

VARIETAS PADI DAN EMISI GAS METAN

Prihasto Setyanto

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

ABSTRACT

The Rice Varieties and the Emission of Methane. After the 13th Conference of Parties on Climate Change conducted in Bali, the Indonesian people started to realize the impact of the climate changes. As a country that attach to the tropical zone, Indonesia is vulnerable to every changes in climate. Many disasters that are related to climate events such as the rise of the sea water level in the west coast of Sumatra and in the south coast of Java occurred in early of 2008 indicated that the global climate systems are changing. Climate change was caused by global warming, and the global warming itself was caused by the increase of the anthropogenic greenhouse gases (GHG's) concentration in the atmosphere. Greenhouse gases could reflect back the infra red radiation (light ray that have a warming effect) emitted by the earth surface. The more concentration of GHG's in the atmosphere, the more infra red radiation are sent back to the earth surface. The impact of it was the global earth temperature becomes warmer. Many global circulation model (GCM) predicted that the increase of air temperature due to the increase in GHG's concentration in the atmosphere could reached 2-4°C within 100 years. There are three most known GHG's emitted from the agricultural sector, i.e. carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). The national action plans on climate change suggested two strategies in coping with climate change, they are (1) adaptation and (2) mitigation. In adaptation strategy, one could hope that all sectors involve in human activities should adjust themselves to the changing climate, and mitigation strategies are to suppress all sources of GHG's that enhance global warming. This paper is a review on aspects of CH₄ mitigation from rice field with the approach of using rice cultivars. It has been reported that at least 90% of CH₄ was emitted through rice plant and the rest was emitted through soil ebullition. Air spaces in the aerenchyme that are found in developed leaves, stem, and roots act as a chimney to transfer CH₄ gas produced in the rhizosphere to the atmosphere. There are four main factors involved in the different of the rice plant in transferring CH₄; they are (1) the different in root exudates production, (2) the different in numbers of tillers, (3) the different in root oxidizing power, and (4) the different in the growth duration. Besides having high yield characters, the ability to survive in

a numbers of environmental stresses (drought, salinity, etc.), and stand against pests and diseases infestation, the rice varieties is also expected to be able to mitigate CH_4 from the rice field.

Key words: CH_4 emission, rice variety.

ABSTRAK

Setelah sidang *Conference of Parties* (COP) ke-13 di Bali mengenai perubahan iklim, masyarakat Indonesia mulai terbuka untuk melihat dampak yang ditimbulkan dari perubahan iklim. Indonesia sebagai negara yang berada di wilayah tropis sangat rentan terhadap setiap gejala perubahan iklim. Kejadian-kejadian yang terkait dengan iklim seperti air pasang tinggi yang melanda wilayah barat Sumatera dan wilayah selatan pulau Jawa di tahun 2008, disinyalir sebagai akibat dari iklim yang mulai berubah. Perubahan iklim disebabkan pemanasan global, sedangkan pemanasan global itu sendiri disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer akibat pengaruh manusia (*Anthropogenic greenhouse gas emission*). Gas rumah kaca (GRK) di atmosfer akan memantulkan kembali sinar infra merah (sinar yang memiliki efek panas) yang dipancarkan permukaan bumi. Semakin tinggi kandungan gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, semakin banyak sinar infra merah yang dipantulkan kembali sehingga suhu di bumi menjadi lebih panas. Berbagai model sirkulasi global (*Global Circulation Model/GCM*) saat ini memprediksi kenaikan suhu bumi akibat menumpuknya gas-gas tersebut mencapai 2-4°C dalam kurun waktu 100 tahun. Ada tiga gas rumah kaca (GRK) utama dari lahan pertanian yaitu karbondioksida (CO_2), metan (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O). Dalam rencana aksi nasional perubahan iklim (RAN PI) terdapat 2 strategi utama menghadapi perubahan iklim untuk sektor pertanian yaitu strategi adaptasi dan mitigasi. Dalam strategi adaptasi diharapkan semua sektor kehidupan manusia harus belajar melakukan penyesuaian terhadap iklim yang berubah, sedangkan dalam strategi mitigasi diupayakan untuk menekan sumber-sumber gas rumah kaca (GRK) yang mempercepat pemanasan global sehingga laju perubahan iklim dapat dihambat. Tulisan ini merupakan review dari berbagai kajian mengenai mitigasi emisi gas CH_4 melalui varietas padi karena tanaman padi memegang peran penting dalam melepaskan CH_4 dari lahan sawah. Kurang lebih 90% CH_4 yang dilepas dari lahan sawah dipancarkan melalui tanaman padi dan sisanya melalui gelembung air (*ebullition*). Ruang udara pada pembuluh aerenkima yang terdapat pada daun, batang dan akar yang berkembang dengan baik bertindak sebagai cerobong (*chimney*) untuk pertukaran gas hasil dekomposisi bahan organik secara anaerobik dalam tanah. Ada empat faktor tanaman utama yang

menyebabkan perbedaan dalam melepaskan gas CH_4 dari tanaman padi yaitu: (1) perbedaan dalam menghasilkan eksudat akar, (2) perbedaan dalam jumlah anakan, (3) perbedaan kapasitas pengoksidasi akar, dan (4) perbedaan umur tanaman. Selain memiliki daya hasil tinggi dan tahan terhadap cekaman lingkungan serta hama penyakit, diharapkan juga ke depan ditemukan varietas padi yang dapat menekan laju emisi CH_4 dari lahan sawah.

