

PEMUPUKAN PADI RENDAH EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DI LAHAN RAWA

Eni Maftu'ah dan Ani Susilawati
Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa,
Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70700
Email: eni_balittra@yahoo.com

RINGKASAN

Lahan rawa berpeluang untuk dijadikan lumbung pangan (beras), namun umumnya produktivitas lahan rawa lebih rendah dibandingkan lahan irigasi. Peningkatan produktivitas lahan rawa salah satunya melalui pemupukan. Emisi GRK (CH_4 , CO_2 , dan N_2O) sering kali menyertai pemanfaatan lahan untuk pengembangan padi, dan bahkan disinyalir 15% emisi global berasal dari lahan padi. Upaya mitigasi emisi GRK diperlukan untuk mewujudkan pengelolaan lahan rawa untuk tanaman padi yang ramah lingkungan. Pemupukan salah satu tindakan pengelolaan hara guna memenuhi kebutuhan hara tanaman padi dan ketersediaan hara dalam tanah. Pemupukan berimbang sangat diperlukan tanaman untuk meningkatkan produktivitasnya serta mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Dosis pemupukan tidak selalu linear dengan hasil tanaman, sebaliknya dosis pupuk yang tinggi dapat meningkatkan emisi GRK. Pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk organik juga dapat menekan emisi GRK. Beberapa teknologi pemupukan di lahan rawa untuk tanaman padi yang dapat menekan emisi GRK, antara lain penerapan sistem pertanian *zero waste*, pemupukan tepat jenis, dosis, dan waktu, penggunaan bahan penghambat nitrifikasi dan penggunaan pupuk daun.

Penerapan sistem *zero waste* dengan memanfaatkan limbah pertanian menjadi pupuk organik atau biochar selain dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik juga dapat menekan emisi GRK. Pemupukan tepat jenis, dosis dan waktu akan meningkatkan efektivitas pemupukan yang tergantung pada kebutuhan tanaman dan ketersediaan hara dalam tanah. Penggunaan bahan inhibitor nitrifikasi dapat menekan emisi N_2O , sedangkan pupuk daun selain dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N juga dapat menekan emisi N_2O .

I. PENDAHULUAN

Prediksi kebutuhan beras pada tahun 2045 mencapai 48 juta ton, jagung mencapai 24,65 juta ton, dan kedelai 3,04 juta ton (Sudaryanto *et al.* 2010). Kebutuhan pangan yang semakin meningkat tersebut menuntut penyediaan lahan untuk memenuhinya. Pengembangan pertanian lahan rawa merupakan salah satu upaya dalam menjawab tantangan peningkatan produksi pertanian yang makin kompleks. Dengan pengelolaan yang tepat melalui penerapan inovasi teknologi yang sesuai, lahan rawa memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian yang produktif (Arsyad *et al.* 2014).

Lahan rawa berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai areal pengembangan padi untuk mendukung swasembada beras di Indonesia. Pengembangan padi di lahan rawa masih tertinggal dibandingkan dengan agroekosistem lainnya, seperti lahan tadah hujan dan lahan irigasi. Ketertinggalan tersebut di antaranya dalam aspek produktivitas lahan dan teknologi yang diterapkan. Kondisi ini disebabkan oleh karakteristik lahan rawa yang memang berbeda dengan lahan irigasi maupun tadah hujan, serta kurangnya pemahaman yang baik terhadap rawa, baik oleh petani, pengusaha, bahkan para pengambil kebijakan. Di sisi lain, lahan rawa sangat berpotensi diubah perannya menjadi lumbung pangan alternatif yang andal. Untuk mencapai hal tersebut tentu memerlukan dukungan teknologi inovatif untuk meningkatkan produktivitas lahan.

Peningkatan produksi yang terjadi pada tahun 1971 dari 20,6 juta ton menjadi lebih dari 54 juta ton pada tahun 2006 lebih banyak disumbangkan oleh peningkatan produktivitas dibandingkan pada peningkatan luas panen (Sembiring 2007). Produktivitas lahan rawa sangat beragam, selain tergantung pada tipologi rawa, tipe luapan atau tipe lebak, jenis tanah, dan

masukan (input) termasuk varietas dan pola tanam serta pengelolaan lahan. Pemanfaatan lahan rawa untuk budi daya tanaman pangan, khususnya padi, menghadapi beberapa hambatan dan masalah, di antaranya kesuburan tanah yang rendah, reaksi tanah yang masam, adanya pirit, tingginya kadar Al, Fe, Mn, dan asam organik, kahat P, miskin kation basa seperti Ca, K, Mg, serta tertekannya aktivitas mikroba (Arsyad *et al.* 2014). Pemupukan merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa. Pemupukan berimbang spesifik lokasi diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

Lahan sawah memberikan kontribusi yang besar sekitar 15% dari seluruh emisi GRK, sehingga perlu upaya untuk diturunkan. Lahan pertanian di Indonesia diduga memberikan kontribusi metana sebesar 3,4-4,5 ton eq/tahun (Setyanto *et al.* 2008). Emisi gas rumah kaca pada lahan rawa yang disawahkan ini dipengaruhi oleh kondisi oksidasi dan reduksi tanah. Secara teoretis emisi metana terjadi pada kondisi reduksi kuat ($Eh < -250mV$), namun akibat penambahan amelioran dan pupuk akan meningkatkan aktivitas mikroba methanogen. Setyanto (2008), menyatakan bahwa dekomposisi anaerobik di lahan sawah akan menghasilkan CH_4 . Bahan organik ini menstimulasi produksi metana melalui suatu rangkaian proses yang diakhiri dengan pembentukan CO_2 dan CH_4 . Pada lahan sawah tergenang, methanogenesis diuntungkan oleh kondisi anoksik, ketersediaan bahan organik dari akar, sisa jerami, dan biomassa fotosintetik tanaman air, pH tanah mendekati netral, suhu tanah berkisar 20-30°C selama pertumbuhan tanaman padi.

Tanaman padi tidak hanya sebagai media fluks CH_4 , namun eksudat akar dan akar yang terdegradasi memungkinkan sebagai pembentukan CH_4 , terutama pada saat berakhirnya fase pertumbuhan tanaman. Eksudat akar merupakan bahan organik yang merupakan salah satu sumber energi bagi bakteri methanogen. Emisi metana dari tanah sawah pada tahun 1990 diperkirakan mencapai 20-120 juta ton/tahun atau sekitar 12,5% dari emisi metana global sebesar 470-650 juta ton/tahun. Faktor penting yang memengaruhi cepat lambatnya proses produksi dan konsumsi gas CH_4 salah satunya reaksi reduksi dan oksidasi dari oksidan-oksidan tanah seperti NO_3^- , SO_4^{2-} , Fe_2O_3 , MnO_4^- dan CO_2 (Sudadi 2002). Redoks potensial tanah adalah faktor penting pengontrol pembentukan CH_4 . Bakteri methanogenik dapat bekerja optimal pada redoks potensial $< -150 mV$.

Emisi CH_4 , N_2O , dan CO_2 sangat dipengaruhi oleh penggunaan lahan, karakteristik tanah dan pengelolaan lahan di antaranya ameliorasi dan pemupukan. Penerapan pemupukan di lahan rawa yang rendah emisi GRK untuk padi diperlukan untuk mewujudkan pertanian ramah lingkungan. Pertanian ramah lingkungan adalah sistem pertanian yang berbasis teknologi peningkatan produktivitas berkelanjutan dan secara ekonomi menguntungkan serta diterima secara sosial budaya dan tidak merusak/mengurangi fungsi lingkungan. Salah satu upaya untuk mewujudkan pertanian ramah lingkungan adalah upaya untuk mengurangi emisi GRK atau mitigasi GRK. Tulisan ini menguraikan tentang potensi lahan rawa untuk pengembangan padi, kebutuhan hara tanaman padi dan teknologi pemupukan padi rendah emisi GRK di lahan rawa.

II. POTENSI LAHAN RAWA UNTUK TANAMAN PADI

Lahan rawa adalah lahan yang sepanjang tahun atau selama waktu yang panjang dalam setahun, selalu jenuh air atau tergenang (Subagyo 2006). Lahan rawa termasuk dalam lahan suboptimal, karena mempunyai produktivitas rendah akibat dari faktor internal dan eksternal (Mulyani dan Sarwani 2013). Pemanfaatan lahan suboptimal termasuk rawa akan menjadi tumpuan harapan masa depan, namun memerlukan inovasi teknologi untuk mengatasi kendalanya sesuai karakteristik dan tipologi lahannya.

