Hartono. 2012. *Kacang Hijau. Teknik Budidaya di berbagai Kondisi Lahan dan Musim*. Penebar Swadaya. Jakarta. 59 hlm.
- Raihan Suaidi, M. Saleh, dan E. William. 2011. Penampilan tiga varietas kacang hijau di lahan rawa pasang surut sulfat masam Tipe B *Dalam* Moch. Muchlis Adie, Sholihin, A.A. Rahmianna, I.Ketut Tastra, Fachrur Rozi, Hermanto, Apri Sulistyo dan Sumartini (eds). *Inovasi Teknologi*

- untuk Pengembangan Kedelai Menuju Swasembada. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Hlm 520 – 524.
- Ritung Sofyan *et al.* 2015. Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia. Luas, Penyebaran, dan potensi ketersediaan. Indonesia Agency For Agricultural Research And Development (IAARD) Press. 97 hlm.
- Tjitrosoepomo, Gembong. 2007. *Taksonomi Tumbuhan (Permatophyta)*. Gajah Mada University Press. 477 hlm.
- Trustinah. 1993. Biologi tanaman kacang hijau *Dalam Sarwanto et al (eds). Kacang Hijau*. Balai Penelitian Tanaman Malang. Hlm 1 – 2.
- Saleh Muhammad. 2009.
- Saleh Muhammad. 2016.
- Steenis Van, C.G.G.J., G.den Hoed, S. Bloembergen dan P.J. Eyma. 2008. *Flora*. PT Pradnya Paramita. Jakarta. 432 hlm.
- Widiyawati T, Harjoso dan T.T. Taufik. 2016. Aplikasi pupuk organik terhadap hasil kacang hijau di ultisul. *J. Kktivasi* 15 (3) Desember 2016:159-162.

PENUTUP

5

PINTU MENUJU LUMBUNG PANGAN DUNIA 2045

Masganti dan Muhammad Alwi

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa Banjarbaru
Jln. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru Utara,
Banjarbaru 70712, Tlp.085287386319, E-mail: masgambut59@yahoo.com

Tekad bangsa Indonesia untuk menjadi lumbung pangan dunia (LPD) pada tahun 2045 harus didukung oleh semua elemen bangsa, khususnya masyarakat pertanian Indonesia. Memberi makan dunia merupakan tujuan sangat mulia yang dianjurkan oleh setiap agama. Secara umum tantangan dalam mewujudkan cita-cita mulia tersebut terbagi dalam dua hal, yakni (1) kapasitas produksi pangan, dan (2) efisiensi konsumsi bahan pangan. Kapasitas produksi pangan terancam oleh hal-hal klasik seperti laju alih fungsi lahan, degradasi kesuburan tanah, frekuensi deraan iklim ekstrim yang semakin meningkat, kerusakan sarana pengelolaan air, dan gangguan organisme pengganggu tumbuhan (Haryono 2013; Masganti 2013; Masganti *et al.* 2017). Di sisi lain “Tradisi jelek” masyarakat Indonesia dalam mengkonsumsi pangan yang tidak efisien. Diperkirakan sisa pangan yang tertinggal selesai makan atau menjadi sampah sekitar 20%, jumlah tersebut semakin bertambah pada bulan ramadhan. Ini sejalan dengan informasi yang dirilis oleh FAO yang memperkirakan sekitar 1,6 miliar ton makanan atau setara dengan 1,2 T US\$ yang terbuang. Daftar tradisi jelek kita lainnya dalam mengkonsumsi pangan adalah ketergantungan kepada sumber karbohidrat atau kurangnya diversifikasi, sehingga ketahanan pangan menjadi rentan terhadap deraan iklim, gangguan OPT, dan gangguan mobilitas bahan pangan. Oleh karena itu kedepan Indonesia perlu menysasar dan menghadirkan budaya efisien dalam mengkonsumsi pangan dan “Menghidupkan” tradisi memanfaatkan sumberdaya lokal dan menganekaragamkan sumber karbohidrat sebagai upaya untuk memperkuat

ketahanan pangan. Sumberdaya genetik pangan lokal perlu mendapat perhatian yang lebih serius, bukan hanya pada momen tertentu, tetapi berlaku sepanjang tahun.

Pembangunan lahan rawa sebagai pintu jalan menuju lumbung pangan dunia harus kita akui masih tertinggal jauh dari saudara lahannya, lahan irigasi yang selalu menjadi primadona “Perpanganan” dan menjadi andalan pemasok bahan pangan kita. Oleh karena itu tidak mengherankan jika kontribusi lahan rawa terhadap pasokan pangan nasional diperkirakan baru sekitar 10%, bahkan lebih rendah. Hal ini disebabkan tingkat kesuburan tanah yang rendah, cekaman lingkungan yang tinggi, dan serangan OPT yang relatif tinggi, sehingga petani terkadang putusasa dan membiarkan lahannya terlantar (Las *et al.* 2012; Masganti 2013). Kedepan diperlukan kebijakan pembangunan lahan rawa sebagai suatu kawasan, misalnya kawasan tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Pembangunan kawasan mempermudah dalam manajemen, meningkatkan daya tawar petani, meningkatkan ekonomi kawasan, menurunkan komplik pemanfaatan, dan meningkatkan pendapatan petani. Pembangunan pertanian di lahan rawa harus didasarkan atas inovasi teknologi (Effendi *et al.* 2014) dan strategi yang tepat (Adimihardja *et al.* 2008).

Pembangunan pertanian di lahan rawa juga harus memperhatikan tata ruang antar komoditas. Berkurangnya daya pasok pangan, khususnya padi selain disebabkan kompetisi pemanfaatan dengan kelapa sawit, juga karena tata ruang sawit dan padi yang berdempetan dapat menyebabkan produktivitas sawah menurun akibat kualitas air yang tidak baik akibat penggunaan pestisida, insektisida atau limbah lain, terutama di daerah atau lahan pasang surut tipologi luapan C dan D yang arus pasang dan surut air relatif lemah, sehingga air yang tersedia adalah air yang hilir-mudik di kawasan tersebut karena air belum surut sepenuhnya, sudah didorong air pasang. Dalam kondisi demikian diperlukan pengelolaan air konservasi untuk menjaga kualitas air di persawahan, dan mengurangi pasokan air berkualitas rendah dari saluran. Berimpitnya padi dengan kelapa sawit juga dapat menyebabkan “Kompetisi” penggunaan tenaga kerja, sehingga petani meninggalkan sawahnya akibat dukungan tenaga kerja yang kurang. Oleh karena itu kawasan seperti ini harus didukung dengan alsintan untuk meningkatkan daya garap petani.

Tata ruang lain yang diperlukan dalam membangun pertanian di lahan pasang surut adalah alsintan (Masganti 2013). Tata ruang yang dimaksud adalah: (1) jenis dan jumlah alsintan yang diperlukan di setiap

kecamatan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah mobilitas alat agar tidak membebani petani mendatangkan alat tersebut dari kecamatan lain, (2) perbengkelan, hal ini dimaksudkan agar alsintan yang dimiliki oleh usaha penggunaan jasa alsintan (UPJA) tidak mangkrak hanya karena “Ketidaktahuan” atau kurang pengetahuan “Trouble shooting” petani. Tentunya tidak hanya bengkel yang berdekatan dengan petani, tetapi juga diperlukan pelatihan oleh penyedia alsintan sebagai salah satu syarat pengadaan alsintan oleh Pemerintah, dan (3) toko onderdil atau *sparepart* yang didekatkan dengan UPJA agar tidak mengurangi waktu operasional alsintan, jika harus membelinya ke ibukota kabupaten. Di lahan rawa lebak perlu dikembangkan alsintan yang spesifik untuk mereduksi kebutuhan tenaga kerja dalam persiapan lahan, panen, dan perontokan yang disesuaikan dengan kondisi agroekosistem lahan rawa lebak.

Pembangunan pertanian di lahan rawa juga harus memberikan garansi tidak terjadinya penurunan kualitas lingkungan atau paling tidak risiko penurunan kualitas lingkungan dapat diminimalisir. Beberapa hasil penelitian menginformasikan bahwa lahan rawa merupakan ekosistem yang banyak menyimpan potensi sumberdaya genetik (SDG) untuk mendukung pertanian organik atau ramah lingkungan (Galingging 2007; Susanti dan Thamrin 2017), bahkan juga untuk tujuan non pertanian seperti pengobatan (Setyowati 2010; Setiawan dan Qiptiah 2014). Masalah yang dihadapi dalam pemanfaatan SDG sebagai bahan pupuk hayati dan pestisida nabati karena petani masih menganggap bahwa pestida kimia khasiatnya lebih ampuh dan cepat dalam penanganan OPT (Susanti dan Thamrin 2017). Kedepan, dengan kemasan yang lebih baik, misalnya menggunakan pestisida nabati konsentrasi tinggi dapat lebih meyakinkan petani khasiat pestisida tersebut. Masalah lainnya adalah terbatasnya produksi bahan karena sumber tumbuhan yang menjadi bahan pestisida nabati tidak ditanam secara massal, sehingga kedepan diperlukan “Kawasan” SDG mendukung keberlanjutan pasokan pestisida nabati. Hal lain yang perlu dilakukan adalah sosialisasi bagaimana SOP pemanfaatan pestisida nabati, misalnya tidak dilakukan penyemprotan jika diramalkan akan terjadi hujan agar khasiat pestisida nabati tidak berkurang. Penelitian pengembangan pupuk hayati di lahan rawa kedepan perlu dilakukan untuk mengantisipasi eksploitasi lahan secara intensif agar kesehatan tanah terjamin, dan meminimumkan risiko pencemaran lingkungan dan meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan OPT.

Potensi SDG lahan rawa yang perlu dikembangkan ke depan adalah kerbau rawa, di Kalimantan Selatan peternak menyebutnya sebagai kerbau kalang (Subhan *et al.* 2017). Kapasitas produksi daging kerbau ini masih tergolong rendah karena ketersediaan pakan, komposisi pakan, dan penurunan genetik akibat inbreeding. Langkah kedepan yang diperlukan adalah memperbaiki genetik, misalnya dengan inseminasi buatan, pemeliharaan hijauan pada saat musim kemarau, perbaikan kesehatan, dan ransum alternatif dengan berbagai komposisi.

Keberhasilan dalam membangun pertanian di lahan rawa juga ditentukan oleh aksesibilitas wilayah. Hal ini perlu untuk menjamin pasokan saprodi dan pemasaran hasil agar petani tidak menjadi korban rantai pemasaran yang panjang. Aksesibilitas yang diperlukan menyangkut sarana jalan, transportasi dan komunikasi.

