

PENGELOLAAN LAHAN BERPIRIT DI RAWA PASANG SURUT UNTUK OPTIMASI PADI

Khairil Anwar dan Masganti

Jumlah penduduk Indonesia yang terus meningkat membutuhkan bahan pangan yang semakin banyak, di sisi lain terjadi penyusutan luas lahan sawah dan menurunnya animo pemuda dalam bertani. Mulyani dan Hidayat (2010); Suyanto dan Zaini (2010); dan Mulyani *et al.* (2011) menyebutkan bahwa di Indonesia telah terjadi penyusutan lahan subur setiap tahun, pelandaian produksi, dan penurunan produktivitas serta tidak seimbangny produksi dengan kebutuhan pangan. Kondisi ini menyebabkan timpangnya neraca antara kebutuhan dengan produksi pangan dalam negeri, akibatnya terjadi impor pangan yang terus meningkat untuk menutupi kekurangan tersebut Ketergantungan pangan melalui impor sangat berbahaya bagi keamanan dan pertahanan negara, karena itu dibutuhkan kemandirian pangan secara berkelanjutan. Upaya yang dapat dilakukan untuk peningkatan produksi pangan secara berkelanjutan adalah melalui perluasan areal (cetak sawah), peningkatan indeks pertanaman (IP), dan peningkatan produktivitas tanaman pangan.

Kemandirian pangan secara berkelanjutan membutuhkan upaya khusus, karena itu sejak tahun 2014 telah dimunculkan program upaya khusus padi, jagung dan kedelai yang dikenal dengan istilah UPSUS PAJALE, dan pada akhir tahun 2018 telah dicanangkan program SERASI (Selamatkan Rawa dan Sejahterakan Petani) seluas 500.000 hektar di Provinsi Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan. Program serasi dilaksanakan di lahan rawa pasang surut dan rawa lebak, yaitu pada lahan sawah yang sudah terbentuk, namun produktivitasnya masih rendah dan IP-nya masih bisa ditingkatkan. Di antara lahan rawa pasang surut yang dijadikan area program SERASI, sebagian merupakan lahan-lahan sawah yang mengandung senyawa pirit, dan biasa disebut sebagai tanah sulfat masam.

Senyawa pirit sebagai penciri tanah tersebut, menjadi sumber utama masalah tanah dan air yang dapat menurunkan produktivitas padi. Senyawa pirit yang teroksidasi saat musim kemarau akan menghasilkan asam, meningkatkan kelarutan unsur meracun dan mengikat hara tanaman sehingga terjadi kahat hara pada tanaman padi. Saat musim hujan, asam-asam yang terbentuk selama musim kemarau akan tercuci ke saluran air, sehingga terjadi pemasaman air di saluran drainase. Dengan kondisi sistem tata air yang kurang baik, air asam tersebut dapat masuk lagi ke persawahan akibat dorongan air pasang sehingga menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan produktivitas padi.

Keunikan karakteristik tanah berpirit tersebut membutuhkan pengelolaan lahan yang bersifat khusus. Tulisan ini menyajikan pengelolaan lahan rawa pasang

surut berpirit agar dapat dioptimalkan sesuai karakteristik lahan tersebut untuk pengembangan tanaman padi.

SEBARAN DAN POTENSI LAHAN BERPIRIT

Luas total lahan rawa di Indonesia sebesar 34,93 juta ha (BBSDLP 2014), dimana 42,84% diantaranya berupa tanah mineral, sisanya berupa tanah gambut (Tabel 1). Tanah mineral terdiri dari lahan salin, lahan sulfat masam dan lahan potensial. Dari luasan lahan rawa tersebut, menurut Nugroho & Suriadikarta (2010), terdapat 20,12 juta lahan rawa pasang surut, dan diantaranya terdapat lahan sulfat masam sekitar 4,23 juta hektar.

Tabel 1. Luas lahan rawa (pasang surut dan lebak) di Indonesia

Pulau besar	Tanah gambut (ha)	Tanah mineral (ha)	Total luas (ha)
Sumatera	6.490.188	6.436.649	12.926.837
Kalimantan	5;245.494	4.778.004	10.023.499
Sulawesi	1.024.249	23.844	1.048.093
Maluku	162.555		162.555
Papua	6.178.524	3.690.921	9.869.445
Total luar Jawa	19.101.001	14.963.601	34.030.429
Jawa	896.122	0,000	896.122
INDONESIA	19.997.133	14.963.601	34.926.552

Sumber : BBSDLP (2014)

Lahan berpirit dominan terdapat di lahan pasang surut yang tersebar di sepanjang pantai (Subagyo 2006). Di Pulau Sumatera terdapat di sepanjang pantai timur, terutama di Provinsi Riau, Sumatera Selatan, dan Jambi, serta dijumpai dalam luasan lebih sempit di Provinsi Sumatera Utara dan Lampung. Di pantai barat dalam luasan sempit juga dijumpai di Provinsi Aceh, Sumatera Barat dan Bengkulu. Di Kalimantan terdapat di pantai barat Provinsi Kalimantan Barat, pantai selatan Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan dan pantai timur Provinsi Kalimantan Timur. Lahan rawa pasang surut di Papua dan Papua Barat terdapat di sepanjang pantai selatan Kabupaten Fakfak, pantai tenggara Kabupaten Merauke, kemudian daerah Kepala Burung, di sekeliling Teluk Berau-Bintuni, dalam wilayah Kabupaten Manokwari dan Sorong serta pantai selatan Kabupaten Kaimana.

Lahan rawa pasang surut telah banyak direklamasi dan dikembangkan dengan tanaman padi sebagai tanaman utama. Menurut Nugroho dan Suriadikarta (2010), ada sekitar 2,83 juta hektar yang telah direklamasi, namun menurut Ritung (2011) dari lahan yang telah direklamasi tersebut, hanya sekitar 407.594 hektar yang sudah dijadikan sawah. Reklamasi tersebut tersebar di beberapa provinsi, antara

lain: Nanggro Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Jambi, Riau, Sumatera Selatan, Lampung, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, dan Sulawesi Selatan.

Lahan berpirit yang terdapat pada lahan pasang surut sebagian besar lahan tersebut dimanfaatkan untuk pertanaman padi melalui program transmigrasi, dan belakangan ini dimanfaatkan untuk tanaman sawit oleh para pengusaha. Berbagai tanaman palawija dan sayur-sayuran, buah-buahan dapat dikembangkan pada lahan tersebut (Masganti & Anwar 2018). Potensi lahan rawa pasang surut untuk pengembangan tanaman padi ditentukan oleh aspek hidrologi, tanah, ketersediaan tenaga kerja, pemasaran, dan teknologi yang digunakan. Selain itu lahan pasang surut berpirit juga berpotensi untuk pengembangan perikanan (tambak dan karamba) dan ternak (ayam, itik, sapi dan kambing).

KARAKTERISTIK DAN PERMASALAHAN LAHAN BERPIRIT

Karakteristik lahan rawa pasang surut berpirit bersifat khas, baik ditinjau dari aspek tanah maupun aspek hidrologi. Kedua aspek tersebut mempengaruhi permasalahan yang muncul sehingga menentukan potensi lahan tersebut.

Aspek Tanah. Lahan rawa berpirit dapat masuk kriteria tipologi lahan sulfat masam (tanah sulfat masam aktual) atau lahan potensial (tanah sulfat masam potensial), tergantung karakteristik lahan yang mencakup kedalaman lapisan sulfidik atau horizon sulfurik, dan pH tanah. Bila pada lapisan 0-50 cm terdapat lapisan minimal setebal 15 cm yang memiliki pH tanah $\geq 4,0$ dan kedalaman lapisan sulfidik > 50 cm maka termasuk lahan potensial, sedangkan bila kedalaman lapisan sulfidik < 50 cm atau memiliki horizon sulfurik dan atau pH $< 4,0$ cm pada kedalaman 0-100 cm maka dimasukkan kedalam tipologi lahan sulfat masam. Lapisan sulfidik merupakan lapisan pirit yang belum teroksidasi, sedangkan horizon sulfurik merupakan lapisan pirit yang telah teroksidasi sehingga kemasaman meningkat hingga pH $\leq 4,0$. Beberapa kelompok lahan berpirit yang terdapat di lahan rawa disajikan dalam Tabel 2.

Lahan berpirit juga terdapat pada zona rawa lebak, namun umumnya memiliki kedalaman lapisan pirit > 50 cm dari permukaan tanah, sehingga kecil pengaruhnya terhadap tanaman bila tidak terjadi pengangkatan lapisan tersebut ke permukaan lahan. Namun bila terjadi pengangkatan lapisan tersebut dalam pembuatan saluran atau tanggul, maka akan terjadi pemasaman air.