Kata kunci: Emisi CH_4 varietas padi.

PENDAHULUAN

Setelah sidang *Conference of Parties* (COP) ke-13 di Bali mengenai perubahan iklim, masyarakat Indonesia mulai terbuka untuk melihat dampak yang ditimbulkan dari perubahan iklim. Indonesia sebagai negara yang berada di wilayah tropis sangat rentan terhadap setiap gejala perubahan iklim. Kejadian-kejadian yang terkait dengan iklim seperti air pasang tinggi yang melanda wilayah barat Sumatera dan wilayah selatan pulau Jawa di tahun 2008 disinyalir sebagai akibat dari iklim yang mulai berubah. Perubahan iklim disebabkan pemanasan global, sedangkan pemanasan global itu sendiri disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer akibat pengaruh manusia (*Anthropogenic greenhouse gas emission*).

Gas rumah kaca di atmosfer akan memantulkan kembali sinar infra merah (sinar yang memiliki efek panas) yang dipancarkan permukaan bumi. Semakin tinggi kandungan gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, semakin banyak sinar infra merah yang dipantulkan kembali sehingga suhu di bumi menjadi lebih panas. Berbagai model sirkulasi global (*Global Circulation Model/GCM*) saat ini memprediksi kenaikan suhu bumi akibat menumpuknya gas-gas tersebut mencapai 2-4°C dalam kurun waktu 100 tahun. Ada tiga gas rumah kaca (GRK) utama dari lahan pertanian yaitu CO_2 , CH_4 , dan N_2O . Dalam rencana aksi nasional perubahan iklim (RAN PI) terdapat 2 strategi utama menghadapi perubahan iklim untuk sektor pertanian yaitu strategi adaptasi dan mitigasi.

Dalam strategi adaptasi diharapkan semua sektor kehidupan manusia harus belajar melakukan penyesuaian terhadap iklim yang berubah, sedangkan dalam strategi mitigasi diupayakan untuk menekan sumber-sumber gas rumah kaca (GRK) yang mempercepat pemanasan global, sehingga laju perubahan iklim dapat dihambat.

Beberapa penelitian telah dilakukan di dalam dan di luar negeri menyebutkan bahwa selain perbedaan cara pengelolaan tanaman, varietas padi juga mempunyai peran signifikan terhadap proses produksi/pembentukan dan pelepasan gas rumah kaca (GRK) terutama CH_4 dari lahan sawah.

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian telah melakukan penelitian guna melihat perbedaan antarvarietas padi terhadap produksi dan pelepasan gas

CH₄ dari lahan sawah. Penelitian dalam kerangka inventarisasi varietas-varietas padi yang dapat menekan emisi CH₄ dilaksanakan sejak tahun 1998 sampai 2005. Rujukan dari publikasi ilmiah dalam jurnal-jurnal nasional dan internasional yang mendukung informasi tentang varietas rendah emisi CH₄ disampaikan secara ringkas dalam review tulisan ini.

PERAN TANAMAN PADI DALAM EMISI GAS METAN

Tanaman padi memegang peran penting dalam emisi gas CH₄ dari lahan sawah. Kurang lebih 90% CH₄ yang dilepas dari lahan sawah ke atmosfer dipancarkan melalui tanaman dan sisanya melalui gelembung air (*ebullition*). Ruang udara pada pembuluh aerenkima yang terdapat pada daun, batang dan akar yang berkembang dengan baik menyebabkan pertukaran gas pada tanah tergenang (anaerobik) berlangsung cepat. Pembuluh aerenkima bertindak sebagai cerobong (*chimney*) untuk lepasnya CH₄ ke atmosfer.

Respirasi O₂ pada akar melalui pembuluh aerenkima secara langsung akan melepaskan CH₄ yang terbentuk di sekitar perakaran padi ke atmosfer. Proses ini terjadi pada tanaman padi yang berfungsi menjaga keseimbangan termodinamika (Raimbault *et al.* 1977; Wagatsuma *et al.* 1990). Mekanisme ini terjadi akibat perbedaan gradien konsentrasi antara air di sekitar akar dan ruang antar-sel lisigenus pada akar, sehingga CH₄ terlarut di sekitar perakaran terdifusi menuju dinding sel korteks akar. Pada dinding korteks akar, CH₄ terlarut akan berubah menjadi gas dan disalurkan ke batang melalui pembuluh aerenkima. Selanjutnya CH₄ akan dilepaskan melalui pori-pori mikro pada pelepah daun.