Faktor penting lain yang harus diperhatikan dalam membuka selebar-lebarnya pintu lahan rawa menuju LPD 2045 adalah ketersediaan benih. Benih menjadi garansi bagi petani untuk dapat berproduksi secara maksimal (Sayaka dan Hidayat 2015; Harnowo 2017; Masganti dan Koesrini 2017). Ketersediaan benih dalam jumlah, varietas, dan waktu yang tepat sangat mendukung usahatani tanaman pangan di lahan rawa. Selama ini petani sangat tergantung dari pasokan benih fihak tertentu yang bisa saja tidak atau kurang tersedia pada saat diperlukan, benih tersedia tetapi tidak sesuai dengan varietas yang diinginkan, dan benih tersedia dan sesuai dengan varietas yang diinginkan, tetapi kualitas atau daya kecambahnya sudah berkurang. Oleh karena itu pembinaan petani menjadi penangkar benih handal agar berswasembada benih menjadi pilihan yang cerdas. Kemampuan menyediakan benih sendiri mempunyai beberapa keuntungan: (1) petani dapat merencanakan jenis tanaman dan waktu membudidayakannya, (2) adanya tambahan pendapatan dan membuka lahan usaha baru, dan (3) benih yang dihasilkan beradaptasi baik dengan lingkungan (Masganti dan Koesrini 2017).

Meskipun lahan rawa merupakan primadona pertanian Indonesia, tetapi sebagian petani masih dihadapkan pada ketidakberdayaan dalam aplikasi teknologi peningkatan produktivitas. Petani bukannya tidak mengerti khasiat dari teknologi yang dianjurkan oleh penyuluh kita, tetapi mereka dihadapkan pada kurangnya daya finansial keluarga, apalagi keperluan usahatani seperti membeli pupuk, insektisida, dan herbisida sering berimpit dengan saat harus membayar SPP. Oleh karena itu tidak

jarang kita temui, terpaksa petani melakukan pemupukan dengan dosis “Seadanya” sesuai dengan kemampuan “Kantong” mereka (Masganti 2013). Kedepan diperlukan dukungan dana baik dari Pemda maupun swasta untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa. Peningkatan kapasitas finansial petani hendaknya dilakukan secara bertahap untuk menghindari “Salah penggunaan” oleh petani.

Petani di lahan rawa secara khusus mempunyai kemampuan berproduksi yang tinggi dengan aneka komoditas, tetapi kemampuan tersebut menjadi ciut ketika dihadapkan kepada “Sepinya” pembeli produk mereka. Kalaupun produk itu cepat laku, tetapi biasanya jerih payah mereka lebih banyak dinikmati oleh tengkulak. Kerjasama dengan swasta menjadi pilihan untuk membantu petani dalam pemasaran produk mereka. Yang harus digarisbawahi juga, petani harus berkelompok dan bekerja keras untuk menjamin atau mempertahankan kualitas produknya, bukan hanya pada saat produksi pertama dan kedua.

Kelembagaan merupakan perangkat organisasi yang diharapkan mampu menjadi motor penggerak dan pendukung dalam pelaksanaan program pembangunan pertanian agar tercapai secara efisien dan efektif (Bustaman 2014). Kelembagaan yang berfungsi baik menjadi garansi peningkatan kesejahteraan petani. Kelembagaan yang ada di lahan rawa masih terbatas, walaupun sudah terbentuk belum menjalankan fungsinya secara maksimal (Masganti 2013). Oleh karena itu untuk mendukung pembangunan pertanian di lahan rawa perlu dilakukan penumbuhan kelembagaan yang belum ada dan revitalisasi kelembagaan yang belum berfungsi secara maksimal. Beberapa kelembagaan tersebut adalah (1) penangkar benih, (2) kios saprodi, (3) jasa alsintan, dan (4) penyuluhan.

Lambatnya adopsi teknologi dan tingginya senjang hasil antara hasil penelitian dengan praktik yang dilakukan petani, bukan saja disebabkan modal yang terbatas, tetapi juga pengetahuan SDM pelaku lapangan yakni penyuluh dan petani (Achmad 2012). Pendidikan petani yang rata-rata hanya lulus SD menjadi inhibitor aliran teknologi atau menjadi sekat aliran teknologi. Pendidikan informal melalui temu lapang, temu teknis, dan bimbingan teknis (Bimtek) menjadi sarana penting untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani. Termasuk diperlukannya studi banding petani dan penyuluh ke daerah rawa yang dianggap berhasil mengembangkan komoditas tertentu. Penyuluh juga memerlukan “Suntikan” pengetahuan dengan dosis lebih tinggi untuk memperbaiki

amunisi pengetahuan mereka. Terbatasnya fasilitas yang ada di Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) seperti lahan, sarana transportasi dan anggaran juga menjadi pemberat peningkatan kinerja penyuluhan.

Pengembangan lahan rawa untuk mendukung Indonesia menuju lumbung pangan dunia perlu didukung oleh kebijakan politik dan pendanaan oleh Pemerintah melalui: (a) perbaikan infrastruktur, (b) peningkatan kapasitas modal dan pemasaran, (c) penelitian dan pengembangan, (d) pengembangan potensi SDG lokal, (e) perbaikan tata ruang pertanian, dan (f) peningkatan sarana, fasilitas dan kapasitas SDM pertanian. Kebijakan tersebut harus didukung oleh masyarakat secara umum sebagai pengguna sumberdaya lahan rawa.

Daftar Pustaka

- Achmad, M., 2012. Pengaruh aksesibilitas penyuluhan dan kredit terhadap efisiensi usahatani padi di Jawa. *Jurnal Trikonomika* 11(1):69-80.
- Adimihardja, A., A. Dariah, dan A. Mulyani. 2008. Teknologi dan strategi mendukung pengadaan pangan nasional. *Jurnal Penelitian Badan Litbang Pertanian* 27(2):434-49.
- Bustaman, S. 2014. Penguatan kelembagaan Gapoktan PUAP dalam penerapan teknologi padi spesifik lokasi. *J. Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 33(1):35-46.
- Effendi, D. S., Z. Abidin, dan B. Prastowo. 2014. Model percepatan pengembangan pertanian lahan rawa lebak berbasis inovasi. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 7(4):177-186.
- Galingging, R. Y. 2007. Potensi plasma nutfah tanaman obat sebagai sumber biofarmaka di Kalimantan Tengah. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian* 10(1):76-83.
- Harnowo, D. 2017. Inovasi Teknologi Benih Kedelai untuk Memacu Pengembangan Industri Hilir Perbenihan. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Budidaya dan Produksi Tanaman. Badan Litbang Pertanian, Kemtan. Jakarta. 72 hlm.
- Haryono. 2013. Strategi dan Kebijakan Kementerian Pertanian dalam Optimalisasi Lahan Suboptimal Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 11 hlm.
- Las, I., M. Sarwani, A. Mulyani, dan M. F. Saragih. 2012. Dilema dan rasionalisasi kebijakan pemanfaatan lahan gambut untuk areal

- pertanian. Hlm:17-29. *Dalam Husen et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian. Kementrian Pertanian.
- Masganti. 2013. Teknologi inovatif pengelolaan lahan suboptimal gambut dan sulfat masam untuk peningkatan produksi tanaman pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(4):187-197.
- Masganti, E. Maftu'ah, dan N. Wakhid. 2017. Degradasi lahan gambut. Hlm:439-469. *Dalam Masganti et al.* (Eds.). *Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Masganti, dan Koesrini. 2017. Kinerja sistem perbenihan padi di lahan pasang surut. Hlm.:233-240 *Dalam Sukarman et al.* (Eds.). *Kumpulan Policy Brief Kebijakan Sumberdaya Lahan Mendukung Pembangunan Pertanian*. IAARD Press, Badan Litbang, Jakarta.
- Sayaka, B., dan D. Hidayat. 2015. Sistem Perbenihan padi dan karakteristik produsen benih padi di Jawa Timur. *Analisis Kebijakan Pertanian* 13(2):185-202.
- Setiawan, H. dan M. Qiptiyah, 2014. Kajian Etnobotani Masyarakat Adat Suku Moronene Di Taman Nasional Rawa Aopawatumohai. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 3(2): 107–117.
- Setyowati, F. M. 2010. Etnofarmakologi dan pemakaian tanaman obat Suku Dayak Tunjung di Kalimantan Timur. *Media Litbang Kesehatan* 20(3):104-112.
- Subhan, A., E. S. Rohaeni, dan Suryana. keragaan kerbau rawa (*Bubalis bubalus*) di Kalimantan Selatan. Hlm:240-260. *Dalam Masganti et al.* (Eds.). *Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Susanti, M. A., dan M. Thamrin. 2017. Biodiversiti lahan rawa dan pemanfaatannya untuk Biofarmaka, Biopestisida, dan Kosmetik. Hlm:631-652. *Dalam Masganti et al.* (Eds.). *Agroekologi Rawa*. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Syahyuti. 2014. Implementasi Kebijakan untuk mengoptimalkan peran penyuluh pertanian swasta di Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian* 12(1):19-34.

INDEKS

A

adaptif, 26, 37, 38, 56, 60, 65, 78, 91,
119, 127, 128, 136, 140, 141,
143, 149, 150, 151, 163, 164,
165, 169, 199, 271, 301, 339,
348, 349, 468, 472, 492, 507,
519

ADP, 69

aerob, 70, 306, 445

Aeromonas punctata, 78

afinitas, 302, 309, 473

Ageratum conyzoides, 440, 448

agregat tanah, 445

Agroboost, 499

alifatik, 297, 309

alsintan, vi, 123, 124, 252, 255-270,
272, 273, 276, 287, 288, 413,
414, 420, 526, 527, 529

Alternanthera sesilis, 435

aluminium, 13, 15, 29-34, 65, 82,
118, 119, 198, 204, 211, 247,
248, 303, 317

amandemen, 39, 452

amelioran, 5, 14, 16, 25, 26, 29, 33,
36, 38, 39, 40, 44, 46, 53, 54,
63, 65, 73, 97, 98, 118, 120,
149, 164, 170, 171, 206, 295,

297, 298, 300, 302, 309-316,
328, 336, 337, 342, 361, 362,
363, 397, 399-402, 408, 410,
430, 449, 450, 452, 453, 458,
460, 470, 473, 475, 476

ameliorasi, vi, 5, 36-41, 45, 46, 47,
53, 109, 118, 120, 126, 135,
140, 148, 149, 163, 169, 296,
301, 336, 337, 344, 363, 365,
388, 391, 399, 406, 408, 416,
446, 449, 450

amphibi, 255, 272, 273

anaerob, 17, 49, 51, 203, 306, 362,
445

Analisis, 33, 110, 111, 137, 164, 307,
317, 329, 441, 531

Anjasmoro, 64, 78, 127, 128, 129,
500, 501

aplikasi, 36, 39, 45, 48, 49, 50, 54, 74,
80, 144, 149, 186, 189, 207,
208, 311, 315, 399, 451, 452,
497, 500, 501, 503, 528

areal, v, 13, 16, 61, 91, 100, 110, 113-
116, 118, 121, 122, 125, 133,
160, 167, 168, 171, 183, 227,
255, 257, 258, 259, 261, 267,
269, 270, 295, 315, 343, 348,