Karakteristik lahan rawa beragam, tergantung pada tipologi lahan. Lahan rawa pasang surut dipengaruhi oleh gerakan air pasang surut laut dan atau sungai, baik langsung maupun tidak langsung, sedangkan rawa lebak lebih dipengaruhi oleh air setempat (*water logging*) dan air kiriman dari kawasan hulu. Lahan rawa pasang surut terdiri dari tanah gambut dan sulfat masam. Lahan ini umumnya mempunyai tingkat kesuburan dan produktivitas rendah sehingga untuk pengembangan pertanian diperlukan input teknologi seperti varietas yang tahan masam dan genangan, tahan salinitas tinggi, dan diperlukan drainase dan tata air mikro. Lahan rawa lebak tidak terpengaruh oleh pasang surut (rawa non pasang surut), tetapi dipengaruhi oleh sungai yang sangat dominan, yaitu berupa banjir besar yang secara periodik minimal 3 bulan menggenangi wilayah setinggi 50 cm (Subagyo 2006). Lahan rawa lebak mempunyai kesuburan yang lebih baik dibandingkan lahan rawa pasang surut.

Luas lahan rawa di Indonesia mencapai 34,12 juta hektar terbagi atas lahan rawa pasang surut seluas 8,92 juta hektar dan lahan rawa lebak seluas 25,20 juta hektar (BBSDLP 2015). Luas lahan rawa di empat pulau besar tercantum pada Tabel 13. Menurut Alihamsyah (2004), luas lahan rawa pasang surut yang telah direklamasi sekitar 65,8%, sedangkan lahan rawa lebak lebih sedikit sekitar 5,5%. Sebaran lahan rawa yang berpotensi untuk padi sawah menurut tipologi tercantum pada Tabel 14. Besarnya potensi yang dimiliki lahan rawa tersebut memerlukan sentuhan teknologi selain untuk meningkatkan luas panen namun juga produktivitas lahan.

Tabel 13. Luas dan sebaran lahan rawa menurut pulau di Indonesia

Pulau	Luas Rawa (Juta ha)		Jumlah (Juta ha)
	Rawa Pasang Surut	Rawa Lebak	
Kalimantan	2,99	7,04	10,03
Sumatera	3,03	9,91	12,93
Sulawesi	0,32	0,32	1,05
Papua	2,43	7,44	9,87
Maluku	0,07	0,09	0,16
Jawa	0,09	0	0,09
Jumlah	8,92	25,21	34.12

Sumber: BBSDLP (2016)

Tabel 14. Luas lahan rawa yang berpotensi untuk pertanian padi sawah

Pulau	Tipologi Lahan Rawa (Juta Hektar)				Jumlah (Juta Hektar)
	Rawa Pasang Surut		Rawa Lebak		
	Mineral	Gambut	Mineral	Gambut	
Kalimantan	0,567	0	2,684	0,017	3,269
Sumatera	1,656	0,173	3,620	1,402	6,851
Sulawesi	0,010	0	0,671	0	0,681
Papua	0,286	0,003	1,819	1,080	3,188
Maluku	0,011	0	0,089	0	0,100
Jawa	0,095	0	0	0	0,095
Jumlah	2,625	0,176	8,883	2,499	14,185

Sumber: BBSDLP (2016)

Lahan rawa yang belum direklamasi berpotensi untuk dijadikan areal pengembangan padi, dengan memerhatikan karakteristik lahan. Potensi lahan rawa yang demikian besar, harus diupayakan semaksimal mungkin untuk mendukung peningkatan produksi nasional dengan tanpa harus merusak lingkungan. Dengan kata lain sistem pertanian di lahan rawa harus tetap berlangsung tanpa terjadi penurunan produksi karena kualitas lingkungannya tetap terjaga.

Lahan rawa mempunyai tingkat kesesuaian lahan untuk pengembangan padi yang bervariasi, mulai dari sangat sesuai sampai tidak sesuai. Tingkat kesesuaian lahan rawa untuk pengembangan padi tergantung pada keberadaan bahan sulfidik (cm), ketebalan gambut, kematangan gambut, tipe luapan, ketersediaan hara N, P, dan K (Tabel 15).

Tabel 15. Klasifikasi kesesuaian lahan rawa untuk tanaman padi

Karakteristik Lahan	S1 (sangat sesuai)	S2 (cukup sesuai)	S3 (sesuai marginal)	N (Tidak Sesuai)
Ketebalan gambut (cm)	< 40	40-100	100-140	>140
Kematangan gambut	Saprik	Saprik, hemik	Hemik	Fabrik
Salinitas (dS/m)	< 2	2- 4	4-6	>6
Kedalaman sulfidik (cm)	>100	75-100	40-75	<40
Bahaya genangan				
-Tinggi genangan (cm)	25	25-50	50-75	>75
-Lama genangan (hari)	Tanpa	<7	7 - 14	>14
Ketersediaan hara				
- N total (%)	Sedang	rendah	Sangat rendah	-
- P ₂ O ₅ (mg/100g)	Tinggi	sedang	Rendah-sangat rendah	-
- K ₂ O (mg/100g)	Sedang	rendah	Sangat rendah	-

Keterangan: - ; tidak terukur karena terlalu kecil (tidak diperhitungkan)

Sumber: Permentan No. 79 Tahun 2013

Peningkatan kelas kesesuaian lahan dapat dilakukan dengan memperbaiki ketersediaan hara. Salah satu upaya untuk memperbaiki ketersediaan hara tanaman melalui pemupukan. Budi daya padi lahan rawa mempunyai risiko yang cukup tinggi karena pada umumnya lahan rawa bersifat masam, miskin unsur hara, dan pada lahan sulfat masam

mengandung besi (Fe) yang tinggi, sehingga bisa menyebabkan keracunan dan bahkan gagal panen. Pemupukan yang tepat mampu meningkatkan keberhasilan usahatani dan produksi tanaman padi di lahan rawa.

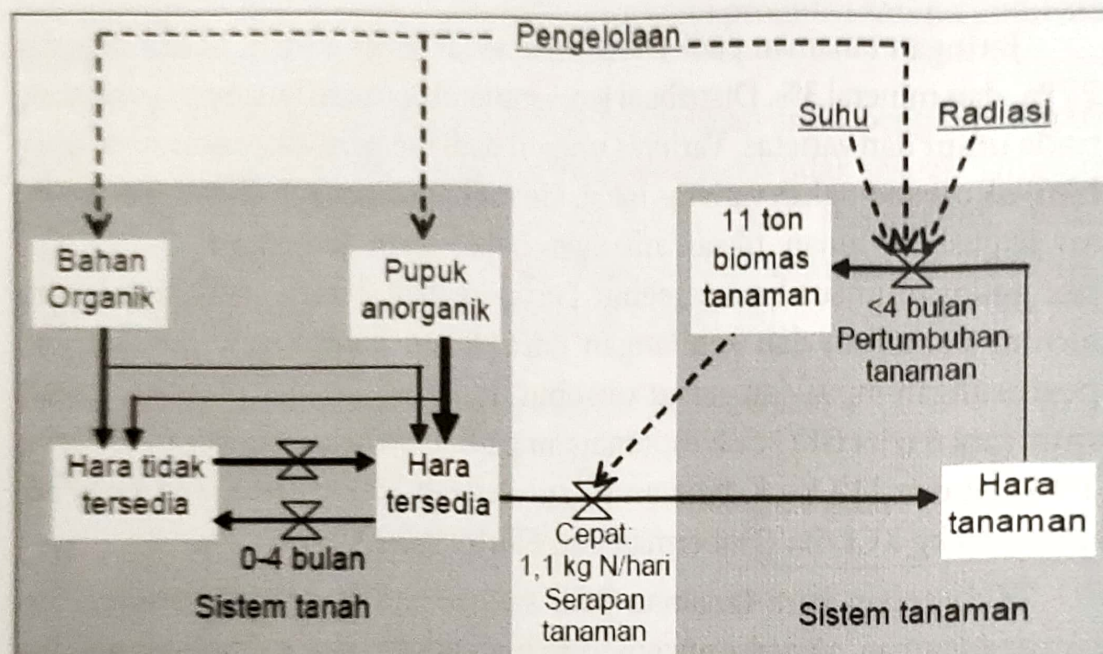
III. KEBUTUHAN HARA TANAMAN PADI

Jaringan tanaman padi tersusun atas air sebesar 70%, bahan organik 27%, dan mineral 3%. Distribusi jenis mineral di dalam tanaman tergantung pada umur dan varietas. Varietas unggul padi memerlukan unsur hara lebih banyak dibandingkan varietas lokal. Unsur hara diperoleh dari dalam tanah, air irigasi, air hujan, fiksasi nitrogen bebas serta dari pupuk. *Output* dari penggunaan unsur hara tersebut berupa gabah, jerami, kehilangan hara akibat perkolasi, dan kehilangan hara dalam bentuk gas. Berdasarkan perhitungan input dan *output* tersebut, maka untuk menghasilkan gabah rata-rata 6 t/ha GKG (VUB), tanaman padi membutuhkan hara 165 kg N, 19 kg P, dan 112 Kg K/ha atau setara dengan 350 kg urea, 120 kg SP36, dan 225 kg KCL/ha (Doberman dan Fairhust 2000).

