

Fenomena perubahan iklim menunjukkan semakin kuat dalam masa-masa sepuluh tahun terakhir ini. Anomali iklim seperti El Nino dan/atau La Nina semakin sering dengan waktu ulang yang semakin pendek. El Nino atau La Nina yang dalam lima puluh tahun terakhir (1950-2000) sering terjadi dalam kurun waktu lima tahunan. Dalam sepuluh tahun terakhir sering terjadi hanya dalam kurun waktu 2-3 tahun. Perubahan iklim menjadi salah satu ancaman terhadap sektor pertanian baik produksi pangan secara khusus maupun produksi pertanian secara umum. Perubahan iklim adalah kondisi beberapa unsur iklim yang magnitude dan/atau intensitasnya cenderung berubah atau menyimpang dari dinamika dan kondisi rata-rata, menuju ke arah tertentu (meningkat atau menurun).

Pengaruh perubahan iklim terhadap sektor pertanian bersifat multi dimensional. Pengaruhnya dimulai terhadap aspek sumberdaya, infrastruktur pertanian, dan sistem produksi pertanian yang akhirnya berpengaruh pula terhadap aspek ketahanan dan kemandirian pangan, serta kesejahteraan petani dan masyarakat pada umumnya. Pengaruh tersebut dapat dibedakan atas dua indikator, yaitu kerentanan dan dampak. Secara harfiah kerentanan terhadap perubahan iklim adalah kondisi yang dapat mengurangi kemampuan (manusia, tanaman, dan ternak) beradaptasi dan/atau menjalankan fungsi fisiologis/biologis, perkembangan fenologi pertumbuhan dan produksi serta reproduksi secara optimal akibat cekaman perubahan iklim. Sedangkan dampak perubahan iklim adalah gangguan atau kondisi kerugian dan keuntungan, baik secara fisik maupun sosial dan ekonomi, yang disebabkan oleh cekaman perubahan iklim (Balitbangtan, 2011a; Balitbangtan, 2011b).

Uraian berikut mengemukakan keterkaitan antara pengembangan lahan rawa, termasuk sistem surjan dengan perubahan iklim, yaitu berbagai upaya adaptasi dan mitigasi dalam menghadapi perubahan iklim serta menyajikan informasi dan hasil penelitian terkait dengan stok karbon dan emisi GRK yang terjadi di lahan rawa dan sistem surja

6.1. Dampak Perubahan Iklim terhadap Sektor Pertanian

Dampak perubahan iklim secara langsung terhadap sumberdaya pertanian dapat berupa terjadinya degradasi dan penyusutan sumberdaya lahan, dinamika dan anomali ketersediaan air, dan kerusakan sumberdaya genetik/biodiversity. Dampak tersebut dapat berupa penurunan produktivitas dan produksi sehingga mengganggu sistem ketahanan pangan nasional. Dampak tidak langsung sebagian besar disebabkan oleh adanya dampak

komitmen atau kewajiban melaksanakan mitigasi, seperti tertuang dalam RAN-GRK, Perpres No. 61 tahun 2011, yang berpengaruh terhadap produktivitas/produksi, ketahanan pangan, pengembangan bioenergi, dan sosial-ekonomi. Inpres No. 6/2013 (Pengganti Inpres No.10/2011) tentang moratorium pembukaan hutan produksi dan lahan gambut yang berdampak terhadap program perluasan areal baru. Dalam konteks yang lebih luas, perubahan iklim terkait dengan kebijakan nasional maupun internasional, harga pangan, dan sebagainya (Balitbangtan, 2011b).

Berdasarkan sifatnya, dampak perubahan iklim global terhadap sektor pertanian dibedakan atas: (1) dampak yang bersifat continue, berupa kenaikan suhu udara, perubahan hujan, dan kenaikan salinitas air tanah untuk wilayah pertanian dekat pantai yang akan menurunkan produktivitas tanaman dan perubahan panjang musim yang mengubah pola tanam dan indeks penanaman; (2) dampak yang bersifat discontinue seperti meningkatnya gagal panen akibat meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim (banjir, kekeringan, angin kencang, dll) dan meningkatnya gagal panen akibat munculnya serangan atau ledakan hama penyakit baru tanaman; dan (3) dampak yang bersifat permanen berupa berkurangnya luas kawasan pertanian di kawasan pantai akibat kenaikan muka air laut (Boer *et al.* 2011).

6.2. Stok Karbon dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Sistem Surjan

6.2.1. Stok karbon di lahan rawa

Stok karbon di lahan rawa paling besar berada pada tanah gambut yang tersebar mulai dari lapisan permukaan sampai lapisan dasar gambut (Agus dan Subiksa, 2008). Walaupun cadangan karbon tersebut bersifat labil, yakni mudah teremisi jika terjadi gangguan terhadap kondisi alaminya. Oleh karena itu sebagian ahli berpendapat lahan gambut merupakan salah satu sumber emisi terbesar di Indonesia sehubungan dengan pesatnya pemanfaatannya untuk pertanian khususnya perkebunan. (Hooijer *et al.*, 2010; WWF, 2008),

Cadangan karbon dalam tanah gambut (*below ground C-stock*) bervariasi tergantung proses pembentukan dan keadaan lingkungan. Page *et al.* (2002) menyatakan rata-rata kandungan C pada tanah gambut sekitar 60 kg C m^{-3} atau ekuivalen dengan 600 t C ha^{-1} untuk setiap meter ketebalan gambut. Di daerah tropis cadangan C dalam tanah gambut bervariasi antara 250 t/ha untuk gambut tipis ($<0,5 \text{ m}$) sampai lebih dari 5000 ton/ha untuk gambut sangat dalam ($>10 \text{ m}$). Untuk setiap satu meter kedalaman gambut tersimpan sekitar $300\text{-}700 \text{ ton C/ha}$ (Agus *et al.*, 2010; Wahyunto *et al.*, 2003, 2004).

Menurut Agus *et al.* (2011) cadangan karbon pada gambut di Indonesia sekitar 27 Gt jauh lebih kecil dari data sebelumnya yang menyatakan 45-46 Gt.

Selain ketebalan gambut, tingkat kematangan gambut juga berpengaruh terhadap cadangan karbon dalam suatu volume tertentu. Hasil penelitian Agus *et al.* (2010) di Kalimantan Barat menunjukkan rata-rata kerapatan karbon (carbon density) gambut dengan tingkat kematangan saprik $>65 \text{ kg C m}^{-3}$, sedangkan rata-rata kerapatan karbon gambut dengan tingkat kematangan fibrik rata-rata $< 40 \text{ kg C m}^{-3}$. Cadangan karbon di lahan gambut juga tersimpan dalam biomasa tanaman (*above ground C-stock*). Nilai cadangan karbon dalam biomasa tanaman sangat bervariasi, tergantung pada keragaman dan kerapatan tanaman, kesuburan tanah, kondisi iklim, ketinggian tempat dari permukaan laut, lamanya lahan dimanfaatkan untuk penggunaan tertentu, serta cara pengelolaannya (Haeriah dan Rahayu, 2009). Umur tanaman juga sangat menentukan besarnya cadangan karbon dalam tanaman, oleh karena itu Tomich *et al.* (1998) menyarankan untuk menggunakan nilai rata-rata waktu (*time average*) untuk membandingkan cadangan karbon pada berbagai jenis penggunaan lahan. Oleh karena itu, apabila lahan gambut tidak dikelola dengan baik maka dikhawatirkan akan menimbulkan emisi jutaan ton karbon ke udara akibat teroksidasinya tanah gambut dalam bentuk CO_2 dan yang dihasilkan dari perombakan bahan organik secara anaerob dalam bentuk CH_4 .

Hasil penelitian Nurzakiah *et al.* (2013) menunjukkan bahwa hubungan antara cadangan karbon dengan ketebalan gambut, tingkat kematangan, dan kadar abu. Cadangan karbon meningkat dengan semakin tebal dan matangnya gambut. Cadangan karbon pada gambut saprik lebih tinggi dibandingkan dengan hemik dan fibrik dengan rasio 1.75 : 1.5 : 1 (gambut pasang surut) dan 2.15 : 1.4 : 1 (gambut lebak/pedalaman). Cadangan karbon pada gambut pasang surut dengan hanya memperhitungkan ketebalan gambut tanpa sisipan tanah mineral masing-masing untuk (1) lahan karet rakyat/terlantar berkisar $5016.49 \pm 468.35 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 439-625 cm, sisipan tanah mineral 50-350 cm), (2) lahan karet + nenas berkisar $3989.54 \pm 233.39 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 523-574 cm, tanpa sisipan tanah mineral,) dan (3) semak belukar berkisar $3401.71 \pm 336.82 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 196-521 cm, sisipan tanah mineral 250-350 cm). Cadangan karbon pada gambut pedalaman (lebak) dengan hanya memperhitungkan ketebalan gambut tanpa sisipan tanah mineral masing-masing untuk (1) lahan padi berkisar $929.61 \pm 185.18 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 72-481 cm, sisipan tanah mineral 17-19 cm), (2) lahan karet berkisar $2021.56 \pm 133.59 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 287-465 cm, sisipan tanah mineral 3-24 cm), dan (3) gambut alami berkisar $1631.01 \pm 91.62 \text{ t/ha}$ (ketebalan gambut 280-323 cm, sisipan tanah mineral 11 cm)

Besar kecilnya cadangan karbon di lahan rawa lebak tergantung pada ketebalan gambut, penggunaan lahan, dan sisipan tanah mineral. Misalnya, di lahan rawa lebak

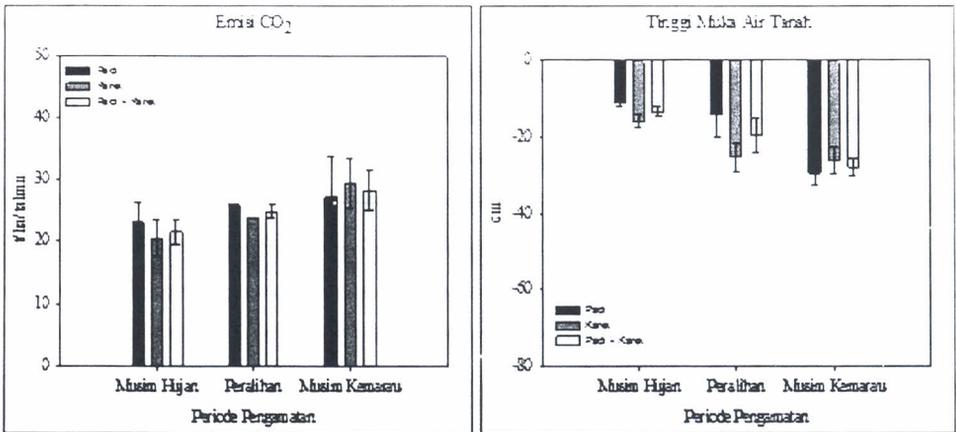
sepanjang aliran sungai Batu Mandi, Hulu Sungai Utara, Kalsel dengan ketebalan gambut 72-481 cm, sisipan tanah mineral 17-19 cm, dan lahan yang ditanami padi cadangan karbonnya sebesar 929.61 ± 185.18 t/ha. Sementara itu untuk ketebalan gambut 287-465 cm, sisipan tanah mineral 3-24 cm, dan lahan yang ditanami karet cadangan karbonnya sebesar 2021.56 ± 133.59 t/ha; sedangkan ketebalan gambut 280-323 cm, sisipan tanah mineral 11 cm, dan lahan gambut alami cadangan karbonnya sebesar 1631.01 ± 91.62 t/ha (Nurzakiah *et al.*, 2012).

6.2.2. Emisi gas rumah kaca di lahan rawa

Dalam kaitannya dengan lahan gambut, GRK yang menjadi sorotan adalah CO_2 , CH_4 dan N_2O . Gas CO_2 dan CH_4 merupakan produk dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba pendekomposisi dan mikroba methanogen di gambut masing-masing pada kondisi kering (aerob) dan tergenang (anaerob). Potensial redoks tanah (Eh) merupakan faktor penting yang mengontrol pembentukan CH_4 . Pengeringan lahan setelah penggenangan yang terus-menerus akan menyangga penurunan potensial redoks karena peningkatan difusi oksigen dan pada akhirnya dapat menghambat pembentukan CH_4 di rizosfir tanah.

Emisi N_2O dihasilkan dari denitrifikasi NO_3^- menjadi N_2O dan atau N_2 yang dipengaruhi oleh kelembaban tanah, suhu, ruang pori yang terisi air dan konsentrasi N mineral serta nilai Eh (Melling *et al.*, 2007). Menurut Nykanen (2003) emisi N_2O pada lahan gambut alami tergolong rendah (< 4 mg $\text{N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{th}$) karena ketersediaan nitrit rendah. Pada sistem pertanian di lahan gambut dengan masukan pupuk N (urea, pupuk kandang) tinggi akan meningkatkan mineralisasi nitrogen yang menghasilkan nitrat dan N_2O . Berdasarkan pengukuran Syvasalo *et al.* (2002), emisi pada lahan pertanian di gambut untuk N_2O antara 0,5-3,7g/m²/th.

Pada lahan rawa lebak bertanah gambut dengan tinggi muka air tanah antara -9.8-31.2 cm yang digunakan untuk tanaman padi dan karet, emisi CO_2 nya rata-rata sebesar 25.02 t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{tahun}$ (Gambar 32). Hirano *et al.* (2009) melaporkan bahwa emisi CO_2 dari gambut tropik sangat bervariasi tergantung pada musim dan nilai pH dan Eh tanah. Lahan rawa lebak selain mempunyai potensi sumber cadangan karbon, juga dapat sebagai penyumbang emisi GRK (CO_2 dan CH_4). Emisi CO_2 di lahan rawa lebak Hulu Sungai Utara, Kalsel dilaporkan antara 140-804 mg C/m²/jam atau mencapai 1.241-3.126 g C/m²/tahun, sedang emisi CH_4 antara 0.1-8.01 mg C/m²/jam atau mencapai 3.0-18.0 g/m²/tahun (Hadi, 2006).



Gambar 35. Emisi CO₂ dan tinggi muka air tanah pada beberapa penggunaan lahan rawa lebak (Nurzakiah et al., 2013)

6.3. Adaptasi dan Mitigasi terhadap Perubahan Iklim di Lahan Rawa

Dalam menghadapi atau mengatasi perubahan iklim dapat dilakukan upaya adaptasi dan mitigasi. Adaptasi secara harfiah diartikan sebagai kemampuan menyesuaikan dengan keadaan yang terjadi secara aktual. Dalam konteks perubahan iklim, adaptasi adalah kemampuan suatu sistem (termasuk ekosistem, sosial ekonomi, dan kelembagaan) untuk menyesuaikan dengan dampak perubahan iklim, mengurangi kerusakan, memanfaatkan kesempatan, dan mengatasi konsekuensinya (IPCC, 2011). Mitigasi secara harfiah diartikan upaya pengurangan. Dalam konteks perubahan iklim, mitigasi diartikan tindakan untuk mengurangi intensitas kekuatan radiasi dan potensi pemanasan global atau tindakan aktif untuk mencegah/memperlambat perubahan iklim (pemanasan global) melalui upaya penurunan emisi dan atau peningkatan penyerapan gas rumah kaca (Kementan, 2008).

Sistem surjan merupakan paket teknologi di lahan rawa yang benar-benar adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim. Bersifat adaptif karena komponen teknologi dalam sistem surjan telah beradaptasi terhadap perubahan iklim. Ada bagian yang ditinggikan (guludan) dan ada pula bagian yang digali (tabukan) dalam sistem surjan merupakan antisipasi petani terhadap risiko kekeringan dan banjir. Demikian pula sistem surjan bersifat mitigatif karena komponen teknologi di dalamnya mampu memitigasi gas rumah kaca. Di bagian guludan yang kering (oksidatif) tidak akan terbentuk emisi metana karena mikroba pembentuk metana tumbuh aktif dalam kondisi tergenang (reduktif). Dengan demikian sistem surjan bersifat mitigatif karena dapat mengurangi emisi metana.

6.3.1. Teknologi adaptasi

Perubahan iklim dapat menyebabkan cekaman terhadap pertumbuhan tanaman, baik berupa cekaman biotik maupun abiotik. Perubahan suhu, kelembaban, dan distribusi air ternyata berkaitan erat dengan meledaknya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) tertentu baik berupa hama (makroorganisme) maupun penyakit (mikroorganisme) tanaman. Misalnya meledaknya populasi ulat bulu di Jawa beberapa tahun lalu disebabkan karena pertumbuhan organisme pemangsa ulat bulu tertekan karena peningkatan suhu sehingga perkembangan ulat bulu meningkat tajam.

Meningkatnya frekuensi maupun intensitas kejadian iklim ekstrim seperti el-nino dan la-nina juga dapat menyebabkan cekaman abiotik terhadap pertumbuhan tanaman. Cekaman abiotik meliputi kekeringan, banjir, salinitas, dan lain-lain. Khusus di lahan rawa, penurunan muka air tanah akibat el-nino dapat menyebabkan oksidasi lapisan pirit menghasilkan sulfat yang sangat masam. Namun demikian adakalanya dampak perubahan iklim ini menguntungkan bagi kita. Misalnya kejadian elnino tahun 2007 menyebabkan luas tanam di lahan rawa lebak meningkat karena muka air tanah turun sehingga lahan yang tadinya tergenang (tidak dapat ditanami) menjadi kering dan dapat ditanami. Pada saat itu, lahan rawa lebak di Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan mendapatkan panen raya.

Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan sejumlah varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman biotik dan abiotik akibat perubahan iklim. Beberapa varietas tersebut, antara lain: (1) varietas toleran rendaman, (2) varietas toleran kekeringan, (3) varietas toleran salinitas, (4) varietas tahan organisme pengganggu tanaman, dan (5) varietas umur genjah. Dengan demikian maka varietas-varietas tersebut termasuk varietas adaptif terhadap perubahan iklim.