- 405, 407, 417, 448, 461, 475,
484, 485, 500, 530
- Argomulyo, 78, 128, 500
- aromatik, 297, 309
- Asam-asam organik, 52, 310
- asam fenolat, 61, 307, 310, 362
- asam ferulat, 307
- asam nukleat, 74, 302, 303
- asam p-kumarat, 307
- asam sinapat, 307
- Aspergillus niger*, 490, 491
- ATP, 69, 70, 74
- Azomonas agilis*, 490
- Azospirillum brasiliense*, 490
- Azospirillum lipoperum*, 490
- Azotobacter beijerinckii*, 490
- Azotobacter chroococcum*, 490, 503
- B**
- Bacillus cereus*, 490
- Bacillus megaterium*, 490
- bahan bakar, 243, 256, 284, 285, 291,
292, 463
- bahan organik, 24, 25, 29, 37-40,
42, 43, 46-53, 55, 61, 90, 101,
102, 149, 196, 198, 200, 201,
203, 206, 208, 270, 271, 297,
303, 305, 309, 328, 330, 331,
348, 353, 354, 356, 357, 369,
370, 376, 385, 398, 402, 405,
407, 410, 429-432, 437-447,
449-452, 454, 455, 457, 460,
461, 466-470, 472, 473, 479,
481-484, 486, 489, 492, 501,
507, 515, 519
- bahan pembawa, 75, 76, 488
- bakteri antagonis, 160, 189
- bakteri penambat nitrogen, 331
- bakteri pengoksidasi besi, 18, 331
- bakteri pereduksi sulfat, 331
- bakteroid, 66, 68, 69, 74
- banjir, 28, 90, 324, 353, 364, 368,
369, 370, 371, 385, 486
- basah, 87, 97, 100, 113, 119, 125,
170, 179, 180, 192, 193, 208,
209, 227, 233, 240, 241, 242,
243, 246, 250, 282, 286, 349,
373, 375-379, 454, 455, 471
- Benih Dasar, 142, 147, 148
- benih penjenis, 142, 144
- benih pokok, 142, 144
- benih sebar, 142, 144
- bera, 6, 144, 202, 278, 433, 435, 438
- beras, v, 3, 7, 8, 141, 143, 154, 155,
213-217, 219, 221, 222, 229,
234, 237-246, 248-251, 253,
254, 256, 258, 259, 265, 267,
277, 278, 282, 283, 285, 286,
287, 289, 290, 291
- beras kepala, 237, 238, 244, 249, 256,
285, 287
- bercak daun, 167, 181, 182, 518
- berkelanjutan, 7, 37, 44, 78, 121,
122, 131, 134, 138, 139, 170,
193, 256, 267, 288, 295-302,
311, 316, 317, 319, 346, 367,
378, 386, 406, 407, 425, 439,
451, 460-462, 467, 468, 477,
481-483, 501, 502
- bermutu, 121, 127, 140, 142, 144,
162, 215, 242, 244, 248, 250,
256, 283, 512
- besi, 5, 13, 15, 17, 18, 20-24, 26, 29,
32, 34, 37, 51, 65, 101, 105,
141, 143, 144, 148, 149, 151,
152, 154, 155, 163-165, 198,
204, 303, 311, 331, 383, 434,
450, 452, 461, 462, 466, 473,
474, 475, 476
- bibit, 75, 86, 97, 100-102, 130, 156,
167, 171, 173, 179, 184, 185,
189, 207, 218, 255, 258, 268,
272, 275, 276, 292
- bidentate*, 306, 307
- bintil akar, 60, 63, 66-75, 77, 514
- biochar, 296, 312, 313, 316, 317, 318,
457, 461, 471, 474, 475, 476,
479, 480, 481

biochart, 36, 38, 40
biofisik, 4, 5, 36, 38, 119, 120, 141, 148, 267, 270, 297, 350, 374, 414, 449, 460, 467, 469
biologi, 5, 25, 36, 38, 42, 43, 54, 60, 66, 119, 195, 196, 202, 203, 270, 297, 301, 323, 324, 328, 331, 335, 339, 340, 341, 357, 371, 391, 396, 397, 399, 400, 402, 406, 430, 432, 442, 444, 449, 451, 467, 470, 475, 484, 488, 502, 514, 515
biomassa, 23, 43, 62, 71, 82, 197, 200, 430, 431, 437-439, 441, 442, 444-447, 449, 450, 452, 454, 455, 458, 459, 467, 473, 475
Bio P, 498
biotara, 150
biota tanah, 43, 311, 445
Blue Green Algae, 490
bokashi, 150, 445, 450, 453, 456
box dryer, 214, 242, 244, 250, 256, 283, 284, 285, 289, 292
Brachiana paspaloides, 435
Bradyrhizobium elkani, 66
Bradyrhizobium japonicum, 66, 82
budidaya, vi, 4, 5, 7, 8, 17, 25, 26, 33, 37, 40, 51, 61, 64, 65, 74, 78, 80, 91, 93, 99, 100, 107, 109, 112, 114, 119, 121, 122, 125, 129, 133, 138, 140, 141, 145, 146, 149, 159, 164, 170, 192, 195-197, 202, 210, 219, 261, 267-269, 296-298, 315, 322, 323, 326-328, 330, 332, 335, 339-341, 343, 344, 346, 347, 350, 351, 359, 370, 372-374, 388, 393, 397, 398, 405, 408, 410, 418, 427, 431, 435, 447, 454, 459-464, 466, 469, 471, 472, 475, 486, 500, 503, 504, 507, 510, 511, 516
budidaya jenuh air, 64, 78, 80, 500, 503

C

campuran, 36, 38, 40, 47, 86, 92, 144, 146, 162
cekaman, 19-23, 26, 28, 29, 101, 143, 526
Cercospora canescent, 518
Chrysodeixis chalcites Esp, 517
Cleome rutidosperma, 440
Cleome viscosal, 440
combine harvester, 160, 161, 222, 224, 227, 228, 229, 256, 268, 270, 279, 281, 289
C-organik, 61, 88, 305, 312, 352, 431, 439, 442, 446, 450, 457, 487
Culcumis sp, 440
curah, 63, 96, 101, 159, 177, 184, 188, 189, 214, 221, 245, 246, 282, 349, 357, 369, 465, 486
Cyperus kyllingia Emdl, 435
Cyperus platyrylis RBR, 435
Cyperus sanguinalatus, 435
Cyperus sphacelatus Rotth, 435, 438, 439

D

Dampak, 18, 19, 50, 83, 153, 272, 365, 388, 439, 462, 463, 466, 484
dangkal, 28, 88, 90, 91, 94, 95, 113, 118, 120, 124, 125, 126, 154, 268, 301, 327, 347, 348, 350, 361, 364, 416, 424, 488, 499, 510, 511, 519
data, 14, 117, 120, 162, 205, 231, 260, 279, 327, 394, 395, 396, 439, 487
daya, 4, 45, 75, 85, 89, 114, 118, 120, 121, 127, 139, 142, 144, 162, 194, 199, 201, 214, 215, 216, 219, 227, 239, 242, 245, 247, 256, 257, 261-264, 267, 270, 281, 291, 295, 312, 335, 336, 350, 351, 361, 362, 365, 371, 385, 391, 396, 405, 406, 414,

- 418, 430, 450, 451, 473, 475,
498, 512, 526, 527, 528
- Degradasi, 58, 212, 296, 344, 368,
369, 375, 385, 391, 409, 461,
479, 506, 531
- dekomposer, 101, 150, 203, 297, 402,
403, 443, 445, 492, 497
- dekomposisi, 48, 49, 50, 51, 88, 91,
101, 102, 163, 202, 295, 297,
302, 306, 309, 330, 334, 351,
357, 358, 370, 376, 377, 398,
443, 444, 445, 472, 483, 489
- demetilisasi, 310
- deprotonisasi, 305
- Deskripsi, 164, 165, 513
- dimensi saluran, 332, 333, 334, 398
- dinamika, 176, 192, 196, 200, 201,
267, 325, 335, 366, 373, 399,
416, 471, 475
- diseminasi, 140, 143
- disolusi, 297
- Dominasi, 331, 432, 433, 435, 459
- drainase, 13, 14, 18, 24, 29, 30, 32,
91, 111, 113, 117, 118, 125,
126, 196-198, 260, 271, 301,
320, 328, 330, 339-341, 349,
355, 357, 364, 374, 376, 391,
392, 406, 462, 473, 514
- DSS, 98, 149
- E**
- Echinocloa colonum*, 435
- efek border, 156
- Efektivitas, vii, 60, 71, 87, 164, 165,
209, 309, 312, 315, 384, 387,
408, 481, 492, 502, 504
- efektivitas simbiotik, 60, 78
- Efisiensi, viii, 71, 82, 209, 228, 269,
273, 275, 277, 292, 503
- Eichornia crassipes*, 436, 437, 440, 441,
448, 454, 474
- ekologi, 467, 468, 476, 491
- ekonomi, 417, 437, 438, 460, 467,
468, 479
- ekonomis, 438, 447, 510
- ekosistem, 429, 430, 451, 456, 462,
463, 466, 468, 471, 475, 476,
484, 516
- eksisting, 415, 416, 417, 461, 466,
485
- eks-situ, 429, 437
- ekstensifikasi, 415, 484, 510
- eksternal, 332
- Eleocharis acutangula*, 435, 438, 439,
446
- Eleocharis dulcis*, 429, 433, 434, 435,
439, 450, 456, 458, 459
- Eleocharis retroflaxa*, 429, 433, 434,
435, 438, 439
- elevasi, 424
- El-Nino, 466
- emisi, 460, 466, 467, 468, 469, 471,
472, 473, 477, 482
- Endoaquepts, 78
- endofit, 66
- energy, 81, 203
- enzim, 22, 60, 68, 69, 74, 174, 204
- Eragrotis unioides*, 435
- Evaluasi, 520
- F**
- fauna, 170, 295, 298, 368, 376, 429
- fenolat, 61
- Fimbristylis griffithii* B, 435, 438
- Fimbristylis miliacea*, 435
- fisik, 415, 429, 430, 431, 432, 442,
444, 449, 450, 471, 512, 514,
516
- fitohormon, 490, 502
- flavodoxin, 69
- flavonoid, 67, 73
- flora, 170
- fluktuasi, 96, 245
- formulasi, 185, 192
- fosfat alam, 25, 36, 38, 40, 44, 45
- fosfatase, 306
- fosfolipid, 74, 302

fosfoprotein, 302
fotosintesis, 14, 29, 60, 63, 70, 72,
73, 332, 399, 402, 403, 404,
405

frekuensi, 525

Fuirena umbellata Rottb, 435

Fulrena ciliaris L, 435

fulvat, 52, 302, 303, 308, 310, 407,
473

fumigasi, 159, 245

G

Gambut, v, viii, 8, 79, 82, 83, 88, 91,
95, 98, 111, 120, 124, 137,
138, 150, 298, 301, 302, 309,
311, 316, 320-322, 327-331,
342-346, 349, 352, 353, 355,
363-367, 371, 373, 375, 377,
378, 386-390, 394, 396, 397,
406, 408-410, 421, 423, 426,
427, 456, 457, 458, 459, 480,
531

gangguan, 120, 129, 130, 167, 169,
195, 244, 245, 326, 378, 466,
525

gas rumah kaca, 296, 297, 312, 320,
335, 349, 393, 407, 410, 465,
466-469, 471, 473, 476, 477

gebot, 214, 229, 230, 234, 235, 236,
277, 278

gelap, 176, 179, 180, 200, 297, 518

genangan, 27, 60, 63, 64, 94, 96, 113,
122, 124, 125, 143, 168, 195,
347, 364, 369, 414, 422, 423,
424, 441, 460, 469, 510, 511