Kebutuhan hara tanaman padi sangat terkait dengan varietas dan umur tanaman. Varietas unggul yang mempunyai potensi hasil tinggi dan berumur pendek, kebutuhan hara tanaman selain lebih banyak, kecepatan penyerapannya juga lebih cepat karena umur tanaman lebih pendek dibandingkan varietas lokal. Total hara yang diperlukan tanaman padi untuk hasil tinggi (unggul) masing-masing sebesar + 135 kg N, + 15 kg P, dan + 81 kg K/ha selama empat bulan, sehingga kecepatan penyerapan hara N, P, dan K oleh tanaman padi rata-rata 1,1 kg N/ha/hari, 0,12 kg P/ha/hari dan 0,7 kg K/ha/hari, dua kali lebih cepat dibandingkan dengan penyerapan hara padi varietas lokal (Makarim dan Suhartatik 2006).

Kebutuhan hara tanaman yang tinggi tentu tidak dapat tercukupi jika hanya mengandalkan sisa panen, tanpa menggunakan input dari luar terutama dari pupuk anorganik. Pertanaman padi menggunakan varietas unggul memungkinkan diusahakan dua kali setahun, di mana masa bera tidak cukup lama untuk mengelola bahan organik (sisa panen, kotoran ternak, dan sebagainya). Apabila kebutuhan hara tanaman hanya akan dipenuhi dengan pemberian bahan organik, jumlahnya akan sangat banyak (>10 t/ha). Masalah lainnya adalah kecepatan penyediaan hara bagi tanaman yang harus cepat, sehingga penggunaan bahan organik saja tidak dapat memenuhi kebutuhan tanaman. Bahan organik pada umumnya

melepas hara tersedia jauh lebih lambat dibandingkan dengan pupuk kimia. Oleh karena itu, diperlukan pemberian pupuk anorganik guna memenuhi kebutuhan hara tanaman di awal pertumbuhan, kecuali jika telah ada teknologi pengolahan bahan organik yang dapat melepas hara tersedia yang sama cepat dengan pupuk anorganik.



Sumber: Makarim dan Suhartatik (2006)

Gambar 18. Sistem pergerakan hara pada pertanaman padi

Pengelolaan lahan rawa untuk tanaman padi sangat terkait dengan pemenuhan kebutuhan hara bagi tanaman padi dan ketersediaan hara dalam tanah (Gambar 18). Ketersediaan hara di lahan rawa berhubungan dengan kondisi oksidasi dan reduksi tanah. Proses biokimia yang terjadi pada kondisi tergenang (anaerob) berbeda dengan kondisi aerob. Pada kondisi tergenang aktivitas mikroorganisme anaerob lebih aktif, nilai potensial redoks (Eh) turun, pH meningkat, terjadi reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} , Mn^{4+} menjadi Mn^{2+} , reduksi NO_3 dan NO_2 menjadi NH_4 , N_2 dan N_2O , peningkatan ketersediaan fosfat, silikon, dan molybdenum, menurunkan hara Zn (seng), dan Cu (tembaga) yang larut dan merangsang terbentuknya senyawa karbon dioksida, metana, dan senyawa beracun seperti asam organik dan sulfida hydrogen (Reddy dan DeLaune 2008). Namun pada tanah yang tergenangi tidak semua bagian dalam kondisi anaerob, terutama pada lapisan atas (2 mm-20 mm) tetap oksidatif karena berada dalam keseimbangan dengan oksigen yang terlarut dalam lapisan air dan lapisan bawahnya reduktif.

Tanaman padi dapat tumbuh normal pada kisaran pH optimum mendekati netral. Kemasaman tanah yang tinggi menyebabkan peningkatan kelarutan unsur-unsur meracun, seperti Al, Fe, dan Mn. Peningkatan kelarutan unsur meracun tersebut diiringi dengan kahat hara makro (P, Ca, Mg, K) dan hara mikro (Cu dan Zn). Reaksi potensial redoks dan pH pada tanah tergenang selalu bekerja bersama-sama, dan keadaan ini sangat berpengaruh terhadap keseimbangan reaksi kimia. Meningkatkan nilai pH pada tanah masam membantu pengambilan unsur hara oleh tanaman.

3.1. Hara N

Tanaman padi memerlukan hara N untuk pertumbuhan, pembentukan gabah, juga meningkatkan kualitas hasil tanaman pangan lainnya. Fageria dan Virupax (1999) menyatakan bahwa nitrogen merupakan faktor kunci dan masukan produksi yang termahal pada usaha padi sawah, dan apabila penggunaannya tidak tepat dapat mencemari air tanah. Selain itu, pemupukan N yang berlebihan menyebabkan emisi gas N_2O dari hasil proses amonifikasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi. Menurut Whalen (2000), emisi gas N_2O dipengaruhi oleh takaran pupuk N yang diberikan; makin tinggi takaran N, makin besar emisi gas N_2O . Lebih lanjut dinyatakan bahwa emisi gas N_2O berkaitan erat dengan bentuk pupuk N. Urea tablet memberikan emisi gas N_2O terendah, dan tertinggi pada pupuk urea butiran. Makin efisien penggunaan pupuk N, makin rendah tingkat emisi gas N_2O .

Kebutuhan tanaman padi terhadap unsur N sangat tergantung pada varietas tanaman dan kondisi tanah. Pemupukan N dapat didasarkan pada kandungan N dalam daun tanaman yang ditunjukkan oleh penampakan warna daun. Penentuan kondisi tanaman kritis terhadap N dilakukan dengan menggunakan *chlorophyll meter* (SPAD) yang dapat mendeteksi kandungan hara tanaman. Metode ini kemudian dimodifikasi dengan suatu alat berupa bagan warna daun (BWD) atau *leaf color chart* (LCC) karena harga alat SPAD cukup mahal (sekitar US\$ 1500/unit) sehingga sulit dijangkau oleh petani (Wahid 2003). Penggunaan alat paraga BWD (Bagan warna Daun) dapat menduga status N daun dan bersifat murah, mudah dan ramah lingkungan.

3.2. Hara P

Lahan rawa umumnya mempunyai kandungan P tersedia yang rendah. Pada tanah gambut defisiensi P sering terjadi yang diakibatkan oleh kemampuan gambut dalam meretensi hara P sangat rendah. Pada

tanah sulfat masam, saat kondisi okidasi menyebabkan kelarutan Al meningkat, sedangkan pada kondisi reduksi terjadi peningkatan kelarutan Fe^{2+} yang dapat meracuni tanaman (Dobermann dan Faihurst 2000). Tingginya konsentrasi besi dalam larutan tanah akan menurunkan serapan hara lainnya seperti P dan K. Kekahatan P terutama disebabkan karena tersematnya P pada fraksi Al dan Fe terlarut dalam suasana masam. Dalam keadaan reduktif bentuk P dalam ikatan Fe-P mungkin juga Al-P lepas, menjadi bentuk tersedia setelah penggenangan bertahap.

3.3. Hara K

Unsur hara K umumnya tidak menjadi kendala utama dalam budi daya padi di lahan rawa. Penggenangan menurunkan potensial redoks (Eh) tanah sehingga meningkatkan kelarutan Fe^{2+} dan Mn^{2+} . Kation-kation ini dapat menggantikan K yang diabsorpsi liat sehingga K dilepaskan ke dalam larutan tanah. Oleh sebab itu, penggenangan dapat meningkatkan ketersediaan K tanah, namun juga meningkatkan konsentrasi Fe^{2+} . Pada tanah sawah yang drainasenya buruk karena Eh-nya sangat rendah dapat terjadi kekahatan K. Hal ini karena daya oksidasi akar sekitar rizosfer sangat rendah dan adanya akumulasi asam-asam organik dalam larutan tanah, yang dapat menghambat serapan K oleh akar tanaman.