Tabel 2. Tipologi lahan, karakteristik dan klasifikasi tanah lahan rawa berpirit

Tipologi lahan	Karakteristik lahan	Klasifikasi tanah (Soil Taxonomy 2014*)
Lahan potensial		
Lahan potensial-1	Bahan sulfidik >100 cm, pH>4,0	Typic Hydraquents/ Endoaquents
Lahan potensial-2	Bahan sulfidik 50-100 cm, pH>4,0	Sulfic Hydraquents/ Endoaquents
Lahan sulfat masam		
Lahan sulfat masam potensial	Bahan sulfidik 0-50 cm, pH>4,0	Typic Sulfaquents
Lahan sulfat masam potensial bergambut	Bahan sulfidik 0-50 cm, pH>4,0; gambut 20-50 cm.	Histic Sulfaquents
Lahan sulfat masam aktual-1	Horison sulfurik 0-100 cm, pH 3,5-4,0	Sulfic Endoaquepts
Lahan sulfat masam aktual-2	Horison sulfurik 0-50 cm, pH<3.5	Typic Sulfaquepts

Sumber : Subagyo (2006); Soil Survey Staff (2014).

Tanah mineral di lahan rawa yang mempunyai kedalaman lapisan pirit >50 cm dari muka tanah dan mempunyai pH >4,0 disebut sebagai lahan potensial. **Lahan potensial** adalah lahan mineral yang mempunyai kemampuan berproduksi optimal dengan tanpa atau sangat sedikit pembatas dalam pemanfaatannya dengan pH > 4,0. Berdasarkan karakteristiknya, dapat dibedakan atas lahan potensial-1 dan lahan potensial-2. Lahan potensial-1 merupakan lahan potensial yang mempunyai lapisan sulfidik dengan kedalaman 101-150 cm, sedangkan lahan potensial-2 adalah lahan potensial yang mempunyai lapisan sulfidik > 51-100 cm (Subagyo, 2006). Sebagian besar lahan tersebut merupakan endapan sungai atau endapan marin yang dilapisi endapan sungai pada lapisan atasnya sehingga lapisan pirit/sulfurik berada > 50 cm dari permukaan tanah. Lahan tersebut umumnya berada di sepanjang aliran sungai alam yang sering mengalami luapan air pasang, dan termasuk tipe luapan A (selalu terluapi air pasang) atau A/B. Adanya luapan air sungai yang membawa unsur-unsur hara mengakibatkan lahan tersebut relatif subur akan garam-garam, tetapi adanya pencucian karena gerakan pasang surut mengakibatkan lahan tersebut miskin hara yang mudah tercuci seperti Nitrogen dan Kalium.

Lahan potensial bisa juga berasal dari lahan sulfat masam yang telah mengalami pencucian intensif cukup lama sehingga lapisan 0-50 cm mempunyai pH > 4,0. Lahan ini umumnya mempunyai tipe luapan B (lahan yang hanya terluapi air pasang besar) atau C (lahan yang tidak terluapi air pasang), dengan drainase yang lancar. Pencucian yang intensif mengakibatkan asam-asam dan ion toksik tercuci

dari lahan, tetapi hara-hara juga ikut tercuci, karena itu lahan tersebut kahat hara, terutama N dan K.

Lahan sulfat masam aktual tersebut umumnya kahat hara makro (P, K, Ca, dan Mg) dan mikro (Zn, Cu dan Mo), serta mempunyai kelarutan H^+ , SO_4^{2-} , Al^{3+} dan Fe^{2+} , yang tinggi sehingga dapat meracuni tanaman. Lahan sulfat masam aktual umumnya berada pada tipe luapan C dan D yang tidak terluapi air pasang, akibatnya pada musim kemarau terjadi oksidasi senyawa pirit. Lahan tipe luapan C dan D mempunyai topografi yang lebih tinggi, jauh dari bibir pantai atau muara sungai besar sehingga air pasang besar tidak mampu menjangkau daerah tersebut.

Lahan sulfat masam dapat dibagi menjadi lahan sulfat masam potensial dan lahan sulfat masam potensial bergambut, lahan sulfat masam aktual-1, dan lahan sulfat masam aktual-2 (Tabel 2). Lahan sulfat masam potensial merupakan lahan yang memiliki bahan sulfidik pada kedalaman < 50 cm dan mempunyai pH $> 4,0$; sedangkan lahan sulfat masam potensial bergambut merupakan lahan sulfat masam potensial yang mempunyai lapisan gambut atau horizon histik dengan tebal 20-50 cm di atas lapisan mineralnya. Horizon histik merupakan lapisan yang didominasi bahan organik. Nilai pH tanah $> 4,0$ mengakibatkan kelarutan Al, Fe dan Mn menjadi lebih rendah dibanding lahan sulfat masam aktual, tetapi tetap mempunyai potensi meracuni tanaman padi, sedangkan hara umumnya tetap berada dalam kategori kahat. Lahan sulfat masam aktual tipe 1 atau 2 merupakan lahan yang lapisan piritnya (0-50 cm) telah teroksidasi sehingga memiliki horizon sulfurik, dan mengalami penurunan pH tanah, bila pH nya berada 3,5-4,0 dan kedalaman lapisan pirit 0-100 cm maka termasuk lahan sulfat masam aktual tipe 1, sedangkan bila nilai pH nya $< 3,5$ dan kedalaman lapisan pirit 50-100 cm maka termasuk lahan sulfat masam aktual tipe 2 (Subagyo 2006).

Ditinjau dari karakteristik kimia, maka tanah sulfat masam termasuk kriteria kesuburan tanah rendah, dimana ketersediaan fosfat rendah karena diikat oleh besi atau aluminium. Kemasaman tanah yang tinggi memicu larutnya unsur beracun dan kahat hara makro dan mikro tertentu. Sumber kemasaman tanah sulfat masam berasal dari senyawa pirit (FeS_2) yang teroksidasi, melepaskan ion-ion hidrogen dan sulfat yang diikuti oleh penurunan pH menjadi kurang dari 3. Perbedaan yang mendasar antara tanah 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, tetapi nilai kejenuhan Al, K, dan Na lebih tinggi (Subagjo dan Widjaja-Adhi 1998). Karakteristik kimia tersebut berkaitan dengan adanya oksidasi pirit yang berdampak terhadap nilai kimia tersebut (Tabel 3 dan 4).

Tabel 3. Karakteristik fisika dan kimia tanah pada lahan sulfat masam di Kalimantan

Sifat-sifat tanah*)	Lahan Sulfat Masam Potensial		Lahan Sulfat Masam Aktual	
	Lap. atas (0-50 cm)	Lap. bawah (50-200 cm)	Lap. atas (0-50 cm)	Lap. bawah (50-200 cm)
Tekstur tanah	Liat berdebu (SiC)	Liat (C)	Liat berdebu (SiC)	Liat (C)
pH H ₂ O (1:5)	4,3	3,5	3,6	2,8
DHL (1:5) (dS/m)	7,25	7,32	5,69	4,34
C-organik (%)	9,16	6,61	10,93	7,51
N-total (%)	0,59	0,28	0,49	0,22
P ₂ O ₅ HCl (mg/100 g)	115	33	45	17
K ₂ O HCl(mg/100 g)	32	29	81	73
P ₂ O ₅ Bray II (ppm)	17,7	15,2	19,3	12,6
Ca tertukar (cmol/kg tanah)	5,11	4,61	4,12	3,49
Mg tertukar (cmol/kg tanah)	7,05	8,02	9,25	8,30
K tertukar (cmol/kg tanah)	0,56	0,43	0,89	0,37
Na tertukar (cmol/kg tanah)	6,01	4,91	14,87	9,70
KTK pH 7 (cmol/kg tanah)	31,5	28,9	37,2	33,5
Kejenuhan basa (%)	49	55	42	40
Kejenuhan Al (%)	35	47	71	67
Pirit (%)	1,12	1,35	1,07	2,38

*) Nilai rata-rata dari 27 contoh tanah

Sumber : Subagyo (2006)

Karakteristik tanah sulfat masam dari Sumatera terlihat lebih baik dibandingkan dari Kalimantan, terutama kandungan Ca dan Mg-nya. Hal ini karena lahan sulfat masam di Sumatera mendapatkan pengkayaan oleh sisa-sisa vulkanik (Tabel 4).