Genotipe, 181

gilir, 86, 92, 93

gipsum, 36, 38, 40

Grangea maderaspatama, 440, 448

granular, 187, 515

gula fosfat, 302

gulma, 5, 101, 103, 120, 121, 129,
140, 142, 144, 159, 163, 183,
187, 271, 272, 297, 314, 360,

405, 429-431, 433-442, 444-
450, 452-455, 457-459, 476,
493, 507, 512, 514, 516, 519

H

habitat, 295, 298, 300, 369, 376, 430,
444

hama, 5, 26, 93, 96, 99, 103, 120,
121, 129, 130, 153, 159, 167,
169, 170-172, 176, 177, 184-
192, 240, 244, 245, 247, 250,
275, 297, 339, 340, 341, 343,
350, 461, 462, 464, 467-469,
476, 478, 481, 485, 507, 513,
515, 516, 517, 519

hara, 5, 13-15, 19, 22-25, 29, 36-39,
43, 44, 46-49, 54, 60, 62, 63,
71, 74, 75-77, 88, 90, 91, 98,
101, 110, 116, 118, 119, 120,
121, 126, 127, 129, 140, 141,
148, 149, 159, 163, 165, 194-
211, 295, 297, 302, 305, 311,
312, 317, 329, 331, 335, 338,
348, 349, 351-353, 361, 362,
364, 366, 399, 400, 403-405,
429-432, 437-439, 441, 443-
453, 457, 458, 467, 468, 473-
475, 483-494, 498-502, 505,
515

Hari, 27

hasil, vi, 3-6, 8, 13, 17, 20, 21, 26, 28-
30, 36-41, 44, 46, 47, 49, 50,
54, 60, 62, 63, 65, 66, 70-77,
91, 93, 98, 99, 100, 102, 103,
105, 107, 116, 119, 120, 121,
126-131, 141, 143, 144, 148-
155, 162, 167, 169, 171, 175,
182, 184, 190-195, 198, 201-
205, 211, 213-233, 235-246,
249, 250, 252, 253, 255, 257-
260, 262, 266, 268, 269, 274,
276-285, 287, 289, 291, 297,
300, 303, 313, 328, 329, 331,
333, 342, 350, 353, 359-363,
371, 375, 379, 398, 399, 401,
415, 417, 424, 432, 438, 439,

442, 443, 448, 449, 452-455,
457, 458, 460, 466, 471, 473,
476, 477, 482, 484, 489, 491-
493, 496-500, 502-504, 510,
513, 519, 521, 527, 528, 529

hemiselulosa, 443

Heptis brevipes, 440

herbisida, 124, 129, 130, 144, 159,
271, 360, 516, 528

heterotropik, 305, 358

hidrofobik, 62, 63, 197, 307, 313,
329, 330, 346, 351, 370, 374,
376, 389

hidroksilasi, 310

hidrologi, 87, 116, 330, 363, 368,
369, 371, 373-375, 385, 391,
392, 406, 416, 425

hidrotopografi, 89, 117, 510, 511

higroskopis, 451

Hilir, 499, 530

hortikultura, vi, 7, 84, 86, 94, 104,
108, 301, 323-334, 336, 338-
341, 343, 347, 350, 364, 372,
469, 491, 526

hujan, 6, 24, 63, 89, 94, 96, 101, 105,
111, 124, 125, 141, 142, 152,
159, 177, 181, 184, 185, 188,
189, 201, 206, 221, 240, 241,
265, 282, 283, 324, 330, 334,
348, 349, 357, 358, 369, 370,
371, 381, 384, 385, 405, 414,
416, 422, 423, 465, 471, 479,
486, 510, 511, 527

Hulu, 358, 498, 499, 511

humat, 52, 56, 297, 302-304, 306-
309, 374, 407, 473

humus, 201, 317, 431

Hydrotis deffusa WILL, 435

Hydrolea zeylanica, 440

hypoxia, 63

I

IAA, 75, 490

iklim, 65, 135, 169, 175, 177, 178,
182, 195, 202, 231, 256, 299,
319, 326, 350, 369, 374, 385,
404, 423, 460-466, 468-473,
477, 525

immobilisasi, 443

inang, 60, 62, 66-71, 75, 173, 179,
182, 183, 187, 305, 488, 498

indeks, 91, 99, 110, 171, 269, 275,
324, 372, 472

indigenous, 60, 63, 71, 75, 76, 100,
490, 491

infeksi, 62, 68, 73, 74, 179, 180, 182,
183

inokulan, 75, 76, 78, 489, 501

inokulasi silang, 489

inositol fosfat, 302

Inovasi, iv, vi, vii, 3-5, 8, 32, 80, 81,
83, 109, 110, 121, 133, 135,
163-165, 190, 192, 215, 252,
253, 321, 344, 346, 388, 389,
408, 427, 478, 481, 482, 520,
530, 531

insektisida, 130, 159, 160, 170, 183-
185, 187, 189, 339, 477, 481,
517, 526, 528

in-situ, 429-431, 437, 438, 441, 459

integrasi, 149, 402, 407, 461, 468-
470, 477, 482

intensifikasi, v, 115, 168, 415, 427,
484, 510

intensitas, 24, 72, 94, 96, 105, 171,
184, 185, 188, 189, 191, 192,
257, 258, 261, 262, 271, 352

Introduksi, 28

Ipomea aquatica, 440, 441

Ipomea trilata, 440, 448

irigasi, 6, 28, 29, 91, 111, 141, 142,
152, 203, 206, 273, 355, 414,
420, 422, 461, 463, 471, 475,
484, 526

irreversible, 62, 298, 351, 462

irreversible drying, 62, 298, 351

Isolasi, 79, 145, 147

J

jarak, 92, 96, 97, 101, 104, 128, 129, 140, 145, 147, 155, 156, 161, 190, 208, 218, 264, 276, 281, 286, 339, 348, 356, 384, 447, 466, 505, 514, 515

jenis, 7, 19, 36-41, 46, 51-53, 61, 62, 66, 76, 84, 86, 87, 92, 93, 103, 108, 111, 122, 123, 128, 159, 167, 168, 170, 175, 177, 184, 187-189, 195, 210, 222, 224, 227, 264, 268, 272, 288, 295, 301, 309, 311-315, 325, 326, 330-336, 338, 340, 354, 356, 358, 363, 369, 371, 374, 379, 380, 382, 384, 385, 392, 394, 395, 400, 401, 403, 422, 429, 430, 432-436, 438-441, 444, 445, 447, 448, 457, 485, 486, 489, 491, 498, 501-504, 516, 519, 526, 528

jenuh, 64, 78, 80, 113, 125, 270, 272, 281, 352, 500, 503

jumlah, 3, 17, 36, 41, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 60, 62, 63, 66, 71-76, 92, 101, 102, 121, 126, 133, 141, 171, 178, 200, 201, 203, 204, 207, 210, 218, 226-228, 230, 231, 235, 236, 239, 246, 248, 249, 255, 258-260, 262, 265, 268, 273, 275, 276, 283, 285, 286, 303, 307, 312, 313, 319, 329, 333, 335, 336, 338, 339, 373, 375, 376, 382, 385, 392, 397, 400, 402, 404, 451, 464, 466, 490, 491, 494, 496, 498, 499, 508, 513, 525, 526, 528

K

kacang hijau, vi, 104, 507-521

kadar air, 130, 144, 147, 160, 162, 213, 217, 222, 223, 233, 235, 239-242, 244-247, 249, 250, 254, 282, 284, 286, 289, 351, 384, 405, 448

kadar air tanah, 384, 405

kahat, 5, 19, 36, 60, 88, 90, 119, 126, 198, 486, 515

kapasitas, 17, 19, 25, 51, 53, 132, 169, 194, 199, 202, 204, 225, 226-229, 233, 236, 237, 249, 250, 255, 256, 259, 265, 269, 272-276, 278, 281, 283, 285-287, 292, 298, 299, 309, 369, 385, 391-393, 406, 424, 430, 451, 474, 498, 515, 525, 529, 530

kapur, 14, 25, 26, 29, 36, 38-42, 44, 46, 64, 65, 73, 74, 90, 98, 126, 128, 144, 149, 210, 219, 328, 336, 337, 361, 362, 446, 450, 456, 473, 515

karakteristik, 66, 84, 97, 98, 107, 113, 118, 143, 168, 206, 349, 354, 363, 364, 369, 371, 373, 378, 385, 416, 425, 460, 467, 469, 480, 483, 531

karbon, 17, 39, 72, 295-298, 300, 303, 309, 311, 344, 357, 368-370, 374, 375, 377, 385, 399, 407, 457, 466, 469, 471, 472, 475

karbon organik total, 296

karung tertutup, 214, 245

kation, 15, 19, 25, 45, 46, 202, 295, 297, 302, 303, 307-310, 313, 329, 352, 362, 374, 430, 431, 445, 451