Kalium dalam jaringan tanaman sangat berperan dalam fungsi fisiologi dan proses biokimia tanaman. Kalium memengaruhi beberapa proses fisiologis dalam tanaman, antara lain pertumbuhan jaringan meristem, kadar air dalam jaringan tanaman, fotosintesis dan proses transportasi dalam jaringan tanaman sehingga memengaruhi kualitas hasil tanaman. Kalium tidak hanya memengaruhi proses fisiologis tanaman, tetapi juga metabolisme dalam jaringan tanaman (Yeo dan Flowers 2007). Hara K sangat diperlukan oleh tanaman untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit dan menekan keracunan Fe di lahan pasang surut.

Pemupukan tanaman padi harus berdasarkan kebutuhan dan kondisi lingkungannya. Penggunaan pupuk yang berlebihan selain tidak efektif juga dapat merugikan bagi tanaman, tanah, dan lingkungan serta tidak ekonomis. Pada tanah gambut diperlukan hara makro N, P, K serta mikro Cu dan Zn, Si dalam jumlah yang cukup. Lahan gambut umumnya kekurangan unsur hara mikro, sehingga penambahan unsur mikro Cu dan Zn sangat diperlukan untuk pertanaman padi. Pertanaman padi di lahan gambut memerlukan pupuk anorganik seperti Urea, SP-36 dan KCl dengan

takaran 90-60-60 kg/ha, dan pupuk mikro (5,0 Cu kg/ha dan 5 kg Zn/ha). Pupuk Urea dan KCl diberikan dua kali, yaitu ½ bagian pada saat tanam dan sisanya pada umur 3-4 minggu atau bersamaan dengan penyiangan, dan pupuk SP36 diberikan sekaligus pada saat tanam.

Defisiensi hara pada tanaman padi akan berpengaruh terhadap hasil dan produksi padi, serta ketahanan pangan dan pendapatan petani. Sebaliknya, kelebihan penggunaan pupuk akan berdampak terhadap peningkatan biaya produksi, pencemaran lingkungan dan kehidupan mikroorganisme tanah terganggu. Dosis rekomendasi pemupukan diperlukan sebagai gambaran kebutuhan pupuk pada tipologi lahan tertentu. Dosis rekomendasi pemupukan untuk tanaman padi di lahan rawa lebak pada Tabel 16.

Tabel 16. Dosis Pupuk dan Cara Pemberiannya pada Padi Rintak di Lahan Rawa Lebak

Jenis tanah	Dosis pupuk	Waktu dan cara pemberian
Bergambut	<ul style="list-style-type: none"> - N (78-90) kg/ha - P₂O₅ (27-36) kg/ha - K₂O 50 kg/ha - CuSO₄ (3-5) kg/ha - Kapur (dolomit) dosis-rendah 500 kg/ha 	<ul style="list-style-type: none"> - Sepertiga bagian pupuk N dan seluruh pupuk P dan K, diberikan 7-10 hari setelah tanam (hst) - Dua pertiga bagian pupuk N diberikan pada saat tanaman berumur satu bulan. - Kapur tidak harus diberikan
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> - N 90 kg/ha - P₂O₅ (27-36) kg/ha - K₂O 50 kg/ha 	<ul style="list-style-type: none"> - Sepertiga bagian pupuk N dan seluruh pupuk P, K - Dua pertiga bagian pupuk N diberikan pada saat tanaman berumur satu bulan.

Keterangan: Dosis pemberian perlu disesuaikan dengan kondisi lahan, status hara tanah dan rekomendasi wilayah jika telah ada.

Sumber: Ar-Riza 2005.

Efektivitas pemupukan dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan sifat asli tanah dan faktor-faktor lingkungan yang memengaruhinya seperti pemanfaatan bahan organik insitu, dinamika hidrologi lahan yang berpotensi menjadi sumber hara atau sebaliknya berperan sebagai agen pelindi hara. Secara umum konsep di atas dapat dikategorikan sebagai “konsep pemupukan spesifik lokasi”, yang telah dikembangkan oleh IRRI dan Balai Besar Padi, konsep ini memperhitungkan segala sumber daya alam yang terdapat di sekitar lahan dan kebutuhan tanaman akan unsur hara. Konsep pemupukan demikian dilakukan dengan pendekatan terhadap target hasil, yaitu pemberian pupuk dengan mengacu pada keseimbangan

hara yang diperlukan tanaman berdasarkan target hasil yang ingin dicapai dan kemampuan tanah menyediakan hara tersebut (Alwi dan Fahmi 2016). Saat ini telah tersedia *Decision Support System* (DSS) pemupukan padi lahan rawa yang ramah pengguna dan dapat diakses melalui website Balittra. Perbaikan hasil tanaman padi yang diperoleh dari perlakuan dosis pupuk berdasarkan DSS ini didukung oleh perbaikan sifat kimia tanah seperti kadar hara dan kemasaman tanah maupun sifat tanah lainnya seperti kadar Fe, Al dan potensial redoks tanah (Alwi dan Fahmi 2016).

IV. EMISI GRK PADA PERTANAMAN PADI

Pemerintah mendorong pengembangan padi di lahan-lahan marginal seperti lahan rawa karena sumber daya lahannya belum dimanfaatkan secara optimal. Peningkatan pengembangan lahan rawa ke depan sebagai areal pengembangan padi yang produktif sangat dimungkinkan. Pemanfaatan lahan rawa untuk pertanaman padi sawah dapat meningkatkan emisi GRK. Indonesia dengan luas lahan pertanian 6,8% dari luas lahan pertanian dunia diduga memberi kontribusi sebesar 3,4-4,5 Tg CH₄/tahun (1 Tg = 10¹² g). (Setyanto dan Kartikawati 2008).

Emisi gas rumah kaca pada lahan rawa yang disawahkan ini dipengaruhi oleh kondisi oksidasi dan reduksi tanah. Secara teoretis emisi metana terjadi pada kondisi reduksi kuat ($E_h < -250\text{mV}$), namun akibat penambahan amelioran dan pupuk akan meningkatkan aktivitas mikroba methanogen. Setyanto (2008), menyatakan bahwa dekomposisi anaerobik di lahan sawah akan menghasilkan CH₄. Bahan organik ini menstimulasi produksi metana melalui suatu rangkaian proses yang diakhiri dengan pembentukan CO₂ dan CH₄. Pada lahan sawah tergenang, methanogenesis diuntungkan oleh kondisi anoksik, ketersediaan bahan organik dari akar, sisa jerami, dan biomassa fotosintetik tanaman air, pH tanah mendekati netral, suhu tanah berkisar 20-30°C selama pertumbuhan tanaman padi.

4.1. Emisi Metana (CH₄)

Lahan rawa yang dikembangkan sebagai areal persawahan padi bersifat anaerob kuat. Senyawa-senyawa karbon mengalami reduksi secara mikrobiologis menjadi gas metana (CH₄) melalui proses metanogenesis. Fluks CH₄ tidak hanya berasal dari tanaman padi, namun eksudat akar dan akar yang terdegradasi memungkinkan sebagai pembentukan CH₄.

terutama pada saat berakhirnya fase pertumbuhan tanaman. Eksudat akar merupakan bahan organik yang merupakan salah satu sumber energi bagi bakteri metanogen (Bachelet *et al.* 1993 dalam Wihardjaka dan Abdurrahman 2007). Faktor penting yang memengaruhi cepat lambatnya proses produksi dan konsumsi gas CH₄ salah satunya adalah reaksi reduksi dan oksidasi dari oksidan-oksidan tanah seperti NO₃⁻, SO₄²⁻, Fe₂O₃, MnO₄⁻ dan CO₂ (Sudadi 2002). Redoks potensial tanah adalah faktor penting pengontrol pembentukan CH₄. Bakteri metanogenik dapat bekerja optimal pada redoks potensial < -150 mV.