Tabel 4. Karakteristik fisika dan kimia tanah pada lahan sulfat masam potensial di Sumatera

Sifat-sifat tanah	Sulfat Masam Potensial	
	Lap. Atas (0-50 cm)	Lap. Bawah (50-200 cm)
Tekstur tanah	Liat berdebu (SiC)	Liat berdebu (SiC)
pH H ₂ O (1:5)	4,0	3,8
DHL (1:5) (dS/m)	-	-
C-organik (%)	20,54	6,31
N-total (%)	0,70	0,17
P ₂ O ₅ HCl (mg/100 g)	58	20
K ₂ O HCl(mg/100 g)	35	60
P ₂ O ₅ Bray II (ppm)	32,3	17,0
Ca tertukar (cmol/kg tanah)	7,84	7,95
Mg tertukar (cmol/kg tanah)	10,89	14,19
K tertukar (cmol/kg tanah)	0,64	0,55
Na tertukar (cmol/kg tanah)	2,34	5,61
KTK pH 7 (cmol/kg tanah)	62,5	32,7
Kejenuhan basa (%)	35	84
Kejenuhan Al (%)	32	30
Pirit (%)	1,12	1,35

Sumber: Subagyo (2006)

Tanah sulfat masam umumnya mempunyai tekstur tanah liat, lempung, dan sebagian berpasir, kerapatan lindak (BV) tergolong rendah yaitu berkisar 0,52–0,95 g/cm³, dan porositas antara 64,2–80,4%. Kondisi ini mengakibatkan daya dukung tanah tergolong rendah. Selain itu, permeabilitas di lapisan atas (0-20 cm) antara 0,34–1,59 cm/jam yang digolongkan lambat sampai agak lambat tergantung kematangan dan ketebalan dari lapisan yang teroksidasi (*brown layer*). Pada lapisan kedalaman 0–50 cm, ditemukan pori-pori besar, bekas lubang akar, retakan tanah, dan bahan organik sehingga kadang-kadang mudah meloloskan air. Pada kondisi tertentu daya hantar hidrolis secara horizontal dan vertikal sangat lambat sehingga pencucian terhambat dan lapisan permukaan tanah mudah menjadi kering (Widjaja-Adhi 1995).

Mikroorganisme yang banyak ditemui di lahan sulfat masam adalah genus *Desulfovibrio* yang berperan dalam pereduksi sulfat yang bersifat *obligat anaerob* yaitu hanya mampu hidup dan giat berkembang dalam suasana anaerob. Mikroorganisme yang berperan dalam oksidasi besi dan pirit di lahan sulfat masam adalah genus *Thiobacillus*. terdiri atas 3 jenis, yaitu (1) *Thiobacillus ferrooxidans*

yang mengoksidasi Fe (II) dan pirit (FeS_2), (2) *Thiobacillus acidophilus*, berperan mengoksidasi pirit hanya pada keadaan tertentu, dan (3) *Thiobacillus thiooxidans* yang hanya mengoksidasi sulfur dan pirit, dan *T. ferrooxidans* secara cepat menghasilkan Fe^{3+} dari Fe^{2+} dalam suasana masam (Subba-Rao 1994).

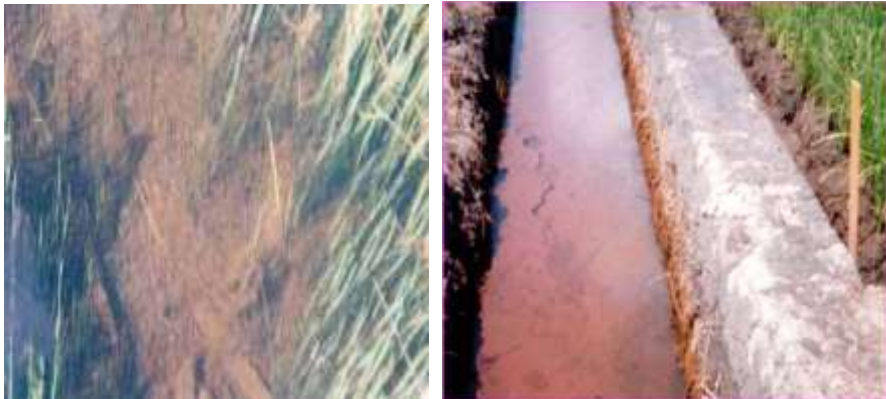
Aspek Air. Air sangat mempengaruhi oksidasi dan reduksi senyawa pirit dan dampaknya terhadap tanah, tanaman dan lingkungan. Adanya dinamika gerakan air pasang surut air laut yang dipengaruhi tarik menarik gravitasi bumi terhadap bulan dan matahari. Beberapa pola pasang, antara lain: pasang besar/pasang tunggal terjadi sekitar bulan purnama dan awal bulan/bulan mati; pasang kecil/pasang ganda terjadi diantara dua pasang tunggal tersebut; dan pasang campuran merupakan pasang pada periode transisi antara pasang besar ke pasang kecil atau sebaliknya.

Peningkatan topografi lahan ke arah hulu sungai yang mengakibatkan terjadinya penurunan jangkauan luapan air pasang ke arah hulu sungai. Dampak kedua aspek tersebut menyebabkan tipe luapan air pada lahan rawa pasang surut dapat dibagi menjadi; (a) lahan yang selalu terluapi air pasang, baik pasang besar maupun pasang kecil, disebut sebagai lahan bertipe luapan A; (b) lahan yang hanya terluapi pada saat pasang besar, disebut sebagai lahan bertipe luapan B; (c) lahan yang tidak terluapi air pasang tetapi mendapat rembesan air pasang, dan kedalaman muka air tanah kurang dari 50 cm dari muka tanah, disebut sebagai lahan bertipe luapan C, bila kedalaman muka air tanahnya lebih dari 50 cm disebut sebagai lahan bertipe luapan D.

Air sungai besar yang bermuara ke laut umumnya mempunyai kualitas air yang cukup baik karena adanya pengkayaan garam dari air laut saat air pasang dan pengkayaan air hujan kawasan hulu yang membawa hara dari proses erosi lahan kering di bagian hulunya. Pada kawasan lahan sulfat masam, hasil penelitian Anwar & Mawardi (2011) menunjukkan bahwa semakin jauh dari bibir pantai/muara sungai air semakin masam, dan pada saluran sekunder, semakin jauh dari muara saluran air semakin masam.

Kemasaman air dapat dijadikan indikator kualitas air, karena ion-ion dalam air saling keterkaitan satu sama lain, membentuk keseimbangan. Tipologi lahan mempengaruhi kualitas air, demikian juga kualitas air kawasan hulu yang mengalir ke badan air kawasan pasang surut turut mempengaruhi.

Tingginya kandungan asam pada air di kawasan sulfat masam menyebabkan terjadinya koagulasi (penggumpalan) butir-butir liat yang larut dalam air, karena bertambah berat, gumpalan tersebut akhirnya jatuh ke dasar saluran, air menjadi bening dan saluran menjadi dangkal. Bila drainase kurang lancar, maka ion besi yang larut ke badan air terus meningkat dan dapat mengalami oksidasi sehingga terbentuk banyak karat. Warna air dua kondisi tersebut disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Warna air bening tanda air masam (foto kiri) dan warna merah bila terjadi besi di air teroksidasi (foto kanan)

Permasalahan pada tanah berpirit adalah: (a) teroksidasinya senyawa pirit sehingga tanah menjadi sangat masam; dan (b) tereduksinya besi ferri (Fe^{3+}) menjadi besi ferro (Fe^{2+}). Lahan yang teroksidasi tersebut bila tergenang cukup lama, akan terjadi proses reduksi. Menurut Reddy dan Delaune (2008), reduksi menyebabkan meningkatnya kelarutan besi ferro (Fe^{2+}) dan H_2S sehingga dapat meracuni tanaman padi, dan kahat hara. Tingginya kemasaman tanah menyebabkan kelarutan beberapa unsur hara menurun, menghambat fiksasi N dari udara, dan hara lebih mudah tercuci atau karena kualitas air yang rendah, asam dan ion toksik lainnya yang terbentuk akan larut ke air permukaan, baik di petakan sawah maupun saluran sehingga dapat mematikan tanaman padi dan biota lainnya, dan adanya peluang banjir dan genangan bila tata airnya kurang baik.

TEKNOLOGI PENGELOLAAN LAHAN UNTUK OPTIMASI PADI

Optimasi lahan berpirit dapat dilakukan melalui dua kegiatan yaitu peningkatan IP (Indeks Pertanaman) dan peningkatan produktivitas.