Kawasan, 32, 298, 364, 373, 415, 427, 456, 527

kawasan budidaya, 195, 196, 296, 298, 347, 370

kawasan lindung, 298, 363, 364, 420

- keanekaragaman hayati, 256, 298, 299, 300, 468, 501
- kearifan lokal, vi, 4, 347, 348, 349, 354, 358, 364, 430, 431, 437
- kebakaran, 43, 91, 124, 291, 296, 299, 300, 327, 329, 355, 356, 360, 368-371, 374, 376, 377, 379, 385, 405, 421, 423, 469
- kebanjiran, 330, 334, 348
- kehilangan, 91, 103, 121, 124, 130, 182, 190, 195, 197, 200, 201, 206-209, 213-217, 219-238, 244, 250, 253, 279, 282, 283, 291, 295, 305, 313, 377, 422, 467, 519
- kekeringan, 18, 19, 90, 124, 125, 143, 242, 244, 300, 330, 348, 355, 364, 368-371, 377, 422, 423, 451, 462, 510
- kelapa sawit, vi, 86, 129, 314-316, 328, 345-347, 372, 388, 389, 391-406, 408-410, 526
- kelarutan besi, 15, 23, 101, 434, 474
- kemarau, 17, 43, 63, 89, 90, 96, 113, 114, 117, 119, 124, 125, 133, 164, 188, 198, 199, 206, 280, 324, 330, 334, 348, 356, 368-371, 382, 383, 385, 397, 405, 419, 422, 423, 430, 436, 441, 447, 458, 466, 510, 511, 519, 528
- kemasaman, 5, 17, 18, 19, 26, 36, 38, 41, 45, 46, 52, 60, 61, 62, 66, 73, 75, 76, 90, 98, 116, 118, 119, 126, 127, 141, 143, 144, 148, 149, 151, 168, 195, 197, 203, 210, 296, 297, 328, 329, 338, 361, 433, 435, 450, 461, 466, 476, 484, 486
- keracunan, vi, 5, 13-16, 19-21, 23, 24, 26, 29, 34, 37, 49-51, 60, 90, 101, 105, 127, 143, 144, 149, 151, 154, 155, 164, 165, 198, 207, 270, 466, 472, 484, 515
- kering, 21, 23, 48, 62, 64, 65, 71, 72, 73, 91, 92, 97, 100, 103, 109, 113, 116, 119, 124, 147, 162, 177, 181, 195, 197, 198, 199, 209, 221, 227, 239, 240, 242, 245, 247, 248, 268, 275, 279, 280, 281, 285, 286, 290, 301, 304, 324, 351, 352, 357, 371, 374, 384, 385, 408, 414, 423, 436, 438, 439, 440, 441, 447, 448, 461, 471, 472, 476, 498, 499, 500, 504, 510, 518, 519
- kerja, 5, 86, 93, 95, 103, 104, 107, 119, 121, 123, 124, 156, 169, 215, 220, 225-230, 234-237, 250, 255-259, 262-269, 271-281, 287-289, 292, 380, 392, 396, 419, 516, 526, 527
- kerusakan gabah, 236, 237, 245, 250, 255, 277, 278, 282, 289
- kesatuan, 196, 199, 374, 375, 415
- keseimbangan, 196, 200, 201, 205, 206, 256, 306, 331, 347, 348, 373, 375, 451, 467, 468
- kesesuaian, 71, 75, 118, 137, 164, 224, 268, 335, 347, 350
- kesuburan, 5, 13, 25, 36, 37, 38, 43, 44, 52, 54, 63, 88, 90, 103, 126, 141, 144, 148-152, 167-169, 171, 195, 200, 202, 209, 295-298, 300, 302, 311, 312, 315, 323, 324, 334-336, 341, 345, 349, 352-354, 359, 361, 385, 396, 409, 410, 429, 431, 438, 445, 446, 448, 449, 452, 455, 466, 471, 473, 477, 483-485, 488, 489, 502, 525, 526
- kesuburan tanah, 5, 25, 36-38, 43, 44, 52, 54, 103, 126, 141, 148-152, 167, 169, 202, 209, 295-298, 302, 311, 312, 315, 323, 324, 334-336, 341, 345, 349, 353, 359, 361, 385, 396, 409, 429, 431, 445, 446, 448, 449, 452, 455, 466, 471, 477, 483, 484, 485, 488, 489, 525, 526

Ketahanan, 27, 28, 33, 108, 110, 111,
132, 138, 163, 181, 191, 192,
253, 292, 386, 480, 520, 530

ketebalan, 61, 88, 91, 168, 195, 243,
270, 283, 348, 352, 356-359,
363, 373, 375, 376, 383, 397

khelating, 306, 309, 310, 311

kimia, 5, 18, 22, 25, 29, 32, 36, 38,
39, 42, 43, 54, 60, 64, 65, 77,
98, 118-120, 130, 148, 195,
196, 200, 202, 205, 270, 287,
301, 303, 315, 328, 329, 332,
335, 339, 343, 346, 351, 352,
357, 367, 371, 376, 389, 391,
397, 398, 400, 402, 403, 406,
429-432, 442, 444, 446, 448-
452, 456, 462-464, 484, 486,
487, 488, 501, 502, 503, 516,
517, 527

kombinasi, 14, 150, 296, 402, 473,
476, 498, 499

komoditas, 86, 93, 105, 107, 112-
117, 122, 131, 133, 134, 141,
170, 177, 199, 202, 215, 217,
269, 301, 323-328, 332, 334,
335, 341, 354, 372, 392, 416,
452, 470, 526, 529

kompatibilitas, 71

Kompos, 314, 439, 446, 453, 454,
455

Komposisi kimia, 442

Konservasi, 80, 95, 291, 340, 341,
356, 366, 389, 407, 457-459,
478

Konversi, 137

Kriteria, 25, 270, 371, 435

Kualitas, 34, 108, 212, 217, 249, 250,
252, 442, 459, 482, 491, 501

Kuantitas, 252

L

Lahan, iv, v, vi, vii, viii, ix, 3-6, 8, 13,
16, 17, 19, 29, 30, 32-37, 56,
57, 60, 63, 64, 66, 74, 79-85,
87-90, 92-95, 104, 107-114,

116-120, 122, 133-141, 144,
148, 153, 163-171, 190, 191,
194, 195, 197, 211-213, 251-
256, 260, 267, 270-272, 275,
277, 290-292, 295, 296, 298,
301, 302, 316-324, 327, 328,
331, 334, 341-347, 349-351,
353, 355, 356, 358, 360, 363-
370, 372-375, 385-391, 393-
397, 406-410, 413, 416, 419,
420, 425-430, 433, 438, 455-
459, 462, 466, 469, 478-483,
485-487, 492, 502-505, 507,
510, 511, 514, 520, 521, 525,
530, 531, 543-546

Lahan bukaan baru, 144

Lahan gambut, 88, 295, 296, 298,
323, 324, 327, 341, 349, 351,
356, 360, 368-370, 372-375,
385, 391, 393, 396, 406, 486,
487

Lahan potensial, 87, 88, 485, 487

Lahan rawa lebak, 510

Lahan salin, 89, 486

Lahan sulfat masam, 64, 88, 116,
486, 487

Laju subsidiensi, 330, 398

Lamprosema indica, 517

Lebak, 28, 35, 111, 136, 139, 253,
426, 459, 488, 504

Leersia hexandra, 435, 438, 440

Lignin, 443

Lindernia crustacea, 435

Lingkungan, ix, 27, 79, 199, 211, 212,
342, 367, 375, 386, 387, 388,
409, 460, 467, 469, 475, 478-
482, 543, 544, 546

Logam berat, 310

Lokasi, 79, 144, 399, 408, 409, 421,
426, 435, 488

Lolium multiflorum, 490

Luapan, 95, 120, 153

Luas, 14, 61, 63, 79, 87, 117, 141, 164, 190, 195, 196, 246, 328, 345, 347, 348, 371, 389, 391-395, 406, 409, 415, 426, 478, 503, 510, 520, 521

Ludwegia octavalis, 435

Lygodium lemmasum, 435

M

Manual, 81, 229, 277, 367

Maruca testulalis Geyer, 517

Masam, vii, 8, 16, 17, 30, 34, 57, 81, 95, 110, 137, 292, 425, 438, 456, 504

Masyarakat, 252, 275, 291, 389, 420, 531

Mekanisme, 15, 21, 22, 23, 29, 31, 70, 71, 164, 251, 291, 295, 302, 305, 307, 308, 310, 480

Melastoma affaine, 435

Mendukung, i, iii, iv, vi, ix, 8, 32, 108-110, 135-139, 163-165, 211, 292, 344, 386-388, 408, 427, 478, 480, 481, 520, 530, 531

Mesin, 226-228, 253, 255, 260, 271, 273, 275, 277, 279-282, 284-286, 289, 290, 292

Metroxylon sago, 301

Micro Green, 498

Mikoriza, 208, 305, 503

Mikroba, 58, 83, 331, 344, 502

Mikroorganisme, 83, 305, 445, 489, 490, 504

Mineral, 32, 52, 58, 79, 81, 123, 209

Mineralisasi, 201

Mitigasi, 316, 320, 321, 322, 344, 345, 346, 365, 386, 388, 390, 406, 408-410

Modal, 132

Monokultur, 405

Muka, 35, 82, 377

Musim, 206, 520

Musim kemarau, 206

Musuh alami, 184, 186, 187

Mutu fisiologik, 142, 144

Mutu genetik, 142, 144

N

N-asetil-D-glukosamin, 67

negatif, 36, 46, 49, 52, 150, 164, 206, 302, 305, 309, 352, 362, 370, 379, 393, 445, 452, 462, 463, 467, 477, 484, 485

netral, 36, 41, 46, 66

Nitrogen, 62, 67, 69, 79-83, 203, 204, 206, 210, 443, 447, 448, 514

nitrogenase, 60, 68, 69, 73, 74

Nod factor, 67, 68

normal, 113, 278

N-total, 71, 72, 296, 324, 329, 442, 446, 447, 457, 486-488, 493

O

oksidasi, 13, 16-19, 32, 50, 51, 61, 64, 70, 88, 203, 270, 303, 310, 330, 398, 461, 462, 466, 473

oksidator, 18, 61

oksigen, 18, 66, 70, 71, 91, 203, 303, 309, 313, 357, 358, 471

oligotropik, 305, 306

optimal, 4-7, 18, 26, 66, 70, 73, 85, 87, 99, 113, 117, 119, 120, 141, 149, 169, 182, 199, 202, 207, 208, 217, 220, 222, 223, 226, 231, 243, 256-258, 262, 265, 290, 375, 376, 418, 425, 431, 515

Optimalisasi, 7, 30, 109, 202, 386, 420, 530

optimum, 18, 76, 128, 144, 152, 156, 207, 213, 217, 223, 243, 250, 301, 306, 349, 441

organik, vi, 5, 13, 17, 20, 21, 22, 24, 25, 29, 37-40, 42, 43, 46-53, 55, 58, 60-62, 74, 88, 90, 101, 102, 118, 120, 134, 149, 150, 164, 196, 198, 200, 201-203, 206, 208, 270, 271, 296, 297, 302-306, 308-313, 328-331,