Emisi CH₄ sangat dipengaruhi oleh penggunaan lahan, karakteristik tanah dan bahan amelioran yang diberikan. Menurut Jauhianinen *et al.* (2004) bahwa emisi metana (CH₄) pada tanah gambut yang tergenang (disawahkan) cukup signifikan, tetapi pada pertanian yang berdrainase emisi CH₄ berkurang. Emisi metana di lahan rawa pasang surut yang disawahkan dapat terjadi jika kondisi lahan bersifat anaerob, terdapat sumber karbon yang dapat didekomposisikan dan kondisi lingkungan mendukung pertumbuhan bakteri. Proses pembentukan metana ini dibantu oleh bakteri *methanogen*, sedangkan bakteri yang berperan dalam mengonsumsi metana adalah *methanotroph*. Pada tanah sawah metana diproduksi sebagai hasil antara dan hasil akhir dari proses mikrobial, seperti dekomposisi anaerobik bahan organik oleh bakteri *methanogen*. Sebagian dari metana yang diproduksi akan dioksidasikan oleh bakteri *methanotroph* yang bersifat aerobik di lapisan permukaan tanah dan di zona perakaran. Sisa metana yang tidak teroksidasi ditransportasikan ke atmosfer dengan cara difusi melalui air genangan, ebulisi atau pembentukan gelembung-gelembung gas serta transportasi melalui *aerenchyma* padi (Sudadi 2002).

Emisi gas rumah kaca pada lahan rawa yang disawahkan ini dipengaruhi oleh kondisi oksidasi dan reduksi tanah. Pada kondisi tergenang (anaerobik) mempercepat penggunaan serangkaian aseptor elektron seperti O₂, nitrat, Mn⁴⁺, Fe³⁺ dan sulfat. Produksi metana mulai berlangsung pada kondisi reduksi setelah elektron aseptor tersebut berkurang. Secara teoretis emisi metana terjadi pada kondisi reduksi kuat (Eh < -250mV), namun akibat penambahan amelioran dan pupuk akan meningkatkan aktivitas mikroba *methanogen*.

Emisi metana dipengaruhi antara lain oleh: Eh tanah, substrat gambut, suhu tanah, reaksi tanah (pH), praktik budi daya dan varietas padi. Sudadi (2002) menjelaskan bahwa potensial redoks (Eh) merupakan faktor

utama yang memengaruhi produksi metana pada tanah sawah, karena bakteri *methanogen* hanya dapat beraktivitas pada kondisi tanpa oksigen atau $Eh < -200mV$ (Sudadi 2002). Substrat yang paling menentukan laju pelepasan metana adalah kualitas substrat organik primer. Nisbah C/N gambut berkaitan erat dengan perkembangan bakteri *methanogen* dalam tanah gambut yang disawahkan. Suhu juga memengaruhi aktivitas bakteri metahogen, aktivitas optimalnya terjadi pada suhu $30-40^{\circ}C$ (Sudadi 2002). pH tanah yang mendukung aktivitas bakteri methanogen adalah pada pH sekitar netral (Concrad dan Schutz 1988 dalam Sudadi, 2000). Selain kondisi lingkungan di atas, aktivitas bakteri *methanogen* juga dipengaruhi oleh praktik budi daya dan varietas padi yang digunakan. Aplikasi bahan organik mentah akan meningkatkan laju terbentuknya gas metana, begitu juga dengan penggenangan yang terus-menerus. Varietas padi juga memengaruhi produksi metana pada tanah sawah, padi IR 64 memberikan emisi metana lebih rendah dibandingkan varietas Ciherang (Wihardjaka 2007).

4.2. Emisi CO₂

Karbondioksida (CO₂) diemisikan ke atmosfer melalui proses respirasi tanah. Respirasi tanah merupakan gabungan antara tiga proses biologi (respirasi mikroorganisme, respirasi akar, dan respirasi hewan) dan satu proses non-biologi (proses oksidasi kimia) (Rastogi *et al.* 2002). Beberapa faktor yang memengaruhi besarnya emisi CO₂ dari tanah adalah suhu, kelembapan, variasi pola diurnal, variasi musim dan ruang gerak, tekstur tanah, pH tanah, salinitas, tekanan atmosfer, aplikasi pupuk organik dan buatan, penggunaan inhibitor nitrifikasi, jenis tanaman budi daya, dan pengolahan lahan (Rastogi *et al.* 2002).

Karbondioksida dihasilkan dalam jumlah yang besar pada lahan-lahan gambut yang sudah dibuka dan dimanfaatkan sebagai lahan pertanian. Meskipun emisi CO₂ sangat tinggi di lahan pertanian, tetapi gas ini akan kembali digunakan tanaman saat berlangsungnya proses fotosintesis dan akan dikonservasikan ke bentuk biomas tanaman. Karbondioksida kemudian disimpan dalam tanah sebagai karbon organik, sehingga tanah gambut dapat bertindak sebagai rosot (*sink*) (Rinnan *et al.* 2003). Produksi CO₂ dari tanah berasal dari hasil dekomposisi bahan organik secara aerobik, respirasi akar tanaman dan mikroba. Gas CO₂ yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik pada pertanian lahan gambut dikendalikan

oleh perubahan suhu, kondisi hidrologi, ketersediaan dan kualitas bahan gambut, dan teknik budi daya pertanian.

Emisi CO₂ dipengaruhi oleh perakaran tanaman (*rhizospher*). Emisi CO₂ pada daerah *rhizospher* lebih tinggi dibandingkan pada non *rhizospher* karena: (1) meningkatnya ketersediaan substrat seperti akar-akar yang mati di *rhizosfer*, sehingga kualitas komunitas dekomposer meningkat, (2) meningkatnya ketersediaan eksudat akar dan derivatnya akan meningkatkan dekomposisi lignin, (3) komposisi struktur C-organik terlarut (Ekberg *et al.* 2007). Knorr *et al.* (2008) juga melaporkan bahwa pada lahan gambut di daerah beriklim lembap, 55.5 – 65% dari total respirasi tanah berasal dari respirasi akar pada penelitiannya mengenai respirasi akar di lahan gambut Aceh melaporkan bahwa daerah non perakaran menghasilkan emisi 62% lebih rendah dibandingkan daerah perakaran (Agus *et al.* 2010).

4.3. Emisi N₂O

Konsentrasi N₂O di atmosfer dilaporkan mengalami peningkatan dengan laju 0,25% setiap tahun (Snyder *et al.* 2009). Gas N₂O di atmosfer relatif lebih lama berada dibandingkan gas CO₂ dan metana, dengan sifat berpotensi pemanasan global 250-310 kali lebih tinggi daripada CO₂ (Abao *et al.* 2000, Meiviana *et al.* 2004). Gas N₂O secara alami dihasilkan dalam tanah melalui proses mikrobiologis, denitrifikasi dan nitrifikasi. Proses tersebut dipengaruhi oleh bahan organik tanah, nitrat, oksigen, kandungan air tanah, reaksi tanah (pH), suhu tanah dan tanaman (Snyder *et al.* 2009). Bakteri yang berperan dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, di mana proses tersebut menghasilkan gas N₂O dan N₂.

Salah satu faktor yang memengaruhi emisi N₂O adalah konsentrasi N yang berasal, baik dari pupuk maupun bahan amelioran. Menurut Xiong *et al.* (2007), selain pupuk N anorganik, pupuk organik adalah sumber penting pelepasan N₂O ke atmosfer. Pemberian bahan organik yang mudah terdekomposisi dengan cara dibenamkan ke dalam tanah akan meningkatkan jumlah denitrifier dan laju denitrifikasi, sehingga memberikan kondisi menguntungkan bagi pembentukan N₂O. Kehilangan hara N yang hilang melalui denitrifikasi di lahan sawah dapat mencapai kisaran 30– 40% (Sahrawat 2004), sehingga dapat memengaruhi keseimbangan N dalam sistem produksi tanaman.

V. TEKNOLOGI PEMUPUKAN PADI RENDAH EMISI GRK DI LAHAN RAWA

Dalam rancangan Perpres RAN-GRK 2020, emisi GRK dari sektor pertanian akan diturunkan sebesar 8 juta ton CO₂ eq atas kemampuan sendiri (*unilateral*) atau sekitar 11 juta ton CO₂ eq dengan bantuan negara donor (*multilateral*). Strategi umum mitigasi adalah untuk mengurangi emisi GRK atau meningkatkan penyerapan GRK. Mitigasi gas rumah kaca dilakukan berdasarkan prinsip bahwa emisi GRK yang dikeluarkan harus lebih kecil dari rosot (*zink*). Penurunan CO₂ dilakukan dengan prinsip emisi CO₂ harus lebih kecil dari CO₂ yang ditambat tanaman. CO₂ termasuk gas yang mudah didegradasi atau ditambat, demikian pula N₂O, mudah didegradasi. Namun, CH₄ sulit didegradasi, sehingga akumulasi CH₄ dari waktu ke waktu terus bertambah.