Peningkatan IP

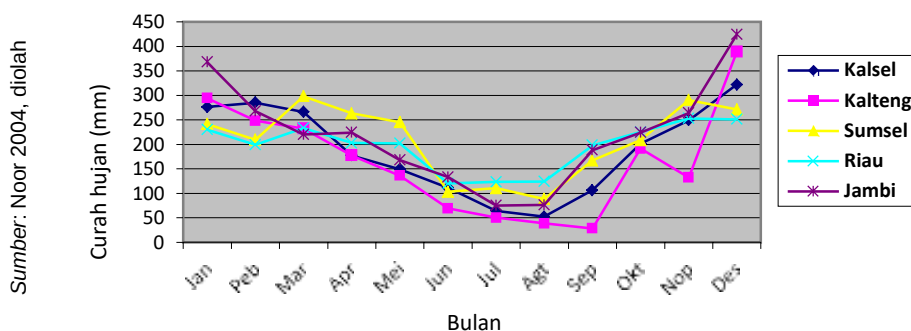
Indeks pertanaman padi di lahan berpirit umumnya hanya 100% yaitu bertanam sekali setahun menggunakan padi lokal, dengan waktu tanam mengikuti pola alami ketersediaan air, terutama di Kalimantan, sedangkan di Sumatera Selatan banyak yang sudah menerapkan IP-200. Petani menerapkan IP-100 karena menganggap pola tersebut mempunyai risiko kegagalan relatif kecil dan biaya input modal, serta tenaga kerja yang relatif rendah dibanding bertanam padi unggul, sehingga tersedia waktu yang lebih banyak untuk mencari nafkah disektor lain. Bagi

petani kegagalan satu kali panen, membutuhkan pemulihan ekonomi selama tiga musim tanam.

Padi lokal yang ditanam umumnya merupakan padi varietas yang toleran dengan kondisi kemasaman tanah dan air, toleran keracunan ion toksik dan hama penyakit serta cekaman lingkungan lainnya. Namun varietas lokal tersebut umumnya mempunyai produktivitas yang rendah, sekitar 2,0-4,0 ton/ha, serta kurang responsif terhadap ameliorasi dan pemupukan.

Peningkatan IP dapat dilakukan dengan pola Unggul-Lokal (pola sawit dupa) dan pola Unggul-Unggul. Pola sawit dupa dilakukan dengan memanfaatkan waktu kosong dalam pola pertanaman Lokal-Bera. Periode pertanaman padi lokal umumnya berada pada bulan Februari-Agustus, namun periode tersebut dapat digeser menjadi Maret-Agustus atau April-Agustus, karena padi lokal umumnya bersifat photo period sehingga walau ditanam bulan Maret atau April, panennya tetap sekitar bulan Agustus. Waktu yang luang antara September sampai Pebruari dapat dimanfaatkan untuk bertanam padi unggul, namun luas pertanaman hanya sekitar 80%, sisanya seluas 20% untuk penyiapan bibit padi lokal dengan sistem berjenjang, sebanyak 3 kali yaitu dengan istilah taradak-ampak-lacak (semai-pindah I- pindah II). Bertanam padi unggul umumnya dilakukan pada periode Oktober-Pebruari dilanjutkan dengan tanam padi lokal pada bulan Maret-Agustus.

Pemilihan pola tanam pada lahan berpirit disesuaikan dengan potensi ketersediaan air dan adanya penurunan kualitas air. Penyusunan pola tanam sebaiknya menghindari dari peluang banjir dan kekeringan, cekaman kemasaman air dan intrusi air asin. Berdasarkan pola curah hujan di lahan rawa pasang surut, maka pola tanam dapat disusun berdasarkan Gambar 2. Gambar tersebut menjelaskan bahwa curah hujan yang rendah umumnya terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada 3 bulan tersebut rentan terjadinya kekeringan, terutama pada lahan tipe luapan C dan D yang sumber air utamanya dari curah hujan, sedangkan pada lahan tipe luapan A dan B ketersediaan air tidak masalah, karena masih bisa memanfaatkan air pasang, namun pada tiga bulan tersebut rentan terjadinya intrusi air asin terutama pada lahan tipe luapan A yang umumnya berada pada kawasan rawa air payau dan sepanjang sempadan sungai besar.



Gambar 2. Dinamika curah hujan bulanan pada berbagai provinsi yang memiliki lahan rawa

Lahan berpirit yang berada pada kawasan pasang surut air asin/payau, yang setiap tahunnya mengalami intrusi air asin terutama pada bulan Juni-September, maka pemilihan jadwal tanam harus menghindari bulan-bulan tersebut, agar saat periode vegetatif hingga fase masak susu tidak mengalami intrusi air asin. Adanya intrusi air asin menyebabkan tanaman mati karena terjadinya plasmolisis dinding sel tanaman padi, akibat terjadinya perbedaan konsentrasi kadar garam pada sel tanaman dengan di larutan tanah. Tipe luapan lahan pada kawasan tersebut umumnya termasuk tipe luapan A. Jadi selain masalah intrusi air asin pada puncak musim kemarau, juga cekaman banjir pada puncak musim hujan. Periode yang lebih aman untuk pertanaman padi adalah bulan Maret-Juni.

Tanah berpirit yang berada di lahan tipe luapan B, pemilihan jadwal tanam lebih bebas karena air tersedia sepanjang bulan. Pada musim kemarau, sumber air tetap ada di saluran sehingga dapat dilakukan pompanisasi atau dilakukan rekayasa pengaturan air dengan *sistem aliran satu arah dan tabat bertingkat (Sistak)*. Jadwal tanam bisa diatur untuk musim tanam I pada bulan Oktober-Februari dan untuk musim tanam II pada bulan Mei-Agustus. Pada tipe luapan B masih berpeluang untuk menerapkan IP-300 dengan bantuan pengaturan air yang baik dan penggunaan alsintan untuk mempercepat penanaman.

Pada lahan tipe luapan C, penanaman padi yang paling aman pada musim hujan, yaitu Nopember-Februari. Peningkatan IP dapat dilakukan menjadi IP-200 melalui bantuan pengaturan air dengan jadwal tanam MT I pada bulan Nopember-Februari dan MT II pada bulan Maret-Juni. Pada MT II dapat ditanam padi lokal dengan jadwal tanam Maret-Agustus (pola sawit dupa).

Peningkatan Produktivitas Padi

Masalah lahan tanah berpirit yang sering ditemui dalam meningkatkan produktivitas padi adalah banjir, kekeringan, kemasaman, keracunan Fe dan Al, dan kahat hara makro dan mikro. Untuk meningkatkan produktivitas padi, ada dua pendekatan yang dapat dilakukan, yaitu melalui: (a) penggunaan varietas toleran/adaptif dan berdaya hasil tinggi, dan (b) perbaikan pengelolaan lahan agar masalah lahan seperti keracunan besi dan aluminium serta kemasaman yang tinggi tidak muncul. Dalam pelaksanaan lapangan kedua pendekatan tersebut idealnya dilakukan secara terpadu.

Banjir dan kekeringan

Banjir umumnya terjadi di lahan berpirit tipe luapan A dan tipe luapan B yang berdrainase buruk. Dalam kondisi curah hujan di atas normal (biasanya terjadi pada bulan Desember-Pebruari), terjadi peningkatan ketinggian muka air saluran. Apabila drainase kurang baik, maka tanaman padi akan tenggelam. Sedangkan kekeringan umumnya terjadi di lahan berpirit tipe luapan C pada musim kemarau, akibatnya tanaman padi mengalami stagnasi pertumbuhan (Gambar 3), dan gabah menjadi hampa.



Gambar 3. Banjir pada lahan pasang surut tipe luapan B (foto kiri) dan kekeringan pada lahan berpirit rawa pasang surut tipe luapan C (foto kanan)

Antisipasi terhadap banjir tersebut, dapat dilakukan melalui: (a) perbaikan sistem tata air agar drainase air berjalan lancar, dan (b) penggunaan varietas padi yang adaptif dengan kondisi rendaman.

Perbaikan sistem tata air bersifat terpadu antara tata air mikro (di dalam area persawahan) dan tata air makro (area sistem tata air kawasan) agar gerakan air

drainase/irigasi lancar, dilakukan dengan menormalisasi saluran-saluran sekunder, tersier dan kuarter, dan membuat tanggul penahan gerakan air di sawah, penerapan sistem pintu tabat bertingkat sesuai topografi pada lahan tipe luapan C, penerapan sistem pintu kombinasi (pintu ayun dan pintu tabat) pada lahan tipe luapan B, dan penerapan sistem pintu stoplog (pintu ulir) pada lahan tipe luapan A. Contoh model pintu tabat limpas, pintu ulir, dan pintu sistak disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Contoh model pintu tabat/dam bertingkat (tabat limpas) pada tipe luapan C, pintu sistak pada lahan tipe luapan B, dan pintu ulir untuk lahan tipe luapan A.

Antisipasi terhadap gangguan pertumbuhan tanaman padi akibat genangan, dapat dilakukan dengan menanam padi yang toleran terhadap genangan hingga 6-14 hari pada fase vegetatif, yaitu varietas Inpara 3, 4, dan 5, dikombinasikan dengan penerapan sistim tata air (mikro dan makro) dan pengaturan jadwal tanam, yang tepat sesuai dinamika tinggi muka air hamparan persawahan. Saat ini varietas toleran kekeringan khusus untuk lahan rawa belum tersedia, namun beberapa varietas toleran kekeringan di lahan kering seperti Inpago 5, 8, 9, 10. Lipigo 4, 11 Agritan dapat diuji coba di lahan rawa pasang surut yang sering mengalami kekeringan. Deskripsi varietas padi gogo toleran kekeringan disajikan dalam Tabel 5, sedangkan varietas toleran rendaman disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 5. Deskripsi varietas padi gogo toleran kekeringan

Nama Varietas	Umur (hari)	Potensi Hasil (t/ha)	Toleran Terhadap Cekaman	
			Abiotik	Biotik
Inpago 5	118	6,2	Kekeringan, Al	Blas
Inpago 8	122	8,1	Kekeringan Al, Fe	Blas
Inpago 9	115	8,4	Kekeringan, Al	Blas, hawar daun
Inpago 10	115	7,3	Kekeringan, Al	Blas
Inpago Lipigo 4	113	7,1	Kekeringan	Blas
Inpago 11 Agritan	111	6,0	Kekeringan, Al	Blas, hawar daun bakteri

Sumber : Balitbangtan (2016)

Tabel 6. Deskripsi varietas padi Inpara

Nama Varietas	Umur (hari)	Potensi Hasil (t/ha)	Toleran Terhadap Cekaman	
			Abiotik	Biotik
Inpara 1	131	6,47	Fe dan Al	Wereng, hawar daun, blas
Inpara 2	128	6,08	Fe dan Al	Wereng, hawar daun, blas
Inpara 3	127	5,6	Fe dan Al, rendaman	Wereng, blas
Inpara 4	135	7,6	rendaman	Wereng, hawar daun
Inpara 5	115	7,2	rendaman	Hawar
Inpara 6	117	6,0	Fe	Blast dan hawar daun
Inpara 7	114	5,1	Fe dan Al	Tungro, blas
Inpara 8 Agritan	115	6,0	Fe	Hawar, blas
Inpara 9 Agritan	107	5,6	Fe	Hawar daun, tungro
Inpara 10 BLB	126	6,8	Fe	Hawar daun, blas

Sumber: Balitbangtan (2014; 2016)

Kemasaman dan keracunan Al

Senyawa pirit (FeS_2) bersifat stabil jika berada dalam kondisi tergenang alami seperti di hutan rawa, namun bila ada kegiatan pembuatan saluran/tanggul dalam pembukaan lahan sehingga senyawa pirit tersebut terangkat ke permukaan, akan terjadi oksidasi oleh oksigen yang menghasilkan asam sulfat, dan tanah menjadi sangat masam, dapat mencapai pH <3,5. Kemasaman yang tinggi mengakibatkan meningkatnya kelarutan ion toksik Al sehingga banyak ion fosfat yang diikat oleh ion Al membentuk ikatan Al-P yang tidak tersedia bagi tanaman. Menurut Enio *et al.* (2011), bila senyawa pirit teroksidasi akan menghasilkan ion H^+ sehingga sangat masam, meningkatkan kelarutan Al sehingga dapat meracuni tanaman, meningkatkan kelarutan Mn dan Fe, defisiensi P karena terikat oleh Al dan

Fe, serta menurunkan kation-kation basa tanah karena tercuci. Creeper *et al.* (2012) berpendapat bahwa keracunan Al terjadi karena tingginya serapan Al dalam tanaman akibat tingginya kelarutan ion tersebut dalam tanah. Konsentrasi 120 ppm Al sudah dapat meracuni tanaman padi, ditunjukkan dengan makin tertekannya pertumbuhan akar.

Menurut Cho *et al.* (2002), bila konsentrasi mencapai 240 ppm Al maka akan muncul gejala klorosis pada daun. Menurut Shamsuddin *et al.* (2013), bagian tanaman yang pertama kontak dengan ion Al adalah akar, dan bagian ini yang sensitif terhadap keracunan Al. Roslim *et al.* (2011) menyebutkan bahwa tanaman yang mengalami keracunan Al, sistem perakarannya tidak berkembang akibat perpanjangan sel akar terganggu. Bila cekaman Al lebih lama, akar tanaman akan menebal, menggulung dan pendek (Matsumoto 2000). Ryan dan Delhaize (2010) menyebutkan kerusakan akar dimulai pada saat ion Al masih berada di dinding sel, tanpa harus masuk ke dalam sel akar. Penelitian pengaruh konsentrasi Al dengan panjang akar telah dibuktikan oleh Harahap (2014), dimana semakin tinggi konsentrasi Al, semakin pendek akar tanaman.

Pencegahan terhadap terbentuknya kemasaman tanah, perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut: (a) kegiatan pembuatan saluran/tanggul harus memperhatikan kedalaman lapisan pirit tersebut, jangan menggali mencapai lapisan pirit, dan (b) mengatur tinggi muka air agar lapisan pirit tetap dalam kondisi reduktif (tergenang).

Lahan yang sudah mengalami oksidasi sehingga tanah menjadi masam ($\text{pH} < 4,0$), usaha untuk mengatasinya dalam budidaya padi adalah dengan (a) penggunaan padi toleran kemasaman dan keracunan Al, seperti padi varietas Inpara, (b) mencuci asam-asam dengan luapan air pasang atau air hujan, (c) pemberian bahan amelioran seperti kapur kalsit dan kapur dolomit, dan bahan organik, dan (d) pengolahan tanah minimum untuk menghindari terangkatnya lapisan pirit.

Berdasarkan deskripsi varietas padi Inpara, varietas padi yang toleran keracunan Al, yang identik dengan toleran terhadap kemasaman adalah Inpara 1, 2, 3 dan 7, namun hasil observasi lapangan umumnya hanya toleran pada tanah dengan pH sekitar 4,0-4,2. Pada pH yang lebih rendah dibutuhkan pemberian kapur yang cukup dan didukung tata air yang baik agar bisa tumbuh baik. Menurut Koesrini *et al.* (2014), beberapa varietas sebelumnya yang toleran kemasaman antara lain: Banyuasin, Dandang, Indragiri, Punggur, Siak Raya, Lambur dan Mendawak.

Mencuci asam-asam dari sawah berpirit dilakukan intensif sebelum tanam. Pada lahan tipe luapan B, pencucian menggunakan luapan air pasang, asam dikeluarkan saat air surut. Intensitas pencucian disesuaikan dengan tingkat kemasaman, semakin masam maka pencucian semakin intensif. Setelah dilakukan pengolahan tanah, dilakukan pencucian intensif, setiap hari saat air pasang, agar ion-ion toksik yang terangkat ke permukaan lahan saat pengolahan tanah ikut tercuci

saat air surut. Pada periode setelah tanam hingga akhir fase vegetatif, pencucian tetap dilakukan agar asam yang terbentuk ikut tercuci, namun pencucian selama periode tersebut memperhatikan kebutuhan tinggi muka air sawah yang diperlukan untuk mendukung aplikasi komponen teknologi lainnya, yang umumnya membutuhkan kondisi macak-macam beberapa hari agar aplikasi komponen teknologi tersebut efektif, seperti pemupukan dan penyemprotan herbisida. Tercucinya asam-asam dari tanah sulfat masam telah banyak dilaporkan oleh peneliti. Hasil penelitian Anwar (2006), selama periode pencucian, yang tercuci tidak hanya asam-asam tetapi juga hara yang diperlukan tanaman seperti N, K, Ca dan Mg, namun kekurangan hara tersebut dapat diatasi dengan memberikan pemupukan, seperti yang diungkapkan oleh Rachim *et al.* (2000), bahwa pencucian pada tanah sulfat masam merupakan upaya membuang ion-ion yang bersifat toksik dari lahan, seperti Al^{3+} , SO_4^{2-} , Mn^{2+} , Fe-bebas. Untuk mengatasi kemasaman dengan pengelolaan air telah banyak diungkapkan oleh para ahli, salah satunya oleh Dang *et al.* (2015).

Pencucian asam-asam di lahan berpirit tipe luapan C, dilakukan dengan air hujan pada awal musim hujan, yaitu bulan Oktober-Nopember, tanam mulai bulan Desember. Selama periode musim kemarau, antara bulan April-September, lahan atau tanggul yang terbentuk akan mengalami kekeringan. Kondisi ini akan memacu terjadinya oksidasi senyawa pirit sehingga terbentuk asam. Adanya guyuran air hujan pada awal musim hujan, menyebabkan asam yang terbentuk di lahan sawah dan tanggul melarut sehingga tanah sawah menjadi sangat masam, karena itu lahan dibiarkan tercuci selama 2-4 minggu agar asam-asam tercuci dari lahan. Agar pencucian asam berjalan lancar, maka perlu dibuatkan parit cacing dalam hamparan petak sawah dengan jarak antar parit 3-9 m, disertai saluran pengumpul berupa saluran keliling petak sawah. Semakin masam tanah, maka semakin rapat jarak antar parit cacing tersebut. Lahan yang mempunyai kedalaman lapisan pirit < 50 cm, maka jarak antar parit cacing 3m, sedangkan lahan yang mempunyai lapisan pirit antara 50-100 cm digunakan jarak 6 m, dan lahan sawah yang mempunyai lapisan pirit > 100 cm menggunakan jarak 9 m.

Selain penggunaan varietas toleran kemasaman dan pencucian asam-asam, pada lahan yang sangat masam ($\text{pH} < 4,0$), kapur perlu diberikan antara 0-3.000 kg/ha, dalam bentuk dolomit atau kalsit. Pemberian kapur ditujukan bukan untuk menaikkan pH tanah mencapai pH ideal pertumbuhan tanaman padi ($\text{pH} 6,0-6,5$), tetapi untuk memperbaiki kondisi kimia tanah disekitar perakaran dan memberikan tambahan unsur Ca dan Mg. Hasil pengkajian Anwar (2019) disebutkan pada lahan berpirit tipe luapan A tidak perlu diberikan kapur, karena gerakan pencucian asam berjalan intensif setiap hari sehingga asam tidak sempat menumpuk pada lapisan olah tanah; pada lahan berpirit tipe luapan B dengan berdrainase lancar dan $\text{pH} > 4,0$ cukup diberikan 500-1.000 kg/ha, karena asam-asam masih bisa tercuci saat pasang besar meluapi lahan; sedangkan pada lahan sawah berpirit yang

berdrainase kurang lancar dan pH tanah berada 3,5-4,0 sebaiknya diberikan dolomit sebanyak 1.500-2.000 kg/ha. Pada lahan berpirit tipe luapan C dengan drainase lancar diberikan kapur 2.000 kg/ha, sedangkan pada lahan tipe luapan C dengan drainase kurang lancar atau lahan bukaan baru diberikan kapur 3.000 kg/ha. Untuk menaikkan pH tanah menjadi pH ideal (pH 6,5) tanaman padi membutuhkan jumlah kapur yang sangat tinggi, bisa mencapai 15-20 ton per hektar, sehingga tidak ekonomis bagi petani. Tingginya kebutuhan kapur tersebut berkaitan dengan tingginya nilai ion Al dan H yang harus dinetralkan serta tingginya daya sangga tanah akibat tingginya kandungan bahan organik dalam tanah rawa. Beberapa hasil penelitian menunjukkan pemberian yang lebih besar dari yang dianjurkan, seperti hasil penelitian Suswanto *et al.* (2007) pemberian 4 ton/ha meningkatkan produktivitas padi di lahan sulfat masam. Namun pemberian dosis tinggi bersifat tidak aplikatif terkait biaya yang tinggi dan kebutuhan tenaga kerja yang besar dalam aplikasi kapur.

Keracunan besi

Syarat terjadinya keracunan besi pada tanaman padi memerlukan tiga kondisi, yaitu (1) sumber besi yang cukup untuk menciptakan keracunan, (2) rendahnya daya toleransi padi terhadap ion besi, dan (3) terciptanya kondisi reduktif pada sawah sebagai pemacu peningkatan kelarutan besi ferro (Fe^{2+}).

Sumber besi utama di lahan berpirit adalah pirit itu sendiri (FeS_2). Pada musim kemarau senyawa pirit teroksidasi sehingga terbentuk besi ferri (Fe^{3+}), namun saat adanya genangan pada musim hujan, bila tercipta kondisi reduktif maka besi ferri akan tereduksi menjadi besi ferro. Bila kelarutan besi ferro tersebut konsentrasinya melebihi daya toleransi tanaman padi maka akan muncul gejala keracunan besi. Hasil penelitian Lubis *et al.* (2011) menggunakan larutan Yoshida menunjukkan bahwa dengan konsentrasi 325 ppm, padi varietas Inpara 2 mengalami gejala keracunan besi. Namun banyak penelitian lain menemukan konsentrasi yang berbeda, hal ini menunjukkan bahwa batas toksisitas konsentrasi besi dalam tanah sangat bervariasi, umumnya ditentukan oleh daya toleransi varietas, tingkat pertumbuhan tanaman, dan tingkat kemasaman tanah. Dent (1986) menyebutkan bahwa kadar 500 ppm Fe^{2+} dalam tanah sudah membuat tanaman padi mengalami gejala keracunan Fe, sedangkan Nozoe *et al.* (2008) mendapatkan angka 500-2.000 ppm Fe. Penelitian lain, Sahrawat (2004) menyebutkan tanaman padi keracunan pada tanah dengan konsentrasi 100 ppm Fe pada pH 3,7; dan 300 ppm Fe pada pH 5,0; dan konsentrasi Fe dalam jaringan tanaman yang mengalami keracunan besi berkisar 300-500 ppm.

Keracunan besi pada tanaman padi, diantisipasi dengan memperlancar drainase air persawahan. Ion besi pada persawahan bisa dicuci dengan baik sehingga tidak tercapai konsentrasi besi yang dapat meracuni tanaman padi. Selain

itu, pemicu kondisi reduktif lainnya adalah adanya dekomposisi bahan organik mentah seperti jerami padi. Dalam proses dekomposisi akan dihasilkan elektron sehingga tanah menjadi lebih reduktif dan mendorong terjadinya reduksi besi ferri menjadi besi ferro. Untuk mempercepat proses dekomposisi jerami padi atau gulma lainnya menggunakan mikroba dekomposer agar saat tanam, bahan organik tersebut sudah berada dalam kategori sudah masak (matang) dan dapat berfungsi sebagai pengikat besi ferro melalui mekanisme khelatisasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Ye *et al.* (2009) bahwa bahan organik seperti jerami padi merupakan sumber energi utama bagi bakteri pereduksi besi, dan keberadaan bahan organik menentukan laju reduksi Fe^{3+} , bahan organik dapat berperan sebagai pemicu reduksi dan sebagai pengkhelat besi, dan De-Yin *et al.* (2010) berpendapat bahwa peran bahan organik menurun seiring proses dekomposisi bahan organik. Menurut Davranche *et al.* (2013) dan Chen *et al.* (2014) adanya pengkhelatan Fe oleh bahan organik akan menurunkan reaktivitas Fe serta menurunkan readopsi Fe dan laju pelarutan Fe.

Antisipasi munculnya gejala keracunan besi pada persawahan juga perlu dilakukan melalui penggunaan varietas padi toleran keracunan besi. Hasil deskripsi varietas padi Inpara 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 dan 10 yang dilakukan oleh Balitbangtan (2014; 2016) menunjukkan bahwa varietas-varietas tersebut toleran terhadap keracunan besi. Deskripsi varietas Inpara dapat dilihat dalam Tabel 5. Hasil penelitian Lubis *et al.* (2011) dan Koesrini *et al.* (2018), menunjukkan bahwa varietas Inpara 1 dan 4 paling toleran terhadap keracunan besi (kadar Fe 325 ppm) dibanding varietas Inpara 2. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa varietas Inpara 1 dan 4 lebih cocok ditanam pada lahan sawah berpirit yang drainasenya kurang lancar atau pada lahan sawah bukaan baru. Beberapa varietas lama juga toleran terhadap keracunan Fe, menyebutkan varietas tersebut adalah Margasari, Indragiri, Tenggulang, Lambur, dan Banyuasin (Noor *et al.*, 2007), Mahakam, Lematang, Batanghari, Dendang, Punggur, Martapura, Siak Raya, dan Mendawak. (Koesrini *et al.*, 2014).

Kekurangan hara

Hara makro (N, P, K, Ca, Mg, dan S) dan hara mikro (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B) diperlukan oleh tanaman padi untuk berbagai aktivitas dalam rangka mendukung pertumbuhan tanaman. Secara umum, lahan berpirit mempunyai kandungan hara makro dan beberapa hara mikro yang rendah. Adanya kemasaman tanah akibat oksidasi senyawa pirit mengakibatkan kelarutan P menurun karena terikat dalam bentuk Al-P dan menurunnya kelarutan Ca, Mg, Mo, dan terhambatnya fiksasi Nitrogen, serta hara lebih mudah tercuci. Namun terjadi peningkatan kelarutan Al, Mn, dan Zn pada lahan kondisi kering (oksidasi) dan kadar S dan Fe^{2+} pada kondisi tergenang (reduktif) sehingga dapat meracuni tanaman padi. Kelarutan ion besi yang tinggi dapat menyelimuti permukaan akar sehingga ion hara lain sulit diserap oleh akar, akibatnya terjadi kahat multi hara.

Pemupukan merupakan cara untuk mengatasi kekurangan hara. Anwar (2019) menyimpulkan bahwa diantara hara tanaman padi, maka (a) pupuk N yang paling jelas pengaruhnya terhadap produktivitas padi; (b) pengaruh pemberian pupuk fosfat sangat tergantung kandungan cadangan P-tanah, (c) pengaruh pemberian pupuk K terhadap produktivitas lebih terlihat pada sawah kekurangan hara K dan rawan keracunan besi, (d) pemberian Ca dan Mg dapat dilakukan sebagai bahan amelioran, diberikan sebelum tanam, (e) pemberian pupuk mikro dan silika tergantung status hara tersebut dalam tanah, dan pemberian pupuk mikro majemuk ZnO_2 dan CuO dapat meningkatkan produktivitas padi dan menurunkan kadar besi tanah, dan (f) pengembalian jerami ke sawah akan menyumbangkan hara N, P, K, S, Si dan C.

Pendekatan takaran pemberian dapat dilakukan melalui tiga cara, yaitu (a) berdasarkan hasil penelitian tiap zona agroekologi rawa (tipologi lahan dan tipe luapan air), (b) berdasarkan hasil analisis tanah kemudian ditentukan takarannya dengan aplikasi DSS (*Decision Support System*), dan (c) berdasarkan alat perangkat uji tanah rawa (PUTR). Berdasarkan hasil penelitian yang dirangkum oleh Balittra (2011), takaran pemupukan N, P, K di lahan sulfat masam 150-250 kg Urea/ha (67,5-112,5 kg N/ha); 150-200 kg SP36/ha (54-72 kg P_2O_5 /ha); 50-100 kg KCl/ha (30-60 K_2O per ha); sedangkan di lahan potensial 100-150 kg Urea/ha (45-67,5kg N/ha); 75-125 kg SP36/ha (27-45kg P_2O_5 /ha); 50 kg KCl/ha (30 K_2O /ha). Sedangkan berdasarkan aplikasi DSS sangat tergantung hasil analisis tanah area persawahan yang akan dilakukan pemupukan. Untuk aplikasi yang lebih praktis dapat digunakan alat PUTR, merupakan suatu alat analisis kandungan N, P dan K tanah secara kualitatif berdasarkan warna sehingga bisa menentukan status hara: rendah, sedang dan tinggi, kemudian diberikan pupuk sesuai rekomendasi berdasarkan status hara tersebut. Hasil penelitian Anwar (2019) mendapatkan pemberian pupuk majemuk mikro dalam bentuk oksida (ZnO_2 dan CuO) dapat menurunkan kelarutan Fe dan meningkatkan produktivitas padi Inpari 30 dan Inpara 2 pada lahan berpirit rawan keracunan besi.

Pengelolaan air

Para ahli rawa telah lama menyimpulkan bahwa pengelolaan air merupakan kunci sukses pengembangan lahan rawa. Pengelolaan air dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu tata air makro dan mikro. Tata air makro merupakan tata air yang mengatur ketersediaan pada skala saluran primer, sekunder dan tersier, yang selama ini ditangani oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), sedangkan tata air mikro merupakan tata air skala pada hamparan persawahan yang selama ini ditangani oleh Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura (Distanhor). Namun belakangan, saluran tersier juga ditangani oleh Distanhor.

Pengelolaan air pada sistem tata air makro adalah bagaimana membuat saluran beserta bangunan pintu pengaturnya agar air sungai yang berkualitas baik bisa masuk sampai ke saluran tersier/kuarter dan racun-racun yang keluar dari sawah bisa tercuci dan larut ke saluran primer atau sungai, tersedia air berkualitas baik (tidak masam dan tidak asin) untuk memenuhi kebutuhan tanaman padi, serta tidak menyebabkan banjir dan kekeringan. Untuk mendukung tujuan tersebut dibutuhkan penataan saluran dalam satuan kawasan hidrologi. Selama ini dikenal dua sistem tata air makro, yaitu sistem garpu dan handil di pulau Kalimantan dan sistem sisir di pulau Sumatera. Hasil observasi lapangan pada kedua sistem tata air tersebut, terlihat bahwa sistem sisir lebih baik daripada sistem garpu. Bila dilihat kondisi lapangan, dimana sirkulasi air pasang belum berjalan dengan baik, maka sistem tata air makro yang ada sekarang perlu dibenahi agar berfungsi kembali dengan cara melakukan normalisasi saluran beserta bangunan pintunya.

Tata air mikro merupakan tata air yang ada di persawahan, dengan sarana pengaturan berupa saluran keliling, saluran kemalir/parit cacing, dan pipa paralon pengatur inlet/outlet. Tata air mikro berfungsi untuk mengatur air agar ketinggian muka air sawah bisa diatur sesuai kebutuhan aplikasi komponen teknologi. Setiap komponen teknologi budidaya memerlukan pengaturan air, sebagian menghendaki kondisi macak-macam saat aplikasi komponen teknologi tersebut, seperti penyemaian, tanam, pemupukan dan ameliorasi, penyiangan gulma dan penyemprotan pestisida. Sedangkan saat pengolahan tanah membutuhkan adanya genangan 5-15 cm dari muka tanah, dan saat memasuki fase masak kuning hingga panen membutuhkan kondisi lahan dalam keadaan kering agar cepat matang.

PENUTUP

Lahan berpirit yang dicirikan oleh senyawa pirit umumnya terdapat di lahan rawa pasang surut, tersebar di sepanjang kawasan pantai pulau Sumatera, Kalimantan, Papua dan Sulawesi. Sebagian lahan tersebut telah dimanfaatkan untuk pengembangan tanaman padi, namun produktivitasnya masih rendah.

Senyawa pirit jika dalam kondisi teroksidasi (kering) akan menghasilkan asam, sehingga tanah menjadi sangat masam, kelarutan ion meracun meningkat, sedangkan kelarutan unsur-unsur hara menurun, akibatnya produktivitas padi menjadi rendah. Asam-asam yang tercuci ke saluran air mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan, air menjadi sangat masam, terbentuk banyak karat besi dan kehidupan biota perairan terganggu.

Masalah tanah dan air di lahan berpirit dapat diatasi melalui penerapan teknologi secara simultan agar terjadi peningkatan produktivitas padi, antara lain: (a) pemilihan lahan pengembangan dengan kedalaman lapisan pirit > 50 cm, (b) penerapan sistem tata air; (c) pengolahan tanah minimum; (d) pengaturan air; (e)

penggunaan padi rawa toleran kemasaman, keracunan Al dan Fe; dan (f) ameliorasi dan pemupukan berimbang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian atas dukungan penyusunan naskah ini. Terima kasih disampaikan kepada teman peneliti yang telah memberikan masukan untuk perbaikan naskah ini, juga terima kasih kepada Tim Penyunting dan Redaksi Pelaksana yang dengan gigih melakukan pekerjaannya hingga naskah ini bisa diterbitkan. Dalam naskah ini Khairil Anwar adalah sebagai kontributor utama, dan Masganti sebagai kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, K. 2006. Peningkatan Kualitas Tanah Sawah dan Air Buangan di Saluran Drainase Pada Tanah Sulfat Masam. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. 186 hlm.
- Anwar, K. dan Mawardi. 2012. Dinamika tinggi muka air dan kemasaman air pasang surut saluran sekunder sepanjang sungai Barito. *Jurnal Tanah dan Iklim*. Edisi Khusus: 1-12.
- Anwar, K. 2019. Pengelolaan lahan di lahan rawa lebak dan pasang surut. Disampaikan pada Focus Group Discussion Tata Kelola Infrastruktur Pertanian, pada tanggal 23 Juli 2019 di Banjarbaru.
- Balittra. 2011. Setengah Abad Balittra: Rawa Lumbung Pangan Menghadapi Perubahan Iklim. Banjarbaru: Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. 71 hlm.
- Balitbangtan. 2014. Deskripsi Varietas Unggul Tanaman Pangan 2009-2014. Balitbangtan, Puslitbangtan, Kementerian Pertanian. Jakarta. 150 hlm.
- Balitbangtan. 2016. Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi. Inbrida Padi Sawah (INPARI), Hibrida Padi (HIPA), Inbrida Padi Gogo (INPAGO), Inbrida Padi Rawa (INPARA) Balitbangtan, Kementerian Pertanian, Jakarta. 90 hlm.
- BBSDLP. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi. Edisi 1. Badan Litbang Pertanian. Jakarta. 62 hlm.
- Chen, C.J., Dynes, J., Wang, J., and Sparks, D.L. 2014. Properties of Fe-organik matter associations via coprecipitation versus adsorption. *Environ. Sci. Technol.* 8(23): 13751-13759.
- Cho, K.M., Ranamukhaarachchi, and Zoeibisch, M.A. 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.
- Creep, N.L., Shand, P., Fitzpatrick, R.W., and Hutson, J. 2012. Behaviour of iron, aluminium and other selected metals following the rewetting of Inland Acid Sulfate Soil containing sulfuric material. *In Osterholm et al. (Eds.): 7th International Acid Sulfate Soils Conference in Vassa, Finland. Towards*

Harmony between Land Use and the Environment, Geological Survey of Finland, Guide 56: 26-28.

- Dang, T., Mosley, L.M., Fitzpatrick, R., and Marschner P. 2015. Organic material differ in ability to remove protons, Iron and aluminium from acid sulfate soil drainage water. *Water, Air and Soil Pollutions*. p. 357.
- Davranche, M., Dia, V., Fakihi, M., Nowack, B., Gruau, G., Ona-anguema, G., Petitjean, P., Martin, S., and Hochreutener, R. 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. 1986. *Acid Sulphate Soils. A Baseline for Research and Development*. International Land Reclamation Institute. Wageningen Publ. No.39. The Netherlands. 204 Hlm.
- De-Yin, Zhuang, H.L., Wei-Dong, C., Xu, W., Shun-Gui, Z, and Fang-Bai, L. 2010. Comparison of dissolved organic matter from sewage sludge dan sludge compost as electron shuttles for enhancing Fe (III) bioreduction. *J. Soil Sediments* 10: 722-729.
- Enio, M.S.K., Shamshuddin, J., Fauziah, C.I., and Husni, M.H.A. 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.
- 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 hlm.
- Koesrini, William, E., dan Khairullah, I. 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*. Balitbangtan. BBSDLP. Bogor.
- Koesrini, Saleh, M., Thamrin, M. 2018. Adaptasi agronomi padi unggul varietas Inpara pada lahan rawa pasang surut. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 2(2): 77-83. Doi: 10.21082/jpptp.v2n2.2018.p77-83
- Lubis, I., Noor, A., Ghulamahdi, M., Chozin, M.A., Anwar, K., and Wirnas, D. 2011. Screening method for iron tolerant rice suited for tidal swamps area. *J. ISSAAS* 22 (1): 30-41.
- Masganti dan Anwar, K. 2018. Teknologi peningkatan produksi tanaman hortikultura di lahan gambut. Hlm 323-347. *Dalam Masganti et al. (Eds.): Inovasi Teknologi Lahan Rawa: mendukung kedaulatan pangan*. IAARD Press.
- Matsumoto, H. 2000. Cell biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plant. *Int Rev Cytol* 200: 1-46.
- Mulyani, A. dan Hidayat A. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan di lahan kering. *Dalam Sumarno dan Nata Suharta (Eds.): Analisis Sumberdaya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan*. Badan Litbang Pertanian, Jakarta. Hlm. 53-69.
- Mulyani, A., Ritung, S. dan Las, I. 2011. Potensi dan ketersediaan sumberdaya lahan untuk mendukung ketahanan pangan. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 30(2): 73-80.

- Noor, M. 2004. Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta. 241 hlm.
- Noor, A., Saderi, D.I., and Khairuddin. 2007. Keragaan beberapa varietas unggul padi di lahan rawa pasang surut sulfat masam. Hlm 67-84. *Dalam Sabran et al. (Ed.): Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa: Revitalisasi Kawasan PLG dan Lahan Rawa Lainnya untuk Membangun Lumbung Pangan Nasional, Kuala Kapuas 3-4 Agustus 2007. Balitbangtan-Pemda Kab. Kapuas, Kalimantan Tengah.*
- Nozoe, T., Fukuta, Y., Agbisiti, R., Rodriquez, R., and Yanagihara, S. 2008. Characteristics of iron tolerance rice lines developed at IRRI under field condition. *JARQ*, 42:187-192.
- Nugroho, K. dan Suriadikarta, D.A. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan lahan rawa. Hlm. 71-87. *Dalam Sumarno dan Suharta (Eds.) Analisis Sumberdaya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Balitbangtan, Jakarta.*
- Rachim, A., Murtiaksiono, K., Sastiono, A., and Sudradjat. 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 IPB. Bogor. 232 Hlm.
- Reddy, K.R., and Delaune, R.D. 2008. The Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications. CRC Press, New York, USA. 779p.
- Ritung, S. 2011. Karakteristik dan sebaran lahan sawah di Indonesia. Hlm 83-98. *Dalam Adhi et al. (Eds.): Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi. BBSDLP, Bogor.*
- Roslim, D.I., Alex, H., Aswidinoor, H., Miftahudin, dan Suharsono, U. 2008. Karakter root re-growth sebagai parameter toleransi Aluminium pada tanaman padi. *J. Natur Indo* 13: 82-88.
- Ryan, P.R. and Delhaize E. 2010. The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. *Functional Plant Biology*, 37: 275-284.
- Sahrawat, K.L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *J. of Plant Nutrition*. 27: 147-154.
- 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.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th Edition. Washington DC: Natural Resources Conservation Service-United States Department of Agricultural. 359 p.
- Subagjo, H. dan Widjaja-Adhi I.P.G. 1998. Peluang dan kendala penggunaan lahan rawa untuk pengembangan pertanian di Indonesia: kasus Sumatera Selatan dan Kalimantan Tengah. Makalah Utama Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat, 10 Pebruari 1998 di Bogor.
- Subagyo, H. 2006. Lahan rawa pasang surut. Hlm. 23-88. *Dalam Suriadikarta, D.A., Kurnia, U., Mamat, H.S., Hartatik, W., dan Setyorini D. (Eds.): Karakteristik dan Pengelolaan Rawa. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.*

- Subba, Rao N.S. 1994. Soil Microorganism and Plant Growth. Oxford and IBH Publ. C, New Delhi.
- Suswanto, T., Shamsuddin, J., Omar, S.R.S., Mat, P., and The, C.B.S. 2007. Effects of lime and fertilizer application in combination with water management on rice (*Oryza sativa*) cultivated on an acid sulfate soil. Malaysian Journal of Soil Science, 11: 1-16.
- Suyanto, Zaini Z. 2010. Kapasitas produksi bahan pangan pada lahan sawah irigasi dan tadah hujan. Hlm. 25-52. *Dalam* Sumarno dan Nata Suharta (Eds.): Analisis Sumberdaya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Widjaja-Adhi I.P.G. 1995. Potensi, Peluang dan Kendala Perluasan Areal Pertanaman di Lahan Rawa Kalimantan dan Irian Jaya. Seminar Perluasan Areal Pertanian di KTI, PII, Serpong 7-8 November 1995.
- Ye Y., Volker, C., and Wolf-Gladrow, D.A. 2009. A model of Fe speciation and biogeochemistry at the Tropical Eastern North Atlantic Eastern North Atlantic Time Series Observatory Site. Biogeosciences 6: 2041-2061.