- 343, 348, 351-354, 356, 357,
362, 369, 370, 376, 385, 398,
402, 405, 407, 410, 429-432,
437-439, 441-458, 460, 461,
463, 464, 466, 468-473, 476,
479, 481-483, 485-487, 489,
491-493, 501, 502, 504, 507,
515, 519, 521, 527
- organisme pengganggu tanaman, 5,
91, 94, 120, 129, 130, 165,
430, 464
- organomineral, 297
- P**
- padi, v, vi, 5-8, 13-17, 20-34, 36, 37,
40-44, 46-51, 53-55, 60, 61,
84-87, 89-100, 102-105, 107-
110, 114, 125, 138, 140, 141-
146, 148-153, 155-159, 162-
166, 168, 171, 173, 177, 184,
192, 194, 195, 198, 203, 208,
209, 213-253, 255, 258, 259,
261, 264, 267, 268, 270, 272-
283, 285, 287, 289-292, 301,
311-314, 347, 350, 357-360,
362-366, 372, 414, 415, 419,
427, 431, 434, 437, 446, 447,
452, 453, 456-460, 466, 470-
472, 474, 476, 479, 481, 482,
484, 485, 491-497, 502, 504,
507, 510, 511, 514, 515, 526,
530, 531
- palawija, 7, 33, 41, 46, 84, 86, 94,
104, 105, 108, 113, 114, 268,
301, 347, 350, 357, 358, 431,
515
- panen, vi, 13, 39, 42, 43, 47, 48, 62,
92, 93, 94, 99, 100, 103-105,
115, 118, 121, 125, 128, 130,
131, 137, 140, 141, 143-146,
158, 160, 161, 163, 167, 169,
171, 179, 194, 203, 205, 206,
209, 211, 213-233, 235, 237,
239, 240, 242, 246, 249-251,
253, 255, 256, 258, 261, 262,
265, 268, 269, 274, 275, 277,
279-283, 285, 287, 289, 291,
353, 414, 420, 431, 446, 452,
453, 471, 489, 498, 507, 509,
510, 511, 513, 514, 518, 519,
527
- pangan, v, 3-7, 9, 32, 60, 61, 81, 84,
85, 109, 110, 111, 112, 115-
117, 119, 129, 131, 135, 139,
141, 143, 164, 166, 168-171,
190, 194, 195, 197, 214, 242,
246, 256-258, 261, 264, 265,
267, 280, 299, 300, 323-325,
342, 344, 345, 347-350, 364,
368, 372, 388, 408, 413, 415,
416, 418, 419, 427, 428, 460,
461, 466, 469, 470, 477, 479,
482, 484-486, 491, 507, 509,
510, 525, 526, 528, 530, 531
- Panicum paludosum*, 435
- Panicum repens* L, 435, 438
- parasitoid, 177, 184, 187, 339, 485
- parit, 300, 348, 355-357, 368, 377,
378, 380, 382-384, 413, 416,
419-421, 423-425
- pasang, vi, 4-7, 13, 14, 16, 17, 19-21,
24-29, 31, 32, 34, 37, 60-66,
74, 76, 77, 78, 84-91, 94-100,
101, 103-105, 107, 108-144,
148-155, 159, 162-165, 167-
172, 177, 186, 187, 189, 190,
195, 197, 199, 203, 204, 214,
219, 221, 224, 225, 227, 228,
230, 231, 233-238, 240, 246,
253, 255-262, 264-288, 289-
292, 342, 348, 349, 352, 353,
355, 359, 360, 366, 373, 414,
415, 417, 419, 423, 427, 429-
431, 433-435, 437, 438, 444,
446, 447, 449, 452, 455, 457,
458, 461, 466, 467, 470-473,
477, 480, 481, 485-487, 492,
498, 500, 504, 507, 510-512,
515, 516, 519, 520, 526, 531
- pascapanen, vi, 91, 100, 122, 130,
131, 137, 140, 141, 146, 160-

- 163, 213-221, 228, 231-233, 240, 241, 249, 251-253, 255, 257, 258, 261, 262, 265, 266, 269, 282, 284, 289-291, 507, 519
- Paspalum commersonii*, 435
- Pedoman, 8, 136, 137, 157, 191, 345, 387-389, 420, 425, 426, 456, 479
- peka, 15, 20, 23, 70, 143, 180, 185
- pelepah, 27, 103, 159, 160, 167, 171, 173, 180, 181, 188, 189, 192, 193
- pemanasan global, 385
- pemanfaatan lahan, 295-298, 300-302, 323, 324, 327, 328, 330, 343, 344, 346, 347, 349, 353-355, 365, 366, 369, 372-374, 379, 388, 389, 407, 408, 410
- pembakaran lahan, 369, 370, 385, 391, 392, 406
- pembenah tanah, 302, 328, 336, 399
- pembuatan saluran drainase, 357, 374, 391, 392, 406
- pemilihan komoditas, 323, 325, 332, 341, 354
- pemupukan, 304, 323-325, 329, 332, 335, 336, 338-341, 344, 349, 361, 362, 366, 370, 372, 376, 387, 388, 391, 392, 396, 397, 403, 404, 406, 408
- pemupukan berimbang, 340
- pemupukan hayati, 140, 163
- penambangan, 369-371, 385, 391, 392, 406
- penanggulungan, 379
- penataan lahan, 323, 325, 332, 334, 341, 354
- penataan tanaman, 323, 325, 332, 335, 341
- pencemaran, 300, 311, 369, 385
- pendapatan petani, 335, 369, 391, 393, 395, 397, 404, 406
- Penebangan pohon, 370
- pengantongan, 256, 280
- pengaturan pola tanam, 103
- pengelolaan, 14, 16, 26, 34, 37-39, 42-44, 47, 54, 56, 63, 78, 85, 90, 91, 98, 99, 107, 113, 118, 119, 122, 124-127, 130, 140, 141, 149, 159, 163, 165, 169, 193-196, 199, 200, 205, 206, 209, 211, 256, 260, 262, 266, 280, 288
- pengelolaan air, 14, 16, 34, 37, 90, 91, 113, 118, 119, 122, 124, 125, 126, 130, 149, 169
- pengendalian OPT, 100
- pengerasan tanah, 432, 484
- pengeringan, 519
- penggerek polong, 516, 517
- penggilingan, 213-217, 219, 221, 222, 231-233, 239, 240-242, 244, 248, 249, 253, 255, 258, 260, 261, 268, 270, 282-285, 287, 290, 292
- penggulung daun, 130
- Penicillium, 490, 504
- Peningkatan, 453, 454, 457, 461, 465, 467, 477, 482, 493, 494, 510
- peningkatan produksi, 413, 477, 484, 510
- penurunan, 418, 431, 461, 462, 466, 469, 484
- penyakit, 461, 462, 464, 476, 485, 497, 507, 513, 516, 518, 519, 520
- Pera, 27, 28
- perangkap, 159, 160
- perawatan, 184, 185, 213, 227, 242, 249, 263, 267
- pergeseran, 202, 205, 246, 262, 269, 280
- perkebunan, 80, 86, 95, 104, 129
- perkebunan besar swasta (PBS), 392
- perkebunan rakyat (PR), 392
- Perluasan Areal Tanam Baru, 484

- perontok, 213, 225, 227, 228, 230, 234, 235, 236, 237, 250, 253, 258, 259, 260, 268, 277, 278, 281
- pertanian, 13, 14, 16, 25, 37, 38, 41, 43, 60, 61, 78, 85, 86, 87, 92-95, 99, 107, 110, 111, 114, 116, 117, 119, 121, 123, 124, 131, 134, 139, 141, 148, 149, 164, 165, 167-170, 193, 195-197, 199-202, 205, 206, 214-217, 220, 228, 231, 239, 255-270, 280, 289-292
- pertanian berkelanjutan, 78
- perubahan, 15, 17, 20, 43, 46, 50, 53, 70, 135, 169, 177, 195-197, 202, 206, 223, 224, 245, 246, 256, 257, 261, 262, 268, 269, 287
- Perubahan Iklim, 109, 110
- pestisida nabati, 167
- Peta, 110
- Pirit, 18, 30, 33, 95, 163
- Pistia stratiotes*, 430, 440, 441, 449, 459
- pitin, 303
- pola, 300, 323-325, 332, 335, 341, 352, 372
- polifenol, 442, 443
- polikultur, 84, 86, 87, 92, 108
- polimer, 443
- Polygonum barbatum*, 440, 449
- populasi, 431, 471, 484, 491
- Porositas, 486
- potensi, 416, 418, 422, 430, 444, 461, 466, 485, 496, 513, 521
- potensial redoks, 472
- power seeder*, 255, 275
- power thresher*, 224, 225, 230, 234-237, 255, 259, 260, 268, 270, 277-279
- predator, 159, 177, 187, 191
- produksi, 13, 14, 24, 26, 32, 36, 38, 41, 46, 47, 54, 60-66, 70, 75, 76, 80, 84, 85, 94, 107, 109-118, 121, 122, 127, 130, 132-134, 138-144, 146-149, 153, 155, 159, 160, 163, 166, 168-171, 188, 194, 197, 199, 203, 205, 206, 209, 214-216, 219, 220, 222, 224, 229, 235, 242, 244, 246, 253, 256, 258, 259, 263, 265-270, 275-277, 279, 280, 285, 289, 291, 292
- produktif, 16, 28, 37, 169, 171, 195, 256, 257, 261, 266, 268
- produktivitas, 24, 26, 31, 33, 37, 45, 56, 61, 63-65, 73, 74, 78, 84-86, 90, 91, 93, 104, 107, 109, 111, 114-116, 119-121, 126, 127, 129, 135, 136, 140, 148, 149, 150, 163-165, 168, 171, 194-197, 205, 214, 257, 258, 261, 262, 264, 266, 267, 269, 275, 276
- proses, 14, 16-19, 29, 40, 43, 48, 49, 51, 52, 60, 62, 63, 67-70, 74, 88, 90, 91, 101, 116, 124, 130, 132, 146, 147, 159-161, 195, 196, 198, 200, 201, 203, 204, 213, 215, 216-223, 231, 233-235, 237, 240-245, 248-250, 258, 261-263, 267, 277, 279, 280, 282-287, 289
- protein, 69, 70, 71, 74
- Pseudomonas diminuta*, 490
- Pseudomonas fluorescens*, 490
- pupuk, 429-432, 438, 439, 441-455, 458, 463, 473, 476, 483-485, 488-505, 514-516, 521
- pupuk anorganik, 430, 432, 450, 453, 484, 485, 491, 492, 498, 501, 502, 504
- pupuk cair, 149
- pupuk gambut (Pugam), 401
- pupuk hayati, 483-485, 488-505
- pupuk kandang, 450, 452, 453, 463, 473, 476, 515