Berdasarkan dengan sifat dan kondisi lahan rawa yang sangat dipengaruhi oleh kondisi genangan, tinggi muka air tanah, kemasaman tanah dan air, kekeringan saat kemarau, dan salinitas akibat intrusi air laut, maka teknologi adaptasi yang dapat diimplementasikan di lahan rawa adalah :

Penanaman varietas toleran rendaman

Varietas Inpara 3, 4, dan 5 toleran terhadap rendaman masing-masing 7, 14, dan 21 hari pada fase vegetatif awal atau sekitar umur 30 hst. Varietas Ciherang yang telah meluas pengembangannya oleh petani juga sudah ditingkatkan toleransinya terhadap

rendaman dengan memasukkan gen Sub1 yang saat ini sedang dalam pengujian daya hasil.

Penanaman varietas toleran kekeringan

Untuk mengantisipasi dampak kemarau panjang, telah dilepas varietas unggul padi toleran kekeringan. Inpago 5 merupakan varietas unggul padi gogo toleran kekeringan dan mampu berproduksi 6 t/ha. Inpari 10 adalah varietas unggul baru padi sawah yang toleran terhadap kekeringan dengan potensi hasil 7 t/ha. Memiliki batang kokoh, Inpari 10 tahan rebah dan agak tahan terhadap hama wereng batang coklat (WBC) dan penyakit hawar daun bakteri (HDB) strain III. Selain itu Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah melepas empat varietas unggul padi berumur sangat genjah dengan nama Inpari 1, Inpari 11, Inpari 12, dan Inpari 13.

Penanaman varietas tahan OPT

Perubahan iklim dapat menyebabkan meningkatnya serangan OPT baik intensitas maupun ragamnya, terutama akibat meningkatnya suhu dan kelembaban. Varietas Inpari 13 tahan terhadap WBC, umur genjah (103 hari), dan toleran kekeringan dengan potensi hasil 8 t/ha. Inpari 7 dan Inpari 9 lebih tahan terhadap penyakit tungro dengan daya hasil masing-masing 8,7 dan 9,9 t/ha.

Penanaman varietas umur genjah

Perubahan iklim menyebabkan semakin pendeknya periode pertanaman padi (semai-panen) sehingga diperlukan varietas-varietas padi yang berumur genjah dan super genjah. Varietas padi berumur super genjah adalah Inpari 1 (108 HSS), Inpari 11 (108 HSS), Inpari 13 (103 HSS) Dodokan (100 hari setelah semai - HSS), , Inpari 12 (99 HSS), dan Silugonggo (90 HSS).

6.3.2. Sistem surjan adaptif terhadap perubahan iklim

Sistem surjan sesungguhnya sejak jaman dulu kala sudah diterapkan oleh petani di lahan rawa pasang surut, terutama oleh masyarakat suku Banjar di Kalimantan Selatan, suku Bugis di Sulawesi Selatan, dan juga suku Jawa di lahan kering di Jawa Tengah. Sistem ini sesungguhnya merupakan kearifan lokal (*local knowledge*) masyarakat petani di lahan rawa untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Petani menata lahannya menjadi dua bagian, yaitu bagian yang ditinggikan (guludan) dan bagian yang digali (tabukan)

sehingga terbentuklah sistem sawah dan sistem tegalan dalam satu hamparan. Dalam sistem ini petani dapat mengoptimalkan ruang dan waktu usaha tani dengan beragam komoditas dan pola tanam.

Awalnya petani menata sistem surjan secara sederhana baik dalam hal pengelolaan tanah maupun pengelolaan tanaman serta bertujuan hanya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya sendiri (*subsistence*). Pengolahan tanah menggunakan alat-alat sederhana, pemupukan hampir tidak dilakukan, pengelolaan air sistem handil terbatas. Tanaman yang diusahakan umumnya varietas lokal yang berumur panjang dan produktivitas rendah. Seiring dengan bertambahnya waktu, pengelolaan sistem surjan telah mengalami berbagai modifikasi dengan mengakomodasi hasil-hasil penelitian mutakhir, seperti pengelolaan air satu arah, minimum tillage, penggunaan herbisida, varietas unggul baru, dan lain-lain.

Dalam perjalanannya, sistem surjan beradaptasi dengan lingkungannya termasuk beradaptasi juga terhadap kondisi lingkungan akibat perubahan iklim. Sistem surjan tidak hanya beradaptasi terhadap kekeringan dan banjir, tetapi juga beradaptasi terhadap risiko kemasaman tanah, serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), dan kegagalan panen akibat cekaman biotik dan abiotik lainnya. Selain itu, sistem surjan juga mempertimbangkan aspek keuntungan ekonomi dengan memilih pola tanam untuk komoditas selain sesuai untuk lahan rawa juga mempunyai nilai ekonomi yang tinggi.

Terkait dengan risiko kekeringan dan banjir, Soemartono *dalam* Noor (2004) menjelaskan bahwa penerapan sistem surjan di lahan rawa sangat sesuai dengan kondisi dan kendala lahan rawa dengan kondisi hidrologi atau tata air yang belum dapat dikuasai secara baik yang menyebabkan resiko kegagalan dalam usaha tani sangat tinggi. Dengan kata lain, pengenalan surjan di lahan rawa dimaksudkan untuk menekan risiko kegagalan dalam usaha tani sehingga apabila gagal panen padi, masih ada panen palawija atau sayuran sebagai sumber pendapatan keluarga.

Sistem surjan ini juga banyak diterapkan oleh petani Malaysia, Thailand dan Vietnam dalam pemanfaatan lahan rawa untuk pertanian (Noor, 2004). Untuk mengurangi risiko kemasaman tanah, penataan lahan sistem surjan perlu memperhatikan hubungan antara tipologi lahan, tipe luapan, dan pola pemanfaatannya, terutama terkait dengan keberadaan lapisan pirit. Lapisan pirit diupayakan agar selalu dalam kondisi reduktif (tergenang) untuk menghindari oksidasi pirit yang dapat menimbulkan kemasaman tanah. Arahan penataan lahan pada reklamasi dan pengembangan lahan pasang surut dapat dilihat pada Tabel 39. Tabel tersebut menunjukkan pola pemanfaatan lahan dalam kaitannya dengan tipologi lahan dan tipe luapan. Pada tipologi lahan sulfat masam potensial dengan tipe luapan A, maka penataan lahan sebaiknya untuk sawah atau tergenang (*anaerob*) agar pirit lebih stabil, tidak mengalami oksidasi, dan tanaman padi

dapat tumbuh dengan baik. Sistem surjan baik dilakukan pada tipe luapan B dan C sedangkan tipe luapan D lebih baik untuk sistem pertanian lahan kering (tegalan).

Tabel 39. Penataan dan pola pemanfaatan lahan berdasarkan tipologi lahan dan tipe luapan air di lahan pasang surut

Kode	Tipologi lahan	Pemanfaatan lahan pada tipe luapan air			
	Tipologi	A	B	C	D
SMP-1	Aluvial bersulfida dangkal	Sawah	Sawah	Sawah	-
SMP-2	Aluvial bersulfida dalam	Sawah	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan, kebun)
SMP-3/A	Aluvial bersulfida sangat	-	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan)	Tegalan (kebun)
SMA-1	Aluvial bersulfat 1	-	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan, kebun)
SMA-2	Aluvial bersulfat 2	-	Sawah (surjan)	Sawah (surjan)	Sawah (tegalan, kebun)
SMA-3	Aluvial bersulfat 3	-	-	Sawah (kebun)	Tegalan (kebun)
	Aluvial bersulfida dangkal	-	Sawah	Sawah (tegalan)	Tegalan (kebun)

Keterangan: SMP= sulfat masam potensial, SMA = sulfat masam aktual, HSM = histosol sulfat masam

Sumber: Widjaja-Adhi (1995)

Keuntungan ekonomi sistem surjan jauh lebih tinggi dibandingkan hanya sawah saja karena system ini menganut bentuk multi-guna lahan dan multi-komoditas sehingga sistem usaha taninya menghasilkan produksi yang lebih beragam dan memberikan kontribusi pendapatan lebih banyak. Terkait dengan ketahanan pangan, sistem ini memenuhi tiga prinsip dasar meningkatkan ketersediaan pangan (Depkimpraswil, 2004), yaitu: (1) memperluas areal yang dapat ditanami untuk tanaman pangan; (2) meningkatkan hasil tanaman per satuan luas; dan (3) meningkatkan jumlah tanaman yang dapat ditanam untuk setiap tahunnya. Petani menerapkan pola tanam polikultur dalam system surjan, yaitu menanam beberapa jenis tanaman budidaya, baik yang ditanam di bagian tabukan maupun guludan. Menurut Beets (1982), pertanian polikultur memberikan keuntungan antara lain, pemanfaatan sumberdaya yang lebih efisien dan lestari, karena hasil tanaman yang lebih banyak bervariasi dan dapat dipanen berturut-turut. Jika terjadi kegagalan panen pada salah satu tanaman budidaya, misalnya padi, maka petani masih dapat mendapatkan hasil panen dari tanaman yang lain, misalnya cabai atau palawija yang lain.

Pola tanam polikultur bermanfaat pula dalam pengendalian hama secara alami. Reijntjes *et al.* (1999) menjelaskan bahwa pola tanam polikultur memberikan efek positif untuk mengurangi populasi serangga hama, penyakit dan gulma. Musuh alami (pemangsa

hama) cenderung lebih banyak pada tanaman tumpang-sari daripada tanaman tunggal karena musuh alami mendapatkan kondisi yang lebih baik seperti sumber makanan dan lebih banyak habitat mikro untuk kebutuhan-kebutuhan khusus, seperti tempat berlindung dan berkembang biak. Menurut Odum (1998) ekosistem yang keragaman biotiknya tinggi biasanya mempunyai rantai makanan yang lebih panjang dan kompleks, yang berpeluang lebih besar untuk terjadinya interaksi seperti pemangsaan, parasitisme, kompetisi, komensalisme, mutualisme dan sebagainya. Adanya pengendalian umpan balik negatif dari interaksi-interaksi tersebut dapat mengendalikan guncangan yang terjadi sehingga ekosistem berlangsung stabil.

Penelitian lainnya yang membandingkan antara ekosistem sawah dalam sistem surjan dan sawah lembaran (sawah pada umumnya) menunjukkan bahwa sawah dalam sistem surjan lebih tahan terhadap ledakan populasi hama kepinding tanah dibandingkan pada sawah lembaran. Adanya modifikasi habitat dengan adanya alur basah (habitat akuatik) dan kering (habitat darat) menyebabkan lebih banyak komponen hayati yang saling berinteraksi sehingga ekosistem berjalan lebih stabil dan lebih tahan terhadap ledakan populasi jenis hama tertentu (Aminatun, 2012).

6.3.3. Teknologi mitigasi

Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer terkait erat dengan meningkatnya suhu bumi dalam 100 tahun terakhir ini sehingga menyebabkan pemanasan global dan terjadinya perubahan iklim. Lahan pertanian, selain menjadi korban akibat perubahan iklim, juga merupakan sumber emisi GRK terutama CO₂ (karbon dioksida), CH₄ (metana) dan N₂O (nitrous oksida). Selain itu sector pertanian mempunyai peluang yang sangat tinggi dalam mitigasi GRK melalui carbon sequestration dan penurunan emisi GRK melalui pengelolaan air, tanah, dan tanaman. Tanaman hijau (mengandung khlorofil) dapat menyerap gas CO₂ di udara melalui proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat dan O₂ yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup.

Aktivitas pertanian dapat menghasilkan emisi GRK ke atmosfer. Emisi CO₂ dari sector pertanian terutama berasal dari alih fungsi lahan dengan carbon stock tinggi (misalnya hutan) menjadi lahan pertanian yang carbon stock nya lebih rendah. Selain itu emisi CO₂ juga dapat berasal dari kebakaran lahan dan respirasi makhluk hidup yang berada di lahan pertanian. Emisi metana dapat berasal dari lahan sawah, sendawa ternak (*enteric fermentation*), dan dekomposisi anaerobic dari limbah pertanian. Sementara itu emisi N₂O umumnya berasal dari pupuk nitrogen (urea, ZA, dan lain-lain) dan pupuk kandang.

- Meskipun kontribusi emisi GRK dari sector pertanian terbilang rendah, hanya 6 % dari emisi GRK nasional, namun demikian mitigasi GRK di sector pertanian ini penting dan strategis. Hal ini terkait erat dengan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi GRK 26% (secara voluntary) dan 42% dengan kerjasama internasional hingga 2020 dibandingkan business as usual (BAU). Selain itu mitigasi GRK juga berkaitan erat dengan best management practice di sector pertanian karena setiap aktivitas yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi factor produksi (air, pupuk, pengolahan tanah, dll), itu termasuk kegiatan mitigasi.

Setiap tindakan yang bertujuan untuk mengurangi emisi GRK bisa dikatakan sebagai upaya mitigasi. Mitigasi GRK di lahan rawa dapat dilakukan antara lain melalui teknologi inovatif : (1) pengelolaan air, (2) penggunaan mulsa, (3) penggunaan varietas rendah emisi, dan (4) penggunaan bahan amelioran baik organik maupun anorganik. Berikut ini beberapa teknologi inovasi Badan Litbang Pertanian terkait dengan mitigasi GRK.

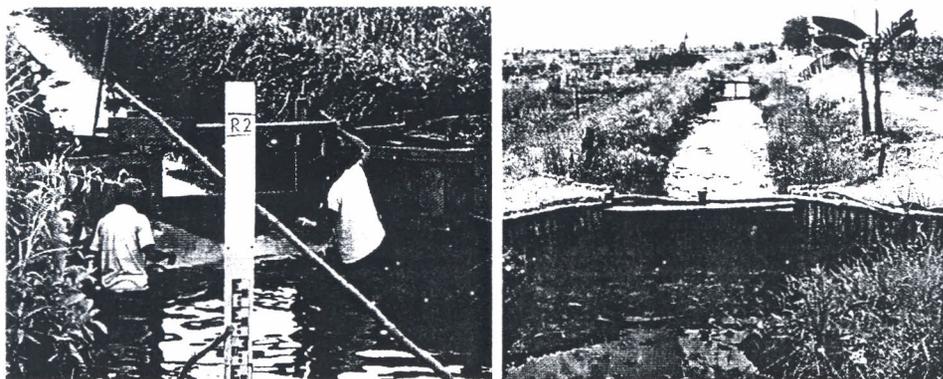
Pengelolaan air

Pengelolaan air dimaksudkan untuk mengatur tinggi muka air melalui pembuatan saluran, pintu air (tabat), dan kemalir. Hasil penelitian Inubushi (2003) menunjukkan adanya korelasi negatif antara curah hujan dengan emisi N_2O di lahan rawa lebak. Pada kondisi tergenang, aktivitas bakteri methanogen optimal sehingga pembentukan gas metan akan meningkat. Emisi CH_4 tertinggi terjadi pada tanah sawah yang terus-menerus digenangi. Hasil penelitian Wihardjaka (2005) menunjukkan bahwa sistem irigasi berselang (intermitten) dapat menekan emisi CH_4 . Pada lahan rawa lebak bertanah gambut, pengaturan air juga mempengaruhi kualitas tanah sawah dan pertumbuhan padi.

Pembukaan dan pemanfaatan lahan gambut untuk tanaman perkebunan (kelapa sawit dan karet) umumnya menggunakan kanal/saluran air yang dalam (lebih dari 1 m) sehingga terjadi *over drainage* dan di saat kemarau, muka air tanah turun drastis. Hal inilah yang menyebabkan hampir setiap musim kemarau terjadi kebakaran di lahan gambut di Jambi, Riau, Sumsel, Kalteng, dan Kalbar. Selain itu, *over drainage* juga menyebabkan emisi GRK tinggi akibat dekomposisi bahan gambut di bagian atas yang kering. Akibat selanjutnya adalah terjadinya bahan gambut kering tidak balik yang merupakan cikal bakal lahan gambut terdegradasi. Akhirnya terjadi pula *subsidence* (penurunan permukaan tanah) sehingga ketebalan gambut berkurang.

Sistem tabat (*canal block*) di lahan gambut dapat mempertahankan muka air tanah agar tidak turun drastis, terutama di musim kemarau (Gambar 36). Hal ini sangat penting dalam mempertahankan produktivitas tanah terutama dalam hal perawatan kebutuhan air

untuk tanaman pangan (jagung, nenas, padi, dan lain-lain) yang sistem perakarannya dangkal. Selain itu sistem ini juga efektif mengurangi risiko kebakaran gambut karena permukaan tanah di bagian atas tetap lembab meskipun musim kemarau. Sistem ini juga efektif mengurangi emisi GRK dan subsidi tanah akibat oksidasi bahan gambut.



Gambar 36. Sistem tabat (canal block) di lahan gambut

Penggunaan varietas rendah emisi

Kemampuan varietas padi dalam mengemisi CH_4 tergantung pada rongga aerenkhima, jumlah anakan, biomasa padi, pola perakaran, dan aktivitas metabolisme (Neue dan Roger, 1993 dalam Wihardjaka *et al.* 1999). Emisi CH_4 selama fase pertumbuhan padi berfluktuasi. Pada fase pertumbuhan vegetatif pelepasan CH_4 relatif tinggi sampai pada 6-7 minggu setelah tanam, kemudian menurun pada fase generatif dan meningkat lagi pada saat panen (Setyanto dan Susilawati, 2007). Emisi CO_2 selama pertumbuhan tanaman padi juga berfluktuasi, emisi tertinggi pada umur 50-60HST. Varietas padi terbaik dalam menekan emisi GRK di lahan rawa adalah Punggur, sedangkan yang paling tinggi memberikan sumbangan GRK adalah Martapura. Pada lahan rawa lebak bertanah gambut yang disawahkan, varietas Batanghari memberikan sumbangan emisi GRK paling rendah dibandingkan Punggur, Air Tenggulang, dan Banyuasin (Tabel 40).

Tabel 40. Emisi metan (CH_4) dan hasil gabah dari beberapa vareitas padi di lahan gambut rawa lebak, Kalimantan Selatan

Varietas padi	Emisi CH_4 (kg/ha)	Penurunan emisi CH_4 (%)	Hasil gabah (t/ha)
Punggur	183,0a	-	4,00a
Banyuasin	179,2a	2,08	3,46a
Tenggulang	124,1b	32,19	3,26a
Batanghari	104,0b	43,17	3,35a

Sumber: Setyanto dan Susilawati, 2007

Ameliorasi dan pemupukan

Jenis amelioran pada pertanaman padi mempengaruhi besarnya emisi dari lahan rawa lebak bertanah gambut di Kalimantan Selatan. pemberian amelioran menurunkan emisi CH₄ sebesar 40-50%, sedangkan CO₂ sebesar 5-30% (Tabel 41). Bahan amelioran yang paling efektif menurunkan emisi CH₄ adalah pupuk kandang yang matang (Kartikawati *et al.* 2012). Menurut Wihardjaka (2005) emisi CH₄ pada tanah sawah yang menggunakan kompos dan pupuk kandang yang sudah matang lebih rendah dibandingkan pupuk hijau dan jerami segar.

Tabel 41. Pengaruh amelioran dan pupuk terhadap GWP dan emisi GRK di lahan gambut rawa lebak, Landasan Ulin, Kalimantan Selatan

Perlakuan	Total emisi (t/ha/th)		GWP (t CO ₂ e/ha/th)	Penurunan emisi masing2 gas (%)		Penurunan emisi GRK (%)
	CH ₄	CO ₂		CH ₄	CO ₂	
Kontrol	0,085	31,6	33,8	baseline	baseline	Baseline
Abu sekam	0,037	30,0	30,9	-56,7	-5,1	8,4
Pukan	0,041	21,2	22,2	-51,4	-32,9	34,1
Pugam A	0,051	24,6	25,8	-40,0	-22,3	23,5
Pugam T	0,046	25,1	26,3	-45,6	-20,5	22,1
Tanah Mineral	0,044	24,3	25,4	-48,9	-23,0	24,7

Sumber: Kartikawati *et al.* (2012)

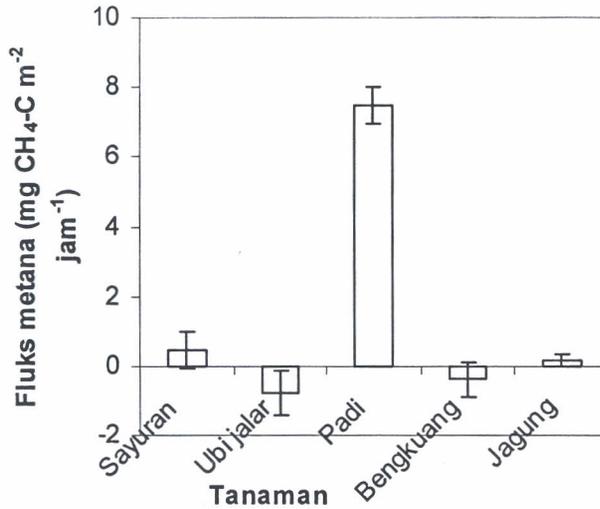
6.3.4. Sistem surjan mitigatif terhadap perubahan iklim

Lahan rawa, baik pada tanah mineral maupun gambut memberikan kontribusi pula terhadap emisi GRK. Kondisi tergenang dan tingginya kadar bahan organik tanah di lahan rawa memungkinkan terbentuknya gas metana dalam jumlah yang signifikan. Tingginya fluks metana pada lahan sawah dipengaruhi oleh aktivitas mikroba penghasil dan pengoksidasi metana serta kondisi lingkungan yang menstimulirnya. Potensial redoks tanah yang rendah akibat penggenangan dan ketersediaan substrat organik merupakan prasyarat lingkungan pembentukan metana. Aktivitas metanotrop pengoksidasi metana pada pertanaman padi terbatas pada daerah rizosfer yang bersifat oksidatif. Dominasi metanogen terhadap metanotrop pada system sawah menyebabkan tingginya fluks metana (Watanabe *et al.*, 1997).

Sistem surjan dapat mengurangi emisi metana dari lahan rawa sehingga sistem ini bersifat mitigatif terhadap perubahan iklim. Pada bagian guludan dari system surjan kondisinya aerobik atau bersifat oksidatif. Dalam kondisi demikian gas metana tidak terbentuk karena mikroba pembentuk metana tidak aktif (Gambar 37). Selain itu

pengelolaan air dengan cara berseling (*intermittent drainage*) dan pemberian air macak-macak juga dapat menurunkan emisi metana secara signifikan.

Tanaman padi di lahan sawah menghasilkan fluks metana jauh lebih tinggi ($7.4976 + 0.5299 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$) dibandingkan tanaman lainnya yang ditanam di lahan kering. Budidaya sayuran dan jagung menghasilkan fluks metana yang jauh lebih rendah dibandingkan tanaman padi sawah, masing-masing sebesar $0.4605 + 0.5255$ dan $0.1634 + 0.1824 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$. Sedangkan ubi jalar dan bengkuang menghasilkan fluks metana negative, masing-masing sebesar $-0.7708 + 0.6434$ dan $-0.3874 + 0.5076 \text{ mg CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ (Suprihati *et al.* 2006).



Gambar 37. Fluks metana pada lima macam tanaman budidaya (padi di lahan sawah dan sayuran di lahan kering (Suprihati *et al.*, 2006)

Tabel 42. Emisi gas metan (CH₄) dan produksi gabah pada beberapa perlakuan pengaturan air pada padi sawah

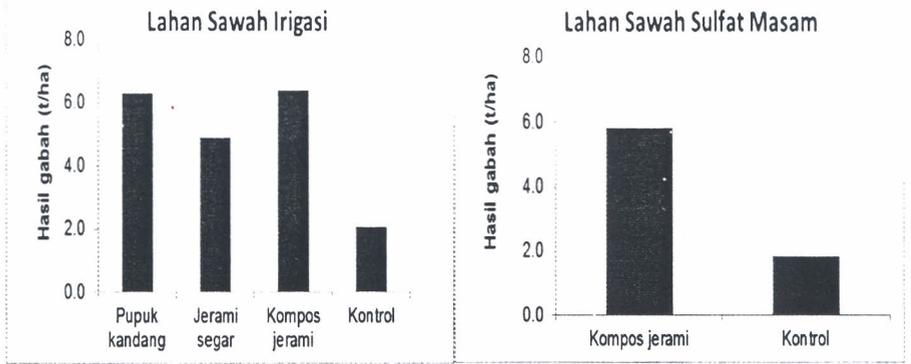
Perlakuan	Emisi CH ₄ (kg/ha/musim)	Hasil gabah (t/ha)
Olah Tanah+Tanam Pindah+Tergenang	318	4,53
Olah Tanah+Tanam Pindah+Intermiten	160	4,63
Olah Tanah+Tanam benih langsung+Intermiten	98	4,76
Olah Tanah+Tanam benih langsung+Tergenang	106	4,84
Tanpa Olah Tanah+Tanam benih langsung+Intermiten	69	4,51
Tanpa Olah Tanah+Tanam benih langsung+Tergenang	75	4,40

Sumber: Suharsih *et al.* 2001 dalam Wihardjaka, 2005

Beberapa komponen teknologi di lahan sawah dalam system surjan selain mampu meningkatkan hasil gabah juga efektif menurunkan emisi GRK terutama emisi gas metana. Komponen teknologi tersebut antara lain: pengelolaan air irigasi berseling (intermittent drainage), tanam benih langsung (tabela), dan tanpa olah tanah. Ketiga komponen teknologi tersebut, yaitu irigasi berseling efektif meningkatkan efisiensi sumberdaya air, tabela efektif menurunkan biaya produksi (tenaga kerja untuk tanam padi), dan tanpa olah tanah juga efektif menurunkan biaya tenaga kerja untuk pengolahan tanah (Tabel 42).

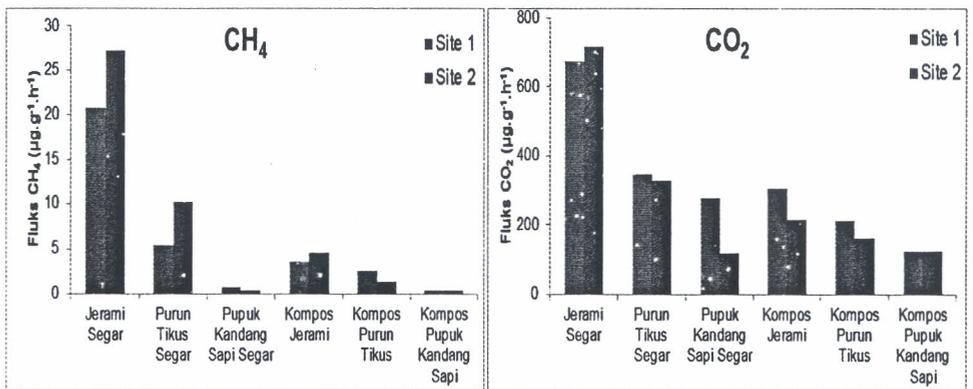
Pengelolaan air irigasi berseling, tanam benih langsung, dan tanpa olah tanah, serta kombinasi ketiga factor tersebut efektif menurunkan emisi metana dari 318 (control) menjadi 69 kg/ha/musim atau turun sekitar 78%. Sementara itu hasil gabah perlakuan tersebut 4,51 t/ha atau tidak berbeda nyata bila dibandingkan dengan kontrol (4,53 t/ha). Pengelolaan air berseling selain efektif menurunkan emisi metana dari 318 menjadi 160 kg/ha/musim juga perlakuan tersebut dapat meningkatkan hasil gabah dari 4,53 menjadi 4,63 t/ha. Demikian pula tanam benih langsung selain efektif menurunkan emisi metana dari 160 menjadi 98 kg/ha/musim juga dapat meningkatkan hasil gabah dari 4,63 menjadi 4,76 t/ha. Sementara itu tanpa olah tanah efektif menurunkan emisi metana dari 98 menjadi 69 kg/ha/musim tapi hasil gabah sedikit turun dari 4,76 menjadi 4,51 t/ha.

Bahan organik local yang berlimpah di lahan sawah dan sekitarnya antara lain: jerami padi, purun tikus, dan pupuk kandang sapi. Penggunaan bahan organik tersebut yang telah dikomposkan terlebih dahulu selain efektif meningkatkan produktivitas tanah (Gambar 38) juga efektif menurunkan emisi gas rumah kaca baik gas metana maupun CO₂ (Gambar 39). Pemberian bahan organik berupa pupuk kandang, jerami segar, dan kompos jerami nyata meningkatkan hasil gabah baik di lahan sawah irigasi maupun lahan sawah sulfat masam. Peningkatan produktivitas tanah akibat pemberian bahan organik erat kaitannya dengan peran bahan organik sebagai penyubur tanah. Bahan organik dapat memperbaiki sifat fisik tanah, antara lain: kemampuan memegang air dan agregat tanah; sifat kimia tanah, antara lain: meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, menyediakan unsur hara tanah, baik hara makro maupun hara mikro tanah, serta meningkatkan efisiensi pupuk anorganik; dan biologi tanah, antara lain: meningkatkan aktivitas mikroba dan ketersediaan hara tanah.



Gambar 38. Hasil gabah pada perlakuan bahan organik dan kompos di lahan sawah irigasi (Wiharjaka et al., 2001) dan di lahan sulfat masam (Annisa et al., 2012).

Penggunaan bahan organik lokal, seperti: jerami padi, purun tikus dan pupuk kandang masing-masing efektif menurunkan emisi GRK baik gas metana maupun CO₂ (Gambar 36). Diantara jenis bahan organik yang dicoba, kompos jerami padi memberikan penurunan emisi gas metana yang paling besar dibandingkan penggunaan jerami segar, selanjutnya diikuti oleh penggunaan purun tikus dan pupuk kandang sapi. Demikian pula penggunaan kompos jerami padi memberikan penurunan terhadap emisi CO₂ paling besar diikuti oleh penggunaan purun tikus dan pupuk kandang sapi. Besarnya emisi GRK yang dihasilkan terkait erat dengan nilai C/N masing-masing sumber bahan organik. Semakin rendah nilai C/N dari suatu sumber bahan organik, semakin tinggi emisi GRK yang dihasilkan. Aktivitas mikroba pada perlakuan bahan organik dengan C/N rendah jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bahan organik dengan C/N tinggi.



Gambar 39. Fluks CH₄ dan CO₂ pada perlakuan bahan organik dan kompos di tanah sulfat masam alami (site 1) dan intensif (site 2) dan (Annisa et al., 2013)