Salah satu upaya untuk mitigasi emisi GRK pada budi daya tanaman padi melalui pengelolaan hara/pupuk (Santoso 2005). Beberapa teknologi pemupukan di lahan rawa yang dapat menekan emisi GRK pada pertanaman padi, antara lain penerapan sistem pertanian *zero waste*, pemupukan tepat jenis, dosis dan tepat waktu, sistem pertanian organik.

5.1. Penerapan Sistem Pertanian *Zero Waste*

Sistem pertanian *zero waste* dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan produktivitas lahan dan menekan emisi GRK dari lahan pertanian. Pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk organik atau biochar selain dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik juga dapat menekan emisi GRK. Penambahan bahan organik berupa jerami ke lahan sawah, khususnya yang masih memiliki nisbah C/N tinggi, akan meningkatkan emisi gas metana ke udara (Wihardjaka *et al.* 2011). Berdasarkan penelitian Annisa dan Nursyamsi (2016) emisi metana yang dilepaskan dengan perlakuan Kompos (kombinasi kompos Jerami 30% + Kompos Purun 30% + Kompos Kotoran Sapi 40%), dengan perlakuan pemupukan NPK 100%, yaitu sebesar 4,41-12,94 kg/ha/musim lebih tinggi dibandingkan perlakuan pemupukan NPK 75% yaitu sebesar 2,62-7,75 kg/ha/musim.

Penggunaan biochar mampu menekan emisi GRK pada pertanaman padi di lahan rawa. Biochar memiliki kemampuan dalam melepaskan karbon dan nitrogen secara perlahan serta memengaruhi aktivitas mikroba, sehingga memperbaiki sifat tanah. Di dalam tanah biochar menyediakan

habitat yang baik bagi mikroba tanah misalnya bakteri yang membantu dalam perombakan unsur hara agar unsur hara tersebut dapat diserap oleh tanaman, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Karhu *et al.* (2011) melaporkan bahwa penambahan biochar sebanyak 9 t/ha pada lahan pertanian meningkatkan serapan CH_4 dibandingkan kontrol tanpa diberi biochar sebesar 96% (dari 49,6 sampai 97,4 $\text{CH}_4\text{-C /ha}$), tetapi tidak memengaruhi terhadap hasil. Hal ini terkait dengan kemampuan biochar yang efektif dalam menahan hilangnya unsur hara akibat tercuci serta meretensi P.

5.2. Pemupukan Tepat Jenis, Dosis, dan Waktu

Sumber utama pelepasan N_2O adalah pemakaian pupuk N yang tidak efektif. Hal ini dapat diartikan bahwa proses pembentukan N_2O akan dihambat apabila pupuk N diberikan secara efisien pada tanaman. Upaya mengurangi emisi gas N_2O dari pertanian menjadi lebih efektif apabila penggunaan pupuk N secara efektif, dengan cara memberikan dalam jumlah yang tepat. Pemupukan secara split/bertahap juga lebih mampu menekan emisi GRK dibandingkan sekaligus (McSwiney dan Robertson 2005).

Pemupukan secara efektif tergantung pada kebutuhan tanaman dan ketersediaan hara dalam tanah. Efisiensi pupuk N terutama urea dalam tanah sawah umumnya rendah karena hampir 50% N dari pupuk hilang melalui volatilisasi amoniak, nitrifikasi, denitrifikasi, limpasan permukaan, dan tercuci. Makin tinggi takaran pupuk urea pada padi sawah, makin besar kehilangan N dalam bentuk N_2O , sehingga dapat meningkatkan konsentrasi gas N_2O di atmosfer. Pola emisi gas N_2O berfluktuasi menurut waktu setelah pemberian pupuk N, di mana puncak emisi terjadi 3-5 hari setelah pemberian pupuk N hingga hari ke-17, baru kemudian turun. Berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi pupuk N telah dilakukan, antara lain dengan pemberian N secara bertahap, pembenaman pupuk N pada lapisan reduksi, pemberian pupuk N dalam bentuk tablet, dan penggunaan Bagan Warna Daun (BWD) (Wihardjaka dan Nursyamsi 2012). Lebih lanjut disampaikan penerapan sistem pertanaman PTT (pengelolaan tanaman terpadu) dan SRI (*system of rice intensification*) menekan emisi N_2O sebesar 45-39% dibandingkan dengan cara pengelolaan tanaman secara konvensional.

Di Filipina, penggunaan BWD dapat menghemat pupuk N 10–53% dibanding takaran umum yang digunakan untuk mencapai produktivitas yang sama. Di Vietnam, penggunaan pupuk urea butiran dapat menghemat N 20–40% dari cara petani. Di Sulawesi Selatan, penghematan pupuk N mencapai 60% dibanding takaran rekomendasi untuk mencapai hasil yang sama (Wahid 2003). Penggunaan Super fosfat (SP) dalam penanaman padi, selain memasok P ke tanaman yang sedang tumbuh, dapat mengurangi produksi dan emisi CH_4 dibandingkan penggunaan K_2HPO_4 (Adhya *et al.* 1998).

Pemupukan silikat secara signifikan menurunkan aktivitas produksi CH_4 . Pupuk silikat yang merupakan produk sampingan dari industri baja dan mengandung jumlah besi dan oksida besi aktif yang tinggi dapat digunakan sebagai agen pengoksidasi dalam pertanian padi sawah. Pertumbuhan tanaman padi, parameter hasil, dan hasil gabah positif dipengaruhi oleh tingkat aplikasi silikat. Aplikasi Si mampu meningkatkan hasil padi sampai 17% dan mengurangi emisi CH_4 sampai 28% dibandingkan kontrol (Aslam *et al.* 2007).

5.3. Aplikasi Bahan Penghambat Nitrifikasi

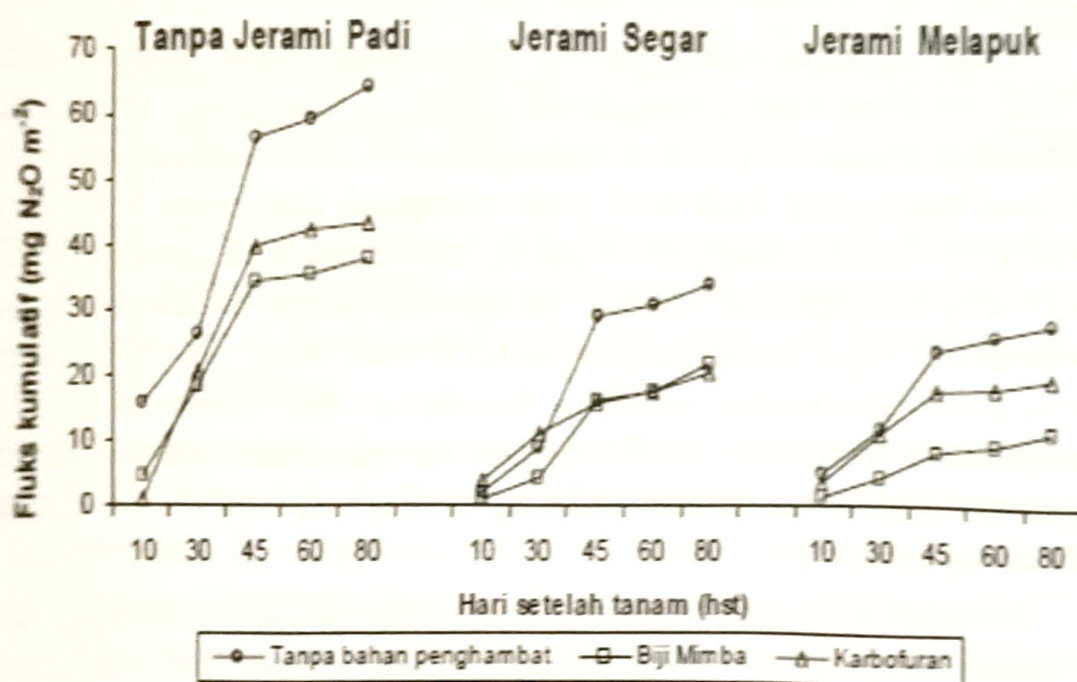
Konsentrasi N_2O di atmosfer dilaporkan meningkat dengan laju 0,25% setiap tahun, dan mempunyai waktu tinggal lebih lama dibandingkan CO_2 dan metana dengan potensi pemanasan global 250-310 kali lebih tinggi daripada CO_2 (Snyder *et al.* 2009; Abao *et al.* 2000). Gas N_2O dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi oleh mikrobia nitrifikasi selama oksidasi ammonium menjadi nitrat dan oleh mikrobia denitrifikasi selama reduksi nitrat.

Pengelolaan pupuk N (urea dan atau pupuk kandang) yang baik berperan penting dalam meminimalisir kehilangan N dalam tanah baik melalui pencucian, penguapan, maupun emisi N_2O . Sebaliknya, pemberian pupuk N dalam jumlah berlebihan atau pengelolaannya tidak tepat, selain merupakan pemborosan, juga dapat mencemari lingkungan perairan dengan nitrat dan meningkatkan emisi N_2O ke atmosfer.

Tanaman umumnya menyerap N dalam bentuk kation NH_4^+ dan atau anion NO_3^- , di mana kedua ion tersebut masing-masing merupakan hasil dari proses amonifikasi dan nitrifikasi. Di dalam tanah, ammonium lebih stabil dibandingkan nitrat, karena kation tersebut dapat dijerap atau diikat

oleh permukaan koloid tanah yang bermuatan negatif. Nitrat selain mudah hilang karena tercuci juga hilang menguap ke atmosfer melalui proses denitrifikasi menghasilkan gas N_2O , NO , dan N_2 .

Nitrifikasi dapat dihambat dengan memberikan bahan penghambat nitrifikasi, untuk menekan perubahan NH_4 menjadi NO_3 , sehingga potensi untuk terbentuk N_2O juga dapat ditekan. Beberapa bahan penghambat nitrifikasi telah tersedia secara komersial, antara lain 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine, sulfathiazole, dicyandiamide, 2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine, 2-mercaptobenzothiazole, thiourea, 5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole (terrazole), nitropyrimin dan karbofuran (2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranil metilkarbamat) (Subbarao *et al.* 2006; Unger *et al.* 2009). Beberapa bahan alami berpotensi sebagai penghambat nitrifikasi, antara lain biji mimba (*Azadirachta indica* A Juss) (Wihardjaka 2010), *Brachiaria mutica*, *Brachiaria decumbens*, dan *Brachiaria humidicola* (Sawitri *et al.* 2013).



Sumber: Wihardjaka (2010).

Gambar 19. Fluks emisi n_2o kumulatif pada fase pertanaman padi akibat perlakuan penghambat nitrifikasi

Pemberian bahan penghambat nitrifikasi berupa biji mimba efektif menekan emisi N_2O dan memberikan hasil gabah relatif tinggi. Biji mimba dan karbofuran masing-masing dapat menekan emisi N_2O sebesar 30-57% dan 12-48% (Wihardjaka *et al.* 2010). Efektivitas biji mimba relatif lebih

tinggi dibandingkan dengan karbofuran dalam menurunkan emisi N_2O , terutama bila diberikan bersamaan dengan jerami padi yang telah melapuk. Biji mimba potensial sebagai penghambat nitrifikasi seperti karbofuran dan relatif lebih ramah lingkungan. Biji mimba yang digunakan dalam kajian ini mengandung senyawa polifenol (0,13% tannin), yang diduga dapat menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi (Wihardjaka *et al.* 2010).

5.4. Aplikasi Pupuk Daun

Pemupukan melalui tanah merupakan salah satu sumber emisi GRK. Pengaruh pemupukan terhadap fluks CO_2 bervariasi tergantung kondisi lingkungan. Penelitian Chu, *et al.* (2007), menunjukkan bahwa pemupukan secara umum meningkatkan emisi CO_2 . Namun CO_2 juga dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk fotosintesis, sehingga jika fotosintesis lebih kecil dari respirasi tanah maka akan terjadi emisi CO_2 ke atmosfer.

Tanah pertanian adalah sumber antropogenik utama nitrous oxide (N_2O), terutama karena penggunaan pupuk N. Umumnya, emisi N_2O dinyatakan sebagai fungsi dari tingkat aplikasi N. Ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk yang lebih kecil selalu mengarah pada emisi N_2O yang lebih kecil. Teknik pemupukan sangat diperlukan untuk mengurangi emisi N_2O serta meningkatkan efisiensi pemupukan, karena hubungan antara peningkatan input pupuk dengan produksi tidak linear (Van Groenigen *et al.* 2010). Berdasarkan penelitian Kartikawati dan Nursyamsi (2013) pemupukan NPK dosis 100% ternyata menghasilkan rata-rata fluks N_2O tertinggi, yaitu sebesar $1629 \mu g/m^2/hari$ atau 24% lebih tinggi dibandingkan kontrol.

Pemupukan lewat daun dapat menekan emisi GRK serta meningkatkan efisiensi pemupukan. Pupuk dapat langsung diserap oleh tanaman, tanpa berinteraksi dengan tanah dan mikroba dalam tanah. Pemupukan nitrogen lewat daun mampu menekan emisi metana pada pertanaman padi. Pemupukan N lewat daun dapat menekan denitrifikasi dan pelepasan N_2O (Smith *et al.* 1991).

VI. PENUTUP

Lahan rawa berpotensi untuk pengembangan pertanian tanaman padi dan penyangga produksi padi nasional. Pengelolaan lahan rawa perlu dilakukan secara intensif agar produktivitas lahan tinggi. Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa untuk tanaman padi adalah melalui pemupukan. Namun salah satu dampak lingkungan dari pemupukan adalah dapat meningkatkan emisi GRK terutama N_2O dan metana. Teknologi pemupukan yang rendah emisi GRK di lahan rawa perlu dikembangkan sebagai upaya mitigasi pemanasan global. Teknologi pemupukan padi yang rendah emisi GRK meliputi Penerapan sistem pertanian *zero waste*, pemupukan tepat jenis, dosis, dan waktu, penggunaan bahan penghambat nitrifikasi dan penggunaan pupuk daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abao, Jr, E.B., K..F. Bronson, R. Wassmann and U. Singh. 2000. Simultaneous records of methane and nitrous oxide emission in rice-based cropping systems under rainfed conditions. *Nut. Cyc. Agroecos.* 58: 131-139.
- Adhya, T.K., P. Pattnaik, S.N Satpathy, S. Kumaraswamy, and N. Sethunathan. 1998. Influence of phosphorus application on methane emission and production in flooded paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry.* Vol. 30 (2); 177-181pp.
- Agus, F., Wahyunto, A. Dariah, P. Setyanto, I G.M. Subiksa, E. Runtunuwu, E. Susanti, and W. Supriatna. 2010. Carbon budget and management strategies for conserving carbon in peatland: Case study in Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan, Indonesia. pp. 217-233. In Z.S. Chen and F. Agus (Eds.). *Proceedings of International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*, Bogor, Indonesia, 28-29 September 2010.
- Alihamsyah, T., 2004. Potensi dan Pendayagunaan Lahan Rawa untuk Peningkatan Produksi Padi. *Ekonomi Padi dan Beras Indonesia*. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Alwi, M. dan A. Fahmi, 2016. *Decision Support System (DSS) Pemupukan Padi Lahan Rawa*. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian. Banjarbaru, 20 Juli 2016.

- 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*. Vol. 40 No. 2. Hal. 135-145.
- Arsyad, D.M., B.B. Saidi dan Enrizal, 2014. Pengembangan Inovasi Pertanian di Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* Vol. 7 No. 4 Desember: 169-176
- Ar-Riza, I. 2005. Pedoman Teknis Budi Daya Padi di Lahan Lebak. Balittra, Banjarbaru. 28 hal.
- Aslam, M. Ali, C. H. Lee, Y. B. Lee and P.J. Kim, 2007. Silicate Fertilization In No-Tillage Rice Farming For Mitigation of Methane Emission And Increasing Rice Productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132; 16-22.
- BBSDLP. 2016. Peta Arahan Penggunaan Lahan. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. 116 halaman.
- Chu, H., Y. Hosen and K. Yagi. 2007. NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 330-339.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice; Nutrient Disorder and Nutrient Management. International Rice Research Institute- Potash & Phosphate Institute (PPI)-Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).
- Ekberg A, Buchmann N, Gleixner G. 2007. Rhizospheric influence on soil respiration and decomposition in a temperate Norway spruce stand. *Soil Biol and Biochem*. 39: 2103-2110.
- Fageria, N.K. and B. Virupax. 1999. Nitrogen management for lowland rice production on an Inceptisol. Agricultural Research Service, USDA, NAA, AFSRC, Beaver.
- Jauhiainen, J., Jaya, A., Inoue, T., Heikkinen, J., Martikainen, P., and Vasander, H. 2004. Carbon balance in managed tropical peat in Central Kalimantan, in: Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere 6-11.6.2004, edited by: Paiv "anen, J.," 653-659.
- Kartikawati, R. dan D. Nursyamsi, 2013. Pengaruh pengairan, pemupukan dan penghambat nitrifikasi terhadap emisi gas rumah kaca di lahan sawah tanah mineral. *Ecolab* Vol. 7 No. 2: hal 49 - 108

- Karhu, K., T. Mattila., I. Bergstrom and K. Regina. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity- results from a short-term pilot field study. *Agr Ecosyst Environ.* 140. p.309-313.
- Knorr KH, Oosterwoud MR, Blodau C. 2008. Experimental drought alters rates of soil respiration and methanogenesis but not carbon exchange in soil of a temperate fen. *Soil Biol Biochem.* 40:1781-1791.
- Makarim, A.K. dan E. Suhartatik. 2006. Budi Daya padi dengan masukan *in situ* menuju perpadian masa depan. *Iptek Tanaman Pangan.* 1 (1): 19-29.
- Mcswiney, C.P. and G.P. Robertson, 2005. Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biology.* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01040.x>.
- Meiviana, A., DR. Sulistiowati, and MH. Soejachmoen. 2004. Bumi Makin Panas, Ancaman Perubahan Iklim di Indonesia. Kementerian Negara Lingkungan Hidup, JICA, Yayasan Pelangi. Jakarta.
- Mulyani, A. dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Suboptimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2: 47-56.
- Permentan, 2013. Pedoman Kesesuaian Lahan pada Komoditas Tanaman Pangan. Peraturan Menteri Pertanian. Nomor 79/Permentan/OT.140/8/2013.
- Reddy, K.R. and DeLaune R.D. 2008. WETLAND Science and Applications. CRC Press & Francis.
- Rastogi M, Singh S, Pathak H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science* 82(5): 510-517.
- Rinnan R, Silvola J, Martikainen PJ. 2003. Carbon dioxide and methane fluxes in boreal peatland microcosms with different vegetation cover-effects of ozone or ultraviolet-B exposure. *Oecologia.* 137: 475-483.
- Sahrawat, KL. 2004. Nitrification inhibitors for controlling methane emission from submerged rice soils. *Current Science* 87(8): 1084-1087.
- Santoso, Budi. 2005. Keterkaitan Antara Pertumbuhan Ekonomi Nasional, Sektor Pertanian dan Emisi Gas Rumah Kaca. Disertasi. Program Pascasarjana IPB. Bogor.

- Sawitri, A. I., Purwanto, dan S. Minardi, 2013. Kajian efektivitas penghambatan nitrifikasi pada rhizosphere berbagai spesies tanaman *Brachiaria* di Alfisol. *SAINS TANAH-Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi* 10 (2); hal 153-163.
- Sembiring, H. 2007. Kebijakan penelitian dan rangkuman hasil penelitian BB Padi dalam mendukung peningkatan produksi beras nasional. *Apresiasi Hasil Penelitian Padi*. 39-59.
- Setyanto P., dan R. Kartikawati, 2008. Sistem Pengelolaan Tanaman Padi Rendah Emisi Gas Metana. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 27 (3): 154-163.
- Setyanto, P. 2008. Perlu Inovasi Teknologi Mengurangi Gas rumah Kaca dari Lahan Pertanian. Balingtan, Badan Litbang Pertanian, Deptan. Surat Kabar Sinar Tani 23-29 April 2008.
- Setyanto, P., H. Burhan, S. Y. Jatmiko. 2008. Effectiveness of water regime and soil management on methane emission reduction from rice field. *Prosiding seminar Nasional pencemaran lingkungan pertanian melalui pendekatan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) secara terpadu*. 219-233.
- Subbarao GV, Ishikawa T, Ito O, Nakahara K, Wang HY, Berry WL. 2006. A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: a case study with *Brachiaria humidicola*. *Plant Soil* 288, 101-112.
- Sudaryanto, T., R. Kustiari, dan H.P. Saliem. 2010. Perkiraan kebutuhan pangan tahun 2010-2050. hlm. 1-23 Dalam Buku Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Bekelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, hlm. 163.
- Smith CJ, Freney JR, Sherlock RR, Galbally IE. 1991. The fate of urea nitrogen applied in a foliar spray to wheat at heading. *Fertilizer Research* 28, 129-138. doi: 10.1007/BF01049743.
- Snyder, CS., TW. Bruulsema, TL. Jensen, & PE. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agri.Ecos.Env.* 133: 247-266.
- Subagyo, H. 2006. Klasifikasi dan penyebaran lahan rawa. hlm.1- 22. Dalam D.A. Suriadikarta, U. Kurnia, Mamat H.S., W. Hartatik, dan D. Setyorini (Ed.). *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.

- Sudadi, U., 2002. Produksi Padi dan Pemanasan Global: Tanah Sawah Bukan Sumber Utama Emisi Methan. Makalah Pengantar Falsafah Sain (PPS 702) Program Pasca Sarjana / S3 Institut Pertanian Bogor, Bogor. 14 hal.
- Unger, IM., PP. Motavalli, & RM. Muzika. 2009. Changes in soil chemical properties with flooding A field laboratory approach. *Agri.mEcos. Env.* 131: 105-110.
- Van Groenigen, J.W., G.L. Velthof, O. Oenema, K.J. Van Groenigen, and C. Van Kessel. 2010. Best Nitrogen Management Practices to Decrease Greenhouse Gas Emissions. *European Journal of Soil Science* 61:903-913.
- Wahid, A.S., 2003. Peningkatan Efisiensi Pemupukan Nitrogen pada Padi Sawah dengan Metode Bagan Warna Daun. *Jurnal Litbang Pertanian*, 22(4), 159-161.
- Whalen, S. C. 2000. Nitrous Oxide Emission from an Agricultural Soil Fertilized with Liquid Swine Waste or Constituents. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 781- 789.
- Widjaya Adhi, I.P.G., K. Nugroho, D. Ardi S., A. S. Karama. 1992. Sumber daya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. Dalam Sutjipto, P. dan Mahyudin Syam. (eds). Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Risalah Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Bogor, 3-4 Maret 1992. p. 176-188.
- Wihardjaka, A. 2007. Methane Emission From Some Rice Cultivars In Rainfed Rice Field. *Jurnal Biologi Indonesia* 4(3): 143-152.
- Wihardjaka A dan S. Abdurachman, 2007. Dampak Pemupukan Jangka Panjang Padi Sawah Tadah Hujan Terhadap Emisi Gas Metana. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* Vol. 26 NO. 3;199-205
- Wihardjaka, A., S. D. Tandjung., B.H. Sunarminto and E. Sugiharto. 2011. Methane Emission From Direct Seeded Rice Under The Influences. *Indonesian Journal of Agricultural Science.* 13(1): 1-11.
- Wihardjaka, A. dan D. Nursyamsi, 2012. Pengelolaan Tanaman Terpadu pada Padi Sawah yang Ramah Lingkungan. *Pangan*, Vol. 21 No. 2.: 185-196
- Wihardjaka, A. 2010. Emisi Gas Dinitrogen Oksida dari Tanah Sawah Tadah Hujan yang diberi Jerami Padi dan Bahan Penghambat Nitrifikasi. *Jurnal Biologi Indonesia* 6(2): 211-224p.

- Wihardjaka A, S. D. Tandjung, B. H. Sunarminto dan E. Sugiharto. 2010. Emisi gas dinitrogen oksida pada padi gogorancan oleh pemberian jerami padi dan bahan penghambat nitrifikasi. JPPTP. 29(3):144-151.
- Xiong, Z. Q., G. X. Xing, and Z. L. Zhu (2007), Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen, *Pedosphere*, 17, 146-155.
- Yeo, R.A. and T.J. Flower. 2007. *Plant Solute Transport*. Blackwell Publishing.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamental of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, 269p.