pupuk organik, 429-432, 438, 439,
441-445, 447-455, 458, 476,
491, 504, 521

R

Ramah Lingkungan, 460

Rawa, 413, 429, 460, 483

rawa lebak, 414, 415, 429, 430, 436,
437, 439, 440, 441, 444, 446-
448, 453-455, 459, 461, 485,
498, 499, 503, 504, 507, 510,
511, 519

rawa pasang surut, 414, 415, 417,
423, 427, 429-431, 433, 434,
437, 438, 444, 446, 449, 452,
455, 457, 458, 461, 466, 467,
470, 481, 492, 500, 504, 507,
510-512, 515, 519, 520

reaper, 213, 222, 225, 227-229, 279,
280

reklamasi, 37, 62, 85, 197, 256

Remediasi, 344, 371, 391, 393, 397,
406

rendah, 295-297, 301-309, 323, 324,
326, 329-331, 333-335, 337,
338, 341, 349-352, 355, 361-
363, 369-372, 376, 391-393,
395, 396, 398, 400, 401, 406

rendemen giling, 223, 240, 246, 256,
268, 284, 285

rentan, 19, 27, 91, 124, 151, 153,
174, 185, 199

residu, 45, 46, 47, 66, 189

resistensi, 462, 464, 485

Respon, 505

Restorasi, 421, 423, 427

rhizobacteria, 66

rhizobium, 63, 66-69, 73, 74, 75, 78,
126

Rhizobium fredii, 66

Rhizobium leguminosarum, 490

Rhizobium lupine, 490

rhizosfer, 472, 483, 488, 489

Rhynchospora corymbosa L, 429, 433,
434, 435, 438

rodentisida, 159

roguing, 140, 143, 146, 147, 156, 157,
163

rontok, 201, 218, 221, 222, 224, 227,
231, 236, 237, 255, 279, 280

rotary, 255, 272, 289

rotasi, 69, 86, 92, 93

ruang pori, 351, 358

S

sabit, 518

sabit bergerigi, 160, 213, 222, 224,
225, 226, 250

Sacciolepis indica, 435

saluran, 413, 416, 417, 419, 420, 423,
471, 475, 514

Salvinia cuculata, 440

sanitasi, 517

sawah, 419, 420, 423, 433-435, 447,
456, 461, 466, 471, 474, 479,
481, 482, 484, 485, 491, 502,
507, 511, 514

sekam, 457

sekat, 421, 423

sentra produksi, 419, 514

Sertifikasi Benih, 512

sifat biologi, 25, 42

sifat fisika, 324, 328, 391, 406, 484

sifat kimia, 25, 32, 38, 64, 65, 98,
120, 148, 301, 328, 329, 371,
397, 398, 400, 402, 403, 430,
431, 446, 450, 456, 501

simbiosis, 60, 62, 63, 67, 68, 69, 70,
73, 192, 489

simbiotis, 489

sisa tanaman, 14, 36, 38, 161, 181,
188, 203, 438, 442, 450

sistem, 5, 14, 16, 19, 20, 32, 37, 64,
69, 72, 78, 84, 87, 91, 92, 94,
95, 97, 99, 106-108, 109, 110,
113, 114, 116, 122-124, 126,
131, 140, 156, 163, 165, 168-

- 170, 189, 192, 196, 198-202, 206, 215, 222-224, 229-231, 233, 241, 244-246, 248, 251, 253, 255, 257, 258, 260-263, 265-269, 271, 273-276, 288, 290-292, 295, 296, 298-300, 313, 335, 343, 345, 350, 353, 355, 358, 360, 363, 364, 367, 368, 372, 375, 378, 385, 391, 401, 402, 404-407, 409, 415-417, 418, 420, 431, 437, 439, 449, 455, 460-462, 467-471, 477, 481-483, 498, 502, 505, 512, 515, 519, 531
- sistemik, 179, 187, 340, 517
- sistem legowo, 140, 156
- sitrat, 302, 305
- software, 149
- sortasi, 255, 280
- sosial, vi, 4-8, 38, 85, 87, 95, 108, 112, 115, 116, 119, 121, 131, 134, 168, 199, 213, 215, 231, 262, 266, 267, 291, 295, 296, 298, 299, 300, 301, 347, 350, 364, 414, 415, 460, 467, 468
- spesifik, 5, 16, 23, 26, 86, 118, 119, 124, 126, 143, 168, 170, 198, 200, 213, 257, 264, 267, 298, 312, 354, 414, 434, 436, 510, 527, 530
- Spodoptera litura* F, 192, 517
- starter, 77, 516
- strain, 60, 62, 71, 72, 74-76, 191, 489, 491
- Suboptimal, 79, 81, 82, 164, 251, 386, 479, 504, 520, 530
- subsiden, 299, 347, 354, 385
- subsidiensi, 91, 124, 298, 300, 330, 334, 371, 376, 391, 393, 397, 398, 406, 414
- suksesi, 6, 434
- Sulfaquepts, 78, 197
- sulfat, vi, 5, 8, 13-21, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 33, 36-38, 40-51, 53, 55, 56, 61, 64-66, 82, 85, 87, 88, 90, 91, 105, 109, 116-120, 123, 126, 136, 148, 149, 163-165, 170, 196-198, 211, 270, 271, 306, 311, 331, 344, 348, 355, 388, 408, 414, 433-435, 438, 439, 446, 450, 452, 454, 456, 458, 459, 461, 466, 471, 473-475, 479, 480, 485-487, 492-498, 504, 515, 520, 531
- sulfat masam, vi, 5, 8, 13-21, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 33, 36-38, 40, 41, 43, 44-53, 55, 56, 61, 64-66, 82, 85, 87, 88, 90, 91, 109, 116-120, 123, 126, 136, 149, 163-165, 170, 196-198, 211, 271, 311, 344, 348, 355, 388, 408, 414, 433-435, 438, 439, 446, 450, 452, 454, 456, 458, 459, 461, 466, 473, 474, 479, 480, 485-487, 492-498, 504, 515, 520, 531
- Sulfat masam aktual, 16
- sulfat masam potensial, 16, 17, 88, 116, 136, 149, 164, 196, 197, 485, 486
- Sumber, viii, ix, 21-23, 25, 27, 28, 33, 40, 45, 48-50, 53, 56, 65, 68, 70, 72, 77, 90, 95, 98, 105, 110, 111, 120, 123, 128, 139, 143-148, 150-156, 158, 160-165, 172, 173, 175-178, 180-183, 186, 206, 208, 209, 211, 220, 226, 228, 229, 231, 236-238, 277, 278, 284, 299, 304, 308, 310-315, 326, 328, 333, 336-339, 341, 342, 356, 358-363, 373, 378, 381-384, 394-396, 398, 400-405, 420-426, 428, 433-440, 442, 446, 449, 451, 453, 454, 463-465, 467, 470, 472-476, 487, 488, 493-497, 499, 500, 509, 511-514, 521

- sungai, 16, 26, 37, 86, 88, 91, 354, 355, 361-363, 373, 383, 417, 419, 433, 486
- surjan, 84, 87, 94, 95, 104-108, 110, 114, 125, 167, 334, 335, 512, 515, 519
- susut, vi, 213-215, 218-220, 223, 225-227, 229, 231, 236-238, 241, 245, 246, 250, 252, 256, 268, 269, 277, 279-281, 283, 284, 289-291
- T**
- tabat, 125, 126, 348, 355-357, 367, 373, 375, 376, 378, 384, 388, 416, 419, 423, 471
- tabukan, 84, 104, 105, 108, 167, 335
- tanah, 5, 13-21, 23-26, 29, 30, 32, 33, 36-56, 58, 60-66, 69, 72-77, 86, 87, 89-93, 97, 98, 103-105, 113, 114, 116, 118-127, 135, 138, 141, 143, 144, 148-152, 161, 163-165, 167-169, 172, 173, 175-178, 180, 181, 184, 189, 193-211, 226, 227, 258-261, 270-274, 279-281, 283, 287, 289, 291, 295-298, 300-313, 315, 316, 323, 324, 328-338, 341-343, 345, 347-365, 367-371, 373-379, 381-387, 391, 396-400, 402-410, 413, 414, 416, 417, 423, 424, 429-435, 438, 439, 442-453, 455-468, 470-477, 479, 481, 483-490, 492-494, 496, 498, 501-503, 510, 513-515, 517, 525, 526, 527
- tanah mineral, 25, 26, 66, 73, 76, 122, 124, 296, 310, 311, 316, 328, 329, 331, 350, 361, 362, 363, 364, 381, 431
- tanam, v, vi, 24, 26, 28, 43, 44, 62, 64, 65, 73, 84, 85, 86, 87, 91-103, 105, 107, 108, 114, 115, 120-122, 126, 128, 129, 133, 144, 145, 149, 153, 155, 156, 159, 160, 163-168, 171, 172, 183-185, 188-190, 218, 255, 257, 258, 260-262, 265, 267-277, 279, 280, 289-292, 300, 323, 325, 330, 332, 335, 339, 341, 343, 358, 391, 393, 394, 405, 406, 414, 416, 417, 420, 448, 499, 512, 515, 516, 517, 518
- tanaman buah, 323, 325, 326, 327, 333, 336, 338, 339, 341, 372
- tanaman penutup tanah, 391, 397, 405, 406
- tanaman perkebunan, 7, 86, 129, 324, 347, 349, 372, 391, 392, 395, 469
- tandan buah segar (TBS), 399
- tawar, 132, 526
- teknik budidaya, 4, 93, 122, 219, 326, 339, 431
- teknologi, v, vi, 3-7, 24, 26, 37, 38, 40, 45, 56, 61, 78, 91, 99, 109, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 119, 122, 125, 127, 131, 133, 135, 137, 140, 141, 142, 162, 164, 165, 169-171, 192, 195, 197, 205, 209, 211, 213, 214, 216, 217, 219, 224, 227, 235, 238, 241, 246, 249, 252, 257, 261-263, 266, 267, 269, 272, 273, 277, 279, 280, 290, 296, 319, 323-326, 332, 335, 341, 346-349, 353, 361, 364-366, 372, 386, 391, 393, 406, 407, 437, 445, 462, 469, 473, 476, 477, 479, 480, 483, 485, 489, 501, 502, 526, 528, 529, 530
- tembakan, 84, 104, 105, 106, 108, 271
- tenaga kerja, 5, 86, 93, 95, 103, 104, 107, 119, 121, 123, 124, 156, 169, 220, 226-229, 234, 235, 255, 257, 258, 262-269, 271, 273, 274, 275, 276, 279-281, 287, 289, 380, 392, 396, 516, 526, 527

- tengahan, 154, 155, 440-442, 488, 510, 511, 519
- tepat, 5, 6, 7, 36-39, 45, 47, 54, 63, 90, 121, 127, 129, 132, 134, 140, 141, 149, 155, 159, 160, 163, 169, 188, 207, 209, 213-215, 220-224, 226, 248, 249, 250, 255, 261, 263, 279, 289, 295, 299, 309, 316, 332, 335, 349, 371, 372, 380, 397, 460, 461, 462, 464, 469, 477, 501, 518, 526, 528
- terang, 69, 176, 222, 283
- tinggi, 5, 7, 14, 15, 17-23, 25, 26, 29, 30, 36, 39, 47, 48, 50, 51, 53, 60-65, 71, 73, 76, 77, 88-96, 101, 104, 105, 107, 116, 118-121, 125-128, 132, 141, 144, 148, 150-152, 154, 155, 168, 173, 177, 181, 184, 186, 188, 189, 192, 195, 197, 199, 201-205, 208, 211, 214-225, 227, 229, 231-246, 249, 250, 252, 257, 260, 265, 266, 270, 271, 273-275, 277, 278, 281, 282, 285, 289, 290, 297, 302, 304-307, 309, 311-313, 323-326, 328-330, 334, 338, 351, 352, 356, 358, 362, 368, 369, 374, 376, 382-384, 392, 395-403, 416, 417, 430-434, 439, 441-444, 446, 449-451, 453, 454, 460, 462, 465, 466, 470, 472, 473, 476, 477, 486, 490, 493, 494, 496-499, 501, 507, 510-513, 526, 527, 529
- tingkat, 3, 7, 13, 15-17, 22, 26, 36, 37, 50, 51, 76, 88, 90, 91, 98, 103, 104, 107, 116-119, 128, 142, 144, 145, 149, 163, 168, 170, 174, 183, 184, 187, 195, 199-202, 215-217, 221, 223-227, 231, 232, 234, 241, 242, 244, 248-250, 256, 257, 266, 268, 269, 274, 275, 281, 285, 288, 291, 298, 301, 306, 328, 330, 332, 335, 350-352, 354, 374, 377, 396, 417, 419, 431, 435, 441, 477, 483, 484, 485, 526
- tingkat kebersihan gabah, 256, 281
- tipe, 15, 63-66, 73, 76, 84, 85, 86, 88, 89, 93, 94, 99, 105, 107, 113, 114, 116-120, 122, 124, 125, 127, 133, 135, 138, 140, 147, 151, 152, 157, 164, 167-169, 179, 196, 198, 237, 241-243, 253, 255, 268, 271, 272, 274, 278, 281, 284-286, 306, 307, 334, 335, 344, 351, 358, 360, 379, 380, 385, 420, 460, 462, 463, 466, 467, 471, 480, 487, 512, 515, 519
- tipe luapan air B, 105, 140, 151, 152, 164
- tipe luapan air C, 140, 151, 152, 519
- tipologi, 17, 27, 84-87, 94, 107, 116, 119, 120, 149, 168, 169, 170, 264, 270, 271, 292, 352, 415, 425, 429, 430, 433, 435, 460, 462, 463, 485, 487, 510, 526
- tipologi lahan, 17, 27, 84, 85, 86, 87, 94, 107, 120, 149, 169, 170, 270, 352, 425, 429, 430, 433, 460, 462, 463, 485, 487, 510
- toleran, 14, 15, 16, 20, 21, 23, 26, 30, 34, 64, 66, 90, 91, 130, 143, 154, 155, 198, 433, 434, 460, 469, 472
- toleransi, 15, 22, 23, 33, 90, 127, 151, 164
- topografi, 65, 265, 349, 416, 424, 486
- traktor, 92, 99, 123, 255, 258-260, 268, 270-273, 275, 289, 361, 414, 420
- transkripsi gen, 73
- translokasi, 74
- transmigrasi, 117, 261, 347, 418
- Transplanter*, 255, 277

Trichoderma sp., 150, 188, 492, 493, 497

tukungan, 101, 104, 105, 106, 334, 335, 447

tumpang, 69, 86, 92, 93, 105, 300

U

ulat grayak, 130, 167, 171, 177, 187, 189, 190, 192, 477, 478, 517

Ulat jengkal, 341, 517

umur, 26, 67, 73, 97, 98, 107, 130, 151, 154, 155, 171, 174, 179, 183, 213, 217, 218, 222, 223, 226, 227, 242, 249, 250, 275, 289, 290, 353, 382, 498, 499, 508, 510, 513, 519

UPSUS, 112, 113, 115, 133, 134, 143

usaha, v, 5, 86, 92, 105, 122, 138, 167, 168, 171, 196, 200, 205, 234, 240, 249, 257, 258, 262, 265-267, 269, 273, 285, 287, 288, 298, 353, 414-416, 418, 419, 439, 460, 477, 481, 483, 484, 514, 520, 527, 528

usahatani, 5, 86, 94, 105, 107, 116, 127, 132, 220, 251, 255, 257-261, 264-267, 269, 270, 271, 273, 275, 279, 287, 288, 290, 292, 334, 347, 354, 364, 397, 399, 401, 405, 419, 431, 528, 530

V

varietas, 13, 14, 16, 20, 21, 23, 26, 29, 30, 32, 38, 56, 64-66, 71, 78, 82, 86, 90, 91, 94, 95, 98-104, 107, 109, 119, 127, 128-130, 133, 140-147, 149, 151-155, 157, 159-164, 167, 169, 170, 173, 183-185, 188-192, 198, 199, 209, 217, 218, 221-227, 230, 231, 235, 253, 267, 272, 274, 279, 280, 282, 291, 332, 335, 339, 340, 341, 349, 453, 454, 460, 469, 472, 473, 485, 492, 493, 496, 500, 503,

507, 510, 512, 513, 514, 515, 518, 520, 528

W

wadah, 131, 214, 232

waktu, vi, 26, 43, 47, 63, 64, 84, 86, 92, 93, 97, 99-101, 103, 108, 113, 114, 121, 130, 145, 146, 147, 161, 164, 167, 169, 170, 174, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 197, 207, 210, 214, 220, 223, 225, 227, 228, 232, 234-236, 239, 241-244, 249, 250, 255, 256, 258, 260-262, 265, 272-274, 276, 279, 280, 282-284, 288, 289, 299, 302, 307, 308, 311, 333, 335, 337, 355, 359, 443, 465, 474, 516, 517-519, 527, 528

warna, 69, 71, 157, 161, 176, 178, 200, 208, 217, 223, 250, 518

X

Xyris indica L Var *Indica*, 435

Z

zat, 13, 24, 271, 313, 489, 490, 502

zeolit, 25, 296, 313, 316, 318, 319, 363

zona, 15, 71, 89, 373-376, 486

zonasi, 86, 296

BIODATA PENULIS

Ani Susilawati. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: ani.nbl@gmail.com

Anicetus Wihardjaka. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimat dan Hidrologi, Bidang Penelitian Ilmu Lingkungan, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kemtan. awihardjaka@yahoo.co.id

Anjar Suprpto. Jab. Perekayasa muda. Bid. Keahlian: mekanisasi pertanian. Alamat sama dg diatas Email: anjarsup@gmail.com

Anna Hairani. Peneliti Muda Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: annagp8@gmail.com

Arifin Fahmi. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: fahmi.nbl@gmail.com

Arthanur Rifqi Hidayat. Calon Peneliti pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: arthanurrifqihidayat@gmail.com

Asep Nugraha Ardiwinata. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimat dan Hidrologi, Bidang Penelitian Ilmu Lingkungan dan Pencemaran Sumberdaya Alam, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kemtan. asena020361@gmail.com

Elisabeth Srihayu Harsanti. Peneliti Muda Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimat dan Hidrologi, Bidang Penelitian Ilmu Lingkungan dan Pencemaran Sumberdaya Alam, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kemtan. eharsanti@yahoo.com

Eni Maftu'ah. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: eni_balittra@yahoo.com

Helda Orbani Rosa. Lektor Kepala, Bidang Kepakaran Hama Tanaman, Bidang Penelitian Pengendalian Hayati. Fakultas Pertanian Unlam, Kemenristekdikti. Email: heldaorbanirosa@unlam.ac.id

Harsono. Perekayasa Madya. Bidang Perekayasa Energi, Panen dan Pascapanen. Alamat sama dg diatas Email: h2r50@yahoo.co.id

Hendri Sosiawan. Kepala Balittra dan Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pemetaan dan Karakterisasi Tanah dan Lahan. pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: hsosiawan30@gmail.com

Izhar Khairullah. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Budidaya Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: izhar.balittra@gmail.com

Khairil Anwar. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: khairil1960@yahoo.com

Koesrini. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Pemuliaan dan Genetika Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: rinirhido@yahoo.com

Maria J. Tjaturetna B. Perekayasa Muda. Bid. Perekayasa Mesin budidaya pertanian dan tata air. Alamat BBPMP: jl. Sinarmas Boulevard, Pagedangan, Tangerang, Banten. Email: mariajt.nanik@gmail.com

Masganti. Profesor Riset Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: masgambut59@yahoo.com

Maulia Aries Susanti. Peneliti Pratama Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Hama dan Penyakit Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: liya_balittra@yahoo.com

Muhammad Alwi. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: alwi_62@yahoo.co.id

Muhammad Noor. Profesor Riset Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: m_noor_balittra@yahoo.co.id

Muhammad Saleh. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Pemuliaan dan Genetika Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: saleh_duransyah@yahoo.com

Mukhlis. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: mukhlisbalittra@yahoo.com

Nurita. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Budidaya Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: Nurita.balittra@gmail.com

R. Smith Simatupang. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Budidaya Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: rsmith_simatupang@yahoo.co.id

Sudirman Umar. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Mekanisasi Pertanian, Bidang Penelitian Mekanisasi Pertanian lainnya pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: sudirman_pbr@yahoo.co.id

Sulha Pangaribuan, S.TP. Jabatan: Perekayasa Muda. Alamat: BBPMektan, jl. Sinarماس boulevard, Pagedangan, Tangerang, Banten. Email: sulha.pangaribuan@yahoo.com

Syaiful Asikin. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan, Bidang Penelitian Hama dan Penyakit Tanaman pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: asikin_balittra@yahoo.co.id

Wahida Annisa. Peneliti Madya Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: annisa_balittra@yahoo.com

Yanti Rina Darsani. Peneliti Utama Bidang Kepakaran Ekonomi, Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Bidang Penelitian Ekonomi Pertanian dan Kebijakan Pertanian pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: tuha13@yahoo.co.id

Yuli Lestari. Peneliti Muda Bidang Kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Bidang Penelitian Pengelolaan Lahan, Air dan Iklim pada Balittra, BBSDLP, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: yulibalittra70@yahoo.com