Kompilasi dari data penelitian yang dilaksanakan lebih dari lima tahun, mendapatkan penjelasan mengapa terdapat varietas padi yang dapat menekan emisi gas CH₄ dari lahan sawah. Ada tiga penjelasan mengenai hal ini, yaitu: (1) perbedaan varietas padi dalam memproduksi eksudat akar, (2) perbedaan dalam jumlah anakan padi, (3) perbedaan dalam kapasitas oksidasi akar (*root oxidizing power*), dan (4) perbedaan umur tanaman.

Produksi Eksudat Akar

Pelepasan eksudat akar oleh tanaman padi memegang peran penting dalam pembentukan CH₄ pada rizosfir tanah. Eksudat merupakan senyawa organik yang mengandung gula, asam amino, dan asam organik sebagai penyusun bahan mudah tersedia bagi bakteri metanogenik (Kimura *et al.* 1991). Semakin rendah kandungan eksudat akar semakin terhambat proses metanogenesis sehingga fluks CH₄ turun. Eksudat dan pembusukan akar merupakan sumber karbon tersedia bagi proses metanogenesis (penguraian bahan organik oleh bakteri metanogen dan menghasilkan gas CH₄). Pembentukan eksudat akar

juga berhubungan secara linier dengan berat biomas akar, dalam arti semakin banyak biomas akar padi semakin besar jumlah eksudat akar yang dihasilkan sehingga jumlah produksi CH_4 di sekitar perakaran semakin besar (Setyanto *et al.* 2004).

Aulakh *et al.* (2001), Ko dan Kang (2000) serta Shin dan Yun (2000), menyebutkan bahwa tanaman padi memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengeluarkan eksudat akar dalam tanah yang sangat tergantung dari fase pertumbuhan tanaman. Pada fase vegetatif, produksi eksudat akar meningkat seiring bertambahnya usia tanaman, sedangkan pada fase generatif, tanaman banyak membutuhkan energi untuk pembentukan biji sehingga produksi eksudat sedikit dan akhirnya mempengaruhi pembentukan CH_4 .

Aulakh *et al.* (2001) juga menyebutkan bahwa jumlah eksudat akar yang dihasilkan tanaman sangat tergantung dari efisiensi tanaman dalam mengurai fotosintat dari hasil fotosintesis. Semakin efisien dalam mengurai fotosintat (terutama dalam membentuk biji padi), semakin kecil jumlah eksudat akar yang dihasilkan, dan emisi CH_4 semakin rendah. Dampak lain dari pengurangan pembentukan eksudat akar adalah meningkatkan produksi padi. Penelitian yang dilaksanakan oleh Aulakh *et al.* (2001) juga menyebutkan bahwa padi tipe baru IR65598 dan IR65600 mengeluarkan eksudat akar lebih rendah dibandingkan IR72, IR64, IR52, serta padi hibrida Magat. Kedua padi tipe baru tersebut memiliki potensi hasil gabah yang tinggi dibandingkan padi lainnya.

Karaktersitik Jumlah Anakan

Varietas-varietas padi yang memiliki jumlah anakan dan biomas rendah dapat menekan pembentukan dan pelepasan CH_4 dari dalam tanah. Jumlah anakan juga merupakan salah satu faktor penentu besarnya pelepasan CH_4 dari lahan sawah karena semakin banyak anakan, semakin banyak juga cerobong yang menghubungkan rizosfera dengan atmosfer. Pengaruh jumlah anakan dan biomas padi terhadap emisi CH_4 juga dievaluasi di Balingtan (Setyanto *et al.* 2002; Setyanto 2004; Wihardjaka *et al.* 1999; dan Wihardjaka *et al.* 1997). Semakin banyak jumlah anakan padi, kerapatan dan pembuluh aerenkima semakin banyak jumlahnya sehingga kapasitas angkut CH_4 (*methane transport capacity*) menjadi lebih besar (Aulakh *et al.* 2000b; Kludze *et al.* 1993).

Aulakh *et al.* (2000a) dalam penelitiannya menggunakan tujuh varietas padi yang memiliki perbedaan berdasarkan: (1) tinggi tanaman (Dular, B40, dan Intan), (2) umur genjah dengan hasil tinggi (IR72 dan IR64), (3) padi tipe baru (IR65597), dan (4) hibrida (Magat), menemukan bahwa varietas-varietas tersebut mempunyai *methane transport capacity* berbeda. Perbedaan tersebut tidak hanya disebabkan oleh perbedaan stadium tumbuh tanaman tetapi juga disebabkan oleh perbedaan fisiologis dan morfologis tanaman antara lain adalah jumlah anakan padi.

Kapasitas Pengoksidasi Akar

Selain kedua faktor di atas, fluks CH_4 sangat erat kaitannya dengan kemampuan akar tanaman padi melakukan pertukaran oksigen dalam tanah (*root oxidizing power*). *Root oxidizing power* pada tanaman padi berfungsi menjaga keseimbangan termodinamik antara cