

Teknologi Mitigasi Gas Rumah Kaca Di Lahan Rawa Pasang Surut

Technologies For Mitigating Greenhouse Gas Emissions on Tidal Swamp Land

¹**Wahida Annisa** dan ²Achmad Rachman

¹ Balai penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA), Banjarbaru ² Balai Penelitian Tanah (BALITTANAH), Bogor, Email: annisa_balittra@yahoo.com

ABSTRACT

Utilization of swamps for agricultural development is a strategic choice in an effort to offset the decrease in productive land in Java due to conversion of land functions from agriculture to non-agriculture. The properties of land in swamplands is a major limiting factor that causes low productivity of swamp land. The development of agriculture in swamplands often has a negative impact on land and environment, due to inappropriate land management. One of the environmental impacts in swampland development is carbon emissions. Carbon emissions can be reduced through the use of appropriate soil ameliorant and water management within the swamp hydrological area. Both approaches are important not only to mitigate greenhouse gas emissions but also to increase swampland agriculture productivity.

Keywords: swamp Land, Carbon Emission, Soil Ameliorant, Water Management

ABSTRAK

Pemanfaatan rawa untuk pembangunan pertanian merupakan pilihan strategis dalam upaya mengimbangi berkurangnya tanah produktif di pulau Jawa akibat pergeseran fungsi lahan dari pertanian ke non-pertanian. Kondisi tanah di lahan rawa merupakan faktor pembatas yang menyebabkan masih rendahnya produktivitas lahan rawa. Pengembangan pertanian di lahan rawa seringkali membawa dampak negatif yaitu degradasi lahan dan lingkungan, karena ketidak hati-hatian dalam pengelolaannya. Salah satu dampak lingkungan dalam pengembangan lahan rawa adalah emisi karbon. Emisi karbon dapat direduksi melalui penggunaan bahan ameliorant tanah dan pengelolaan air yang tepat pada suatu kawasan hidrologis rawa. Kedua pendekatan tersebut sangat penting tidak untuk memitigasi gas rumah kaca juga dapat meningkatkan produktivitas pertanian lahan rawa.

Kata Kunci: lahan Rawa, Emisi karbon, Bahan amelioran, Pengelolaan air

PENDAHULUAN

Pengembangan lahan rawa ke depan menjadi semakin penting, dengan semakin menyusutnya luas lahan pertanian di Indonesia. Luas lahan rawa di Indonesia adalah ±34,93 juta ha atau 18,28% dari luas total daratan Indonesia dan tersebar di Sumatera ±12,93 juta ha, Jawa ±0,90 juta ha, Kalimantan ±10,02 juta ha, Sulawesi ±1,05 juta ha, Maluku dan Maluku Utara

±0,16 juta ha dan Papua ±9,87 juta ha (BBSDLP, 2014). Namun secara alami, ekosistem rawa bersifat rapuh (*fragile*) sehingga diperlukan teknologi pengelolaan lahan yang tepat dan terpadu agar produktivitas lahan optimal dan berkelanjutan. Pengelolaan dan kebijakan tentang upaya peningkatan penyerapan karbon terutama dari lahan pertanian perlu mendapat perhatian penting. Saat ini, pemerintah Indonesia berkomitmen untuk

menurunkan emisi GRK sebesar 26% dengan usaha sendiri atau 41% dengan bantuan luar negeri sampai tahun 2020 telah diperkuat dengan diterbitkannya Perpres No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK yang berisi tentang pedoman perencanaan, pelaksanaan, monitoring, evaluasi penurunan emisi GRK dan target pada lima sektor utama, yaitu kehutanan dan lahan gambut, pertanian, energi dan transportasi, industri, dan pengelolaan limbah, serta Perpres No. 71 tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Upaya menurunkan emisi gas rumah kaca pada pertanian di lahan rawa menjadi penting karena keberlanjutan pembangunan pertanian jangka panjang yang akan menghadapi tantangan perubahan iklim dan pemanasan global

Konsep Pertanian Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan

Kesadaran masyarakat-pertanian tentang pentingnya pemeliharaan keberlanjutan produksi lahan pertanian masih sangat rendah. Kesavan and Swaminathan (2008) mendefinisikan tentang pertanian berkelanjutan yang berkonotasi dengan terpeliharanya kuantitas dan kualitas dari hasil pertanian selama periode waktu yang panjang tanpa mengalami penurunan melalui penerapan teknologi yang dapat mengoptimalkan hasil tanpa menimbulkan degradasi pada lingkungan. Sistem pertanian ini bertujuan untuk memperoleh produksi optimal tanpa merusak lingkungan, baik secara fisik, kimia, biologi maupun ekologi.

Sistem pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan merupakan system pertanian yang menggunakan input kimiawi yang terbatas atau bahkan tidak digunakan, sehingga siklus yang berlangsung di dalam sebuah ekosistem seimbang. Pada sistem pertanian ini, faktor air memiliki peranan penting disamping pemanfaatan sumber daya alam secara

optimal karena pemenuhan kebutuhan tanaman terhadap unsur hara sebagian besar diperoleh dari air. Ketersediaan air yang cukup bagi tanaman sangat berpengaruh terhadap produksi atau hasil.

Pengembangan pertanian di lahan rawa seringkali membawa dampak negatif (degradasi lahan dan lingkungan) karena ketidak hati-hatian dalam pengelolaannya. Efek lingkungan yang dapat ditimbulkan akibat kesalahan pengelolaan lahan terutama lahan rawa antara lain yaitu: terjadinya degradasi lahan yang sangat cepat, kemasaman tanah, peningkatan emisi gas rumah kaca dan subsidensi akibat kehilangan massa tanah. Praktek agronomi sebaiknya dilakukan dengan tujuan meningkatkan kandungan carbon dalam tanah dan mereduksi emisi.

Annisa et al. (2017) melaporkan bahwa karbon organik di dalam tanah merupakan sumber emisi gas rumah kaca. Jumlah karbon organik yang lebih tinggi ditemukan di bawah tanah sawah yang banjir daripada di bawah umpan hujan karena perombakan organik yang lebih lambat terjadi dalam kondisi anaerob, namun penggenangan sawah terus menerus dapat merangsang terbentuknya CH_4 . Petani di lahan rawa umumnya menerapkan bahan organik segar sebagai pupuk hijau dalam kondisi anaerob. Praktek ini mungkin telah mengeluarkan sejumlah besar metana karena bahan organik segar mengalami proses dekomposisi dalam kondisi jenuh. Studi kami menunjukkan bahwa penerapan bahan organik segar ke dalam tanah sulfat asam terendam memiliki emisi metana yang jauh lebih tinggi daripada bahan organik kompos. Hasil penelitian Annisa et al (2017) menunjukkan bahwa pemberian bahan organik segar ke dalam tanah sulfat masam menghasilkan $23,78 \mu\text{g CH}_4\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$ lebih tinggi dibandingkan pemberian bahan organik kompos yaitu hanya sebesar $4,327 \mu\text{g CH}_4\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$. Selain itu Annisa dan D. Nursyamsi (2006) melaporkan bahwa emisi metana pada lahan sulfat masam yang intensif dibudidayakan melepaskan emisi

sebesar 30.40 kg.ha⁻¹.musim⁻¹ yang lebih tinggi dibandingkan emisi metana dari lahan sulfat masam alami dengan penambahan ameliorant biochar hanya sebesar 2.33 kg.ha⁻¹.musim⁻¹. Hal ini berkaitan dengan aktivitas bakteri metanogen karena bakteri metanogen sebagai penghasil metana (CH₄) bekerja optimal pada kisaran nilai Eh ≤ -150 mV dengan nilai pH mendekati netral. Metana merupakan produk akhir dari proses dekomposisi pada kondisi anaerob yang dilepaskan dengan proses difusi dan ebulusi melalui perakaran. Sedangkan karbondioksida merupakan gas yang dihasilkan dari aktivitas mikroba pada proses pelapukan dan bahan organik tanah (Janzen 2004; Smith 2004).

Emisi karbon dapat direduksi melalui perubahan praktek agronomi, seperti (1) sistem pengelolaan tanaman dengan penggunaan varietas padi unggul yang berumur genjah. Hasil penelitian Annisa (2016) menunjukkan bahwa penggunaan VUB Padi rawa (Inpara 3) dikombinasikan dengan biochar melepaskan emisi yang rendah hanya sebesar 12.79 kg CH₄.ha⁻¹.musim⁻¹ yang lebih rendah dibandingkan penggunaan varietas local (Siam Mutiara) yaitu sebesar 96.11 kg CH₄.ha⁻¹.musim⁻¹; (2) Pemupukan sesuai dengan kebutuhan tanaman dengan menerapkan Status hara tanah dan Bagan Warna Daun (BWD) serta (3) Penggunaan bahan amelioran dan pengelolaan air yang tepat pada suatu kawasan hidrologis rawa. Hasil penelitian Annisa et al. (2015) menunjukkan bahwa kombinasi berupa 30% jerami padi kompos dan 30% kompos gulma purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dan 40% pupuk kandang kompos dengan pengelolaan air oleh pencucian setiap dua minggu dapat mengurangi fluks CH₄ dan memperbaiki sifat kimia tanah dari pertanaman padi di lahan sulfat masam. Tindakan mitigasi di atas merupakan usaha untuk menurunkan emisi dan atau meningkatkan penyerapan karbon dari berbagai sumber emisi dalam upaya

pengendalian atau pengurangan dampak perubahan iklim.

Pertanian Di Lahan Rawa Pasang Surut

Lahan rawa pasang surut umumnya dimanfaatkan sebagai lahan sawah. Ada dua cara pengelolaan lahan untuk usaha tani di lahan rawa yaitu: (1) pengelolaan secara tradisional (konvensional) yang dilakukan oleh masyarakat setempat dan (2) pengelolaan secara intensif yang dilakukan oleh masyarakat transmigran. Beberapa faktor yang memiliki peranan penting terhadap keberhasilan usaha tani di lahan rawa diantaranya yaitu: (1) pemanfaatan bahan organik karena fungsi bahan organik selain dapat mempertahankan kondisi reduktif juga mengkhelat unsur toksik, (2) pengelolaan air yang berfungsi mencuci unsur toxic

1. Bahan Organik

Residu tanaman sisa panen serta gulma lokal di lahan rawa seperti purun tikus (*Eleocharis dulcis*) merupakan sumber utama bahan organik di lahan rawa terutama rawa pasang surut. Kedua jenis bahan organik tersebut efektif untuk dijadikan sebagai bahan amelioran pada budidaya padi di lahan rawa seperti tanah sulfat masam (Muhrizal *et al.*, 1993). Proses dekomposisi bahan organik di tanah tergenang berbeda dengan tanah aerobik karena keberadaan oksigen yang terbatas pada kondisi tergenang. Oksigen merupakan akseptor elektron yang digunakan mikroorganisme anaerob pada proses oksidasi bahan organik. Pada awal proses dekomposisi bagian yang mudah (*easy decomposable*) lebih dulu terdekomposisi yang berupa klorofil (daun) dan jaringan epidermis (kulit) kemudian bagian aromatik yang sukar terdekomposisi karena kandungan lignin yang tinggi.

Peran bahan organik sebagai donor elektron dalam proses reduksi di lahan rawa pasang surut akan hilang apabila bahan organik yang diberikan memiliki kandungan lignin yang tinggi. Penyiapan

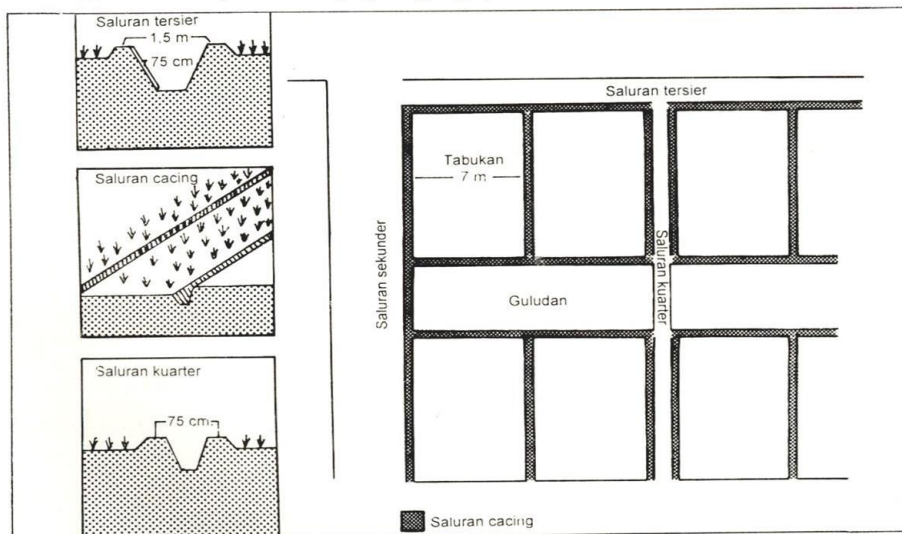
lahan secara konvensional oleh petani tradisional Kalimantan Selatan dilakukan dengan sistem “*tajak-puntal-balik-hampar*” (*tapulikampar*). Sistem ini untuk menyasati kondisi tanah dan air melahirkan sistem persemaian yang disebut taradak ampak, dan lacak; sistem penyiapan lahan yang disebut tajak, puntal, balik, dan ampar. Sistem penyiapan lahan untuk budidaya tanaman padi di lahan rawa merupakan salah satu “kearifan budaya lokal” dalam sistem pertanian di lahan rawa. Penyiapan ini diawali dengan pekerjaan “*menajak*” (memotong gulma yang spesifik dan dominan di lahan rawa masam yaitu purun tikus dengan menggunakan *tajak*), setelah itu potongan gulma didiamkan dalam air ± 15 hari yang disebut “*masa tajak*”. Hasil potongan gulma tersebut dijadikan satu bagian sebesar ukuran bola kaki atau “*puntalan*”, periode ini disebut dengan “*masa puntal*”. Pembalikan dilakukan terhadap puntalan sambil mencincang atau memotong gumpalan gulma kecil-kecil, dan tahapan ini disebut “*masa balik*”. Tahapan terakhir dari penyiapan lahan ini adalah menghamburkan puntalan gulma yang telah dipotong tersebut ke lahan secara merata dan akhir dari proses dekomposisi bahan organik di lapangan yang disebut dengan “*masa hampar*” (Noorsyamsi et al. 1974 dan Noor 1996). Cara konvensional penyiapan lahan tersebut sederhana, aman

tetapi masih belum tepat karena memberikan dampak terhadap emisi gas rumah kaca terutama metana. Annisa et al. (2015) melaporkan bahwa pemberian bahan organik yang belum terdekomposisi di lahan rawa pasang surut meningkatkan fluks metana (CH_4).

Bahan organik di lahan rawa memiliki peran yang sangat penting yaitu menjaga kondisi tanah tetap reduksi, sehingga oksidasi pirit dapat terkendali, selain itu juga melalui gugus fungsinya mengikat logam beracun. Kelarutan dan reaktivitas oksida besi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu Ph, potensi redoks Tanah (Eh) dan kondisi lingkungan. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Annisa et al (2016) menunjukkan bahwa terdapat korelasi negative yang nyata antara nilai potensial redok (Eh) dengan konsentrasi Fe^{2+} yaitu sebesar $r=-0.85^*$

2. Sistem Tata Air Satu Arah

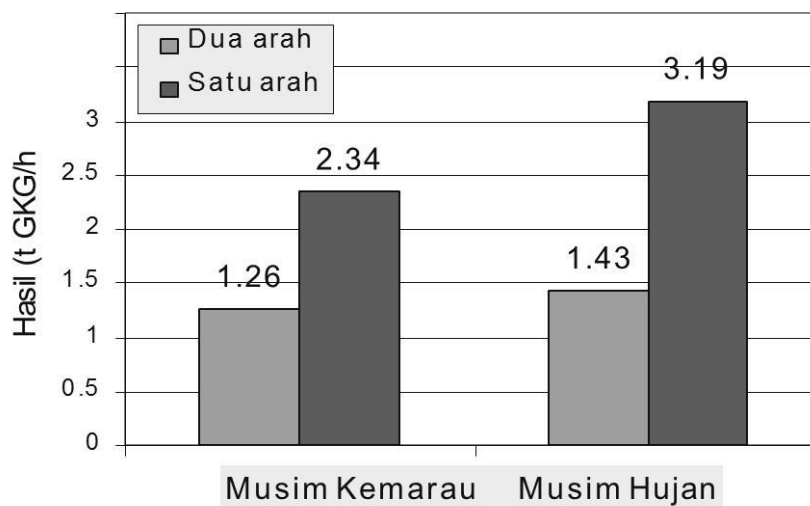
Faktor air memiliki peranan penting dalam keberhasilan usaha tani di lahan rawa. Menurut Kongchum (2005) ada tiga pola sistem tata air dalam budidaya padi sawah yaitu: (1) tidak tergenang, (2) penggenangan dan pelindian dan (3) penggenangan terus menerus. Tata air dengan sistem satu arah (*one-way flow system*) telah dilakukan petani setempat melalui pemanfaatan air pasang.



Gambar 1. Skematik Penataan Lahan dan Tata Air Di Lahan Rawa.

Sistem aliran satu arah merupakan sistem tata air yang dilakukan dengan cara memasukkan air pasang ke petakan sawah yang diganti setiap dua minggu sekali pada saat pasang besar yang berfungsi mencuci bahan beracun dari petakan. Hasil

penelitian Balittra di lahan rawa pasang surut menunjukkan bahwa penerapan sistem pengelolaan air satu arah dapat meningkatkan hasil GKG mencapai 2.34 ton/ha pada musim kemarau dan 3.19 ton/ha pada musim hujan (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil GKG (ton./ha) dengan dua macam sistem pengelolaan air di lahan rawa pasang surut

Konsentrasi besi ferro meningkat akibat penggenangan berkaitan dengan menurunnya potensial redok (Eh) dan meningkatnya nilai pH akibat kondisi tanah yang semakin reduktif. Peningkatan nilai pH pada tanah tergenang mengakibatkan peningkatan besi dan mangan dalam bentuk hidroksida. Hasil penelitian Annisa et al. (2015) menunjukkan bahwa pada lahan sulfat masam alami (bukaan baru), penerapan sistem pengelolaan air satu arah dapat menurunkan kelarutan Fe dari 861.36 mg.kg⁻¹ menjadi 838.64 mg.kg⁻¹.

Kualitas air dipengaruhi oleh dinamika pasang surut air sungai. Salah satu hasil penelitian terhadap kualitas air di lahan pasang surut ditunjukkan dari penelitian Hanhart & Ni, (1993) di delta Mekong Vietnam bahwa kualitas air di saluran drainase pada 41 dan 85 hari setelah tanam padi lebih buruk dibandingkan di saluran masuk yang ditunjukkan dengan nilai pH antara 2.6-2.9, aluminium larut 57-148 mg.kg⁻¹ dan kemasaman total berkisar 11-26 mol.L⁻¹, sedangkan di saluran masuk pH air berkisar

6.3-6.8, aluminium larut berkisar 1.3-7.2 mg.kg⁻¹ dan kemasaman total 0.15-0.56 mol.L⁻¹. Hal ini mengindikasikan bahwa unsur-unsur meracun tercuci dan terbawa ke saluran drainase sehingga kualitas air drainase rendah. Pencucian bahan beracun dapat berjalan baik apabila terdapat cukup air segar, baik dari hujan maupun dari air pasang serta air hutan. Pencucian tambahan pada akhir musim hujan dengan menggunakan air berkualitas diprediksi dapat menurunkan kandungan pirit dari 3,9% menjadi 2%, atau rata-rata sekitar 0,38% per tahun (Van Wijk et al., 1992).

Upaya yang dilakukan masyarakat tradisional Kalimantan Selatan (*suku Banjar*) untuk mempertahankan kondisi reduktif terhadap tanah adalah dengan melakukan konservasi air yaitu membuat tabat (*dam overflow*) di sepanjang saluran handil (*tersier*). Tabat merupakan tanggul atau dam kecil yang dibuat dari bahan tanah dan batang pohon kayu (papan). Pembuatan tabat dimaksudkan untuk mempertahankan sistem tata air (hidrologi) alami dengan memanfaatkan luapan air

pada saat pasang besar (dua kali dalam sebulan).

Dampak Budidaya Sawah di Lahan Rawa Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca

Semua karbon organik yang masuk ke dalam tanah merupakan sumber emisi gas rumah kaca karena karbon dan nitrogen yang terdapat dalam tanah akan mengalami proses dekomposisi dan mineralisasi baik itu secara alami maupun karena aktivitas atropogenik yang dapat menghasilkan dinitrogen oksida (N_2O), metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). SNC (2010) melaporkan bahwa kontribusi lahan pertanian di Indonesia terhadap emisi CO_2 sebesar 13,6% (tanpa LULUCF), emisi CH_4 sebesar 22% dan emisi N_2O sebesar 79%. Jumlah karbon organik yang tersimpan di tanah sawah lebih besar dibandingkan lahan kering karena proses penguraiannya berlangsung secara anaerob akibat penggenangan (Liping and Erda, 2001 *cit* Esmizade *et al.* 2010). Hasil penelitian Changvun *et al.* (2003) menunjukkan emisi CO_2 dan CH_4 pada dua jenis lahan tergenang di Sanjiang Plain, China yaitu pada lahan rawa tergenang terus menerus emisi CO_2 yang dilepaskan sebesar $548.04 \text{ mg.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ lebih rendah dibandingkan emisi CO_2 dari lahan rawa yang tergenang musiman yaitu sebesar $713.08 \text{ mg.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Sedangkan emisi CH_4 yang dilepaskan dari lahan rawa yang tergenang terus menerus sebesar $12.80 \text{ mg.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ lebih besar dibandingkan emisi CH_4 dari lahan rawa yang tergenang musiman yaitu sebesar $8.56 \text{ mg.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ karena penggenangan secara terus menerus akan menstimulir pembentukan CH_4 . Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Annisa *et al.* (2015)

Budidaya padi sawah mengakibatkan kondisi tanah menjadi anaerobik, sehingga metana cenderung terbentuk karena aktivitas bakteri metanogen meningkat pada kondisi tanah reduktif dengan nilai potensial redoks $< -250 \text{ mV}$. Bahan organik dan pembenah tanah berperan dalam meningkatkan hasil gabah dan

menekan emisi GRK. Hal ini terkait dengan kemampuan bahan organik dalam menstimulasi produksi metan melalui suatu rangkaian proses yang diakhiri dengan pembentukan CO_2 dan CH_4 . Hasil penelitian Khosa, K *et al.* (2010) menunjukkan bahwa pemberian bahan organik di lahan sawah nyata meningkatkan emisi metana dibandingkan kontrol dengan persentase emisi metana berbeda dari berbagai jenis bahan organik tergantung dari kualitas bahan organik yaitu: jerami gandum sebesar 4,07%, pupuk hijau sebesar 2,06% dan kompos jerami padi sebesar 1,51%. Lebih tingginya emisi metana yang dilepaskan dari jerami gandum terkait dengan kualitas bahan organik yang rendah dilihat dari nisbah C:N yang lebih tinggi yaitu 120:1. Selain metana yang dilepaskan dari budidaya padi sawah, karbondioksida juga akan dilepaskan. Besarnya emisi CO_2 yang dilepaskan dari lahan sawah dipengaruhi oleh aktivitas respirasi padi serta proses oksidasi bahan organik pada daerah rizosfer karena padi mampu mengalirkan oksigen dari atmosfer ke perakaran melalui jaringan aerenkhima. Hasil penelitian Jianwen *et al.* (2004) menunjukkan pola emisi CO_2 pada awal pertumbuhan tinggi kemudian menurun sampai periode akhir pertumbuhan padi karena penggenangan akan meningkatkan fluks CO_2 pada awal kemudian terus menurun.

Hasil penelitian Wahida (2010) budidaya padi di tanah sulfat masam dengan penambahan bahan organik akan menurunkan nilai potensial redoks mencapai $< -250 \text{ mV}$. Bakteri metanogen sebagai penghasil CH_4 hidup pada kondisi anaerob dengan potensial redoks $< -200 \text{ mV}$ (Minamikawa and Sakai, 2006). Hasil penelitian Suprihati *et al.* (2006) menunjukkan bahwa budidaya padi sawah akan menurunkan nilai potensial redoks tanah mencapai $-158,5 \text{ mV}$ dengan fluks metana yang dihasilkan sebesar $7.5 \text{ mg } CH_4\text{-C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$. Padi melepaskan gas CH_4 melalui dekomposisi bahan organik, yang berlangsung secara anaerobik akibat

adanya penggenangan air. Pelepasan metana ke troposfer dari tanah sawah dihasilkan melalui proses metanogenesis secara mikrobiologis. Peran padi dalam dinamika metana yaitu: (1) sumber substrat metanogen, (2) transpot metana melalui rongga udara jaringan aerenkhima dan (3) pengoksidasi metana potensial dalam lingkungan mikro rizosfer (Dubey, 2005). Bakteri pembentuk CH_4 (metanogen) dikelompokkan ke dalam family Methanobacteriaceae yang dibedakan dalam dua kelompok bakteri yaitu: (1) rod-shaped bacteria: Methanobacterium dan (2)

spherical cell: Methanosarcina, Methanococcus (Alexander, 1977). Sedangkan di zona perakaran padi terdapat sekelompok mikroba lain yang berperan sebagai methanotrof yang dapat mengoksidasi metana, misalnya Methylomonas, Methylobacter, Methylococcus. Metanotrof merupakan bakteri metilotrof yang menggunakan metana sebagai sumber karbon dan energinya (Prasetyo *et al.* 2004). Pendekatan yang terbaik mengurangi emisi tergantung pada kondisi lokal.



Gambar 3. Metode Pengambilan Gas di Lahan Rawa Pasang Surut

Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Di Lahan Rawa

Lahan sawah mempunyai peran dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca. Sistem pengelolaan tanaman yang tepat memberi sumbangan yang positif dalam langkah mitigasi gas rumah kaca dari sektor pertanian. Konsep utama dari mitigasi emisi gas rumah kaca terutama emisi metana adalah dengan meningkatkan konsentrasi oksigen pada lapisan anaerobik tanah dan mengurangi suplai karbon yang mudah terurai (setyanto, 2008). Kementerian Pertanian telah menyusun strategi antisipasi dan penanggulangan dalam menghadapi pemanasan global dan perubahan iklim yaitu: (1) strategi antisipasi yang ditujukan untuk menyiapkan strategi mitigasi dan adaptasi, (2) strategi mitigasi dilakukan dalam upaya mengurangi laju peningkatan penyebab pemanasan global melalui penyesuaian dan perbaikan praktek teknologi pertanian dan

mengurangi dampak perubahan iklim terhadap sistem dan produksi pertanian melalui penyesuaian dan perbaikan infrastruktur (sarana dan prasarana) pertanian dan penyesuaian dan teknologi pertanian dan (3) strategi adaptasi merupakan pengembangan berbagai upaya adaptif dengan situasi yang terjadi akibat dampak pemanasan global dan perubahan iklim terhadap sumberdaya infrastruktur (Las, 2007).

Beberapa hasil penelitian yang terkait dengan upaya mitigasi telah dilakukan diantaranya adalah: (1) pemanfaatan bahan organik kompos dalam budidaya padi dapat menekan emisi metana karena kualitas bahan organik yang baik. Semakin baik kualitas bahan organik yang diberikan pada budidaya padi di lahan sawah semakin sedikit metana yang lepas ke atmosfer. Kaur Khosa *et al.* (2010)

melaporkan ada korelasi positif nyata sebesar 0,82 antara emisi metana yang dilepaskan dengan nisbah C:N bahan organik; (2) pengelolaan air dengan penggenangan dan pelindian dapat meningkatkan konsentrasi oksigen pada lapisan anaerobik, sehingga menekan pembentukan CH_4 karena teroksidasi secara biologi oleh bakteri metanotropik. Liu *et al.* (2013) melaporkan bahwa penggenangan dalam budidaya padi sawah akan menurunkan fluks CO_2 dan rata-rata CO_2 yang dilepaskan sebesar $0.72 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{detik}^{-1}$, sedangkan setelah pengeringan fluks CO_2 yang dilepaskan sebesar $2,79 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{detik}^{-1}$. Hal ini disebabkan menurunnya proses difusi di lapisan atas serta terbatasnya aktivitas mikroorganisme pada kondisi anaerobik.

Dalam budidaya padi sawah tidak terlepas dari penggunaan pupuk, terutama pupuk N. Pupuk harus digunakan secara bijaksana karena in efisiensi penggunaan pupuk N menjadi sumber emisi N_2O . Nitrogen diterapkan dalam pupuk dan pupuk tidak selalu digunakan secara efisien oleh tanaman (Cassman et al 2003; Galloway et al 2003.). Praktek agronomi yang dapat mengefisienkan penggunaan pupuk N adalah dengan menyesuaikan tingkat aplikasi pupuk N berdasarkan estimasi yang tepat kebutuhan tanaman, penggunaan bahan penghambat nitrifikasi yang berfungsi untuk memperlambat proses mikroba yang menyebabkan pembentukan N_2O ; menempatkan N lebih tepatnya ke dalam tanah untuk membuatnya lebih mudah diakses untuk tanaman akar; menghindari aplikasi N kelebihan (Paustian et al. 2004)

Pengaturan air merupakan salah satu kunci utama dalam pengelolaan lahan sulfat masam untuk budidaya padi karena fungsinya tidak hanya sebagai pengendali potensial redoks tanah juga berkenaan dengan reaksi tanah serta pembentukan gas rumah kaca. Praktek mitigasi yang dapat dilakukan dengan mengendalikan pasokan air dan drainase. Pemberian air dengan sistem *intermittent* dalam budidaya padi

sawah dapat menekan emisi gas rumah kaca karena penggenangan dan pelindian akan meningkatkan konsentrasi oksigen di lapisan anaerobik tanah. Aktivitas mikroba dalam tanah distimulir oleh kondisi lingkungan sehingga pada kondisi anaerobik produksi CO_2 sangat terbatas, tetapi produksi CH_4 meningkat. Hasil penelitian Setyanto & Abubakar (2006) menunjukkan bahwa budidaya padi di lahan sawah dengan penggenangan tanah secara terus menerus dengan tinggi air 5 cm akan melepaskan emisi metana sebesar $254 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$, sedangkan dengan irigasi berselang memberikan emisi metana $136 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$.

KESIMPULAN

Emisi karbon dari lahan rawa dapat direduksi melalui perubahan praktek agronomi, seperti sistem pengelolaan tanaman yang tepat melalui penggunaan varietas padi unggul yang berumur genjah, pemupukan sesuai dengan kebutuhan tanaman dengan menerapkan Bagan Warna Daun (BWD) serta penggunaan bahan amelioran dan pengelolaan air yang tepat pada suatu kawasan hidrologis dapat menurunkan emisi sebagai upaya pengendalian atau pengurangan dampak perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BALITTRA (Balai Penelitian pertanian Lahan Rawa) yang telah memberi informasi berupa hasil-hasil penelitian di lahan rawa pasang surut.

DAFTAR PUSTAKA

Annisa, W. 2010. Pemberian Jerami Padi & Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) Pada Berbagai Tingkat Dekomposisi Terhadap Konsentrasi Besi Dalam Tanah & Serapan Besi Oleh Padi di Tanah Sulfat Masam.

- Tesis S2. Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan).
- Annisa, W and A. Maas. 2015. Effect of Compost Combination on Methane Emission in undisturbed Acid Sulphate Soil in South Kalimantan of Indonesia. *JTropSoils*, 20(3). 2015: 135-141. DOI: 10.5400/jts.2015.20.3.135. <http://journal.unila.ac.id/index.php/tropcalsoil>.
- Annisa, W and D. Nursyamsi. 2016. Iron Dynamic and Its Relation To Soil Redox Potential and Plant Growth In Acid Sulphate Soil of South Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 17(1) April 2016: 1-8. DOI:<http://dx.doi.org/10.21082/ijas.v17n1.2016>.
- Annisa, W. (2016). Peran Biochar Sekam Padi Terhadap Emisi Metana Di Lahan Pasang Surut. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian. Banjarbaru, 20 Juli 2016*.
- Annisa, W., D. Cahyana., H. Syahbuddin and A. Rachman. 2017. Laboratory Study of Methane Flux From Acid Sulphate Soil in South Kalimantan. International Conference on Innovative Research-ICIR EUROINVENT 2017. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 209 (2017) 012089. Doi: 10.1088/1757-899X/209/1/012089.
- Annisa, W dan D. Nursyamsi. 2016. Pengaruh Amelioran, Pupuk dan Sistem Pengelolaan Tanah Sulfat Masam Terhadap Hasil Padi dan Emisi Metana. *Jurnal Tanah dan Iklim* 40(2):135-145.
- BBSDLP. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi.. Laporan Teknis 1/BBSDLP/2014. Edisi ke-1. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor: 56 Hlm.
- Bouwman A. 2001. Global estimates of gaseous emissions from agricultural land. In FAO 2001 Rome, Italy:FAO
- Cassman K.G, Dobermann A, Walters D.T, Yang H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 315–358.
- Alexander, M. 1977. *Introducing to Soil Microbiology*. Second Edition. John Wiley and Sons. New York. 467p.
- Changchun, S., B. Yan., Y. Wang., Y. Lou., Z. Zhao. 2003. Fluxes of carbon dioxide and methane from swamp and impact factors in Sanjiang Plain, China. *Chinese Science Bulletin*. 48 (24): 2749-2753.
- Dubey, S.K. 2005. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: A Review. *Appl.Eco.Environ. Res.* 3(2): 1-27.
- Esmizade, Z., A. Landi., A. Gilani. 2010. Evaluating the amount of carbonic greenhouse gasses (GHGs) emission from rice paddies. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. 68-70p.
- Follett R.F. 2001. Organic carbon pools in grazing land soils. In The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect Follett R.F, Kimble J.M, Lal R 2001pp. 65–86. Eds. Boca Raton, FL:Lewis.
- Galloway J.N, Aber J.D, Erisman J.W, Seitzinger S.P, Howarth R.W, Cowling E.B, Cosby B.J. 2003 The nitrogen cascade. *Bioscience*. 53, 341–356.
- Hanhart, K and D.V. Ni. 1993. Water Management of Rice Fields at Hoa An, Mekong Delta, Vietnam. 161-176. In Dent, D.L., and M.E.F. Van Mensvorort (Ed). *Selected Papers*

- of The Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils. ILRI Pub. 53. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Netherlands.
- Janzen. 2004. Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104, 399–417.
- Jianwen, Z., H. Yao., Z. Lianggang., Z. Xunhua and W. Yuesi. 2004. Carbon Dioxide, Methane, and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Wheat Rotation as Affected by Crop Residue Incorporation and Temperature. *Advances in Atmospheric Sciences.* 21 (5): 691–698.
- Kesavan, P.C and M. S. Swaminatha (2008). Strategies and models for agricultural sustainability in developing Asian countries. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2008) 363; 877–891. doi:10.1098/rstb.2007.2189. Published online. 30 August 2007.
- Khosa, K., B.S. Sidhu and D.K. Benbi. 2007. Effect of organic materials and rice cultivars on methane emission from rice field. *Journal of Environmental Biology.* 31:281–285.
- Kongchum. 2005. Effect of Plant Residue and Water Management Practises on Soil Redox Chemistry, Methane Emission and Rice Productivity. A Dissertation, Louisiana State. 189p.
- Las. 2007. “Rawa Pilihan yang Tak Ada Pesaing”. *Tabloid Sinar Tani* Edisi 11-17 April 2007. Hlm 20: Agroinovasi Badan Litbang Pertanian. Deptan. Jakarta.
- Liu. Y., K. Wan., Y. Tao., Z. Li., G. Zhang., S. Li., F. Chen. 2013. Carbon Dioxide Flux from Rice Paddy Soils in Central China: Effects of Intermittent Flooding and Draining Cycles. *Journal Pone.* 0056562. February 20. doi: 10.1371.
- Minamikawa, K. and N. Sakai. 2006. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107: 397-407.
- Mosier A.R, Halvorson A.D, Peterson G.A, Robertson G.P, Sherrrod L. 2005. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 72, 67–76.
- Muhrizal, S., M. Lande., W. Andriesse. 1993. Farmers’ experiences in using acid sulphate soils: some examples from tidal swampland of southern Kalimantan, Indonesia. *In: Dent, D.L., M.E.F. Van Mensvoort* (Eds). Selected Papers of the Hoi Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soil, ILRI Publ. Vol. 53. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands. 113-122p
- Oenema O, Wrage N, Velthof G.L, van Groenigen J.W, Dolfing J, Kuikman P.J. 2005. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 72, 51–65.
- Prasetyo, B.H., & D. Setyorini. 2008. Karakteristik Tanah Sawah dari Endapan Aluvial dan Pengelolaannya. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2(1): 1-14.
- Prasetyo, B.H., J. Sri Adiningsih, K. Subagyono., R.D.M. Simanungkalit. 2004. Mineralogi, Kimia, Fisika dan Biologi Tanah Sawah. P. 29-82 dalam Agus, F., A. Adimihardja, S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, W. Hartatik (Eds). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Paustian, K. et al. 2004. Agricultural mitigation of greenhouse gases: science and policy options. Council on Agricultural Science and

- Technology (CAST) report, R141 2004, ISBN 1-887383-26-3, p. 120.
- Smith. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Eur. J. Agron.* 20, 2004a 229–236.
- Smith K.A and Conen F. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manage.* 20, 255–263.
- Suprihati., I. Anas., D. Murdiyarso., S. Sabiham., G. Djajakirana. 2006. Fluks Metana dan Karakteristik Tanah pada Beberapa Macam Sistem Budidaya. *Bul. Agron.* 34(3):. 181 – 187.
- Schlesinger W.H. 1999. Carbon sequestration in soils. *Science.* 284(5423) pp. 2095.
- Van Wijk, A.L.M., I P.G. Widjaja-Adhi., C.J. Ritsema., C.J.M. Konsten. 1992. Simulation model for acid sulphate soils, II. Validation and application. p. 357-367. *In* D.L. Dent, and M.E.F. Van Mensvoort (ed.). Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symp. on Acid Sulphate Soils, Vietnam, March 1992. ILRI publ. 53, Wageningen, The Netherlands.
- Watanabe, I., T. Hashimoto., A. Shimoyama. 1997. Methane-oxidizing activities and methanotrophic populations associated with wetland rice plants. *Biol. Fertil. Soils.* 24: 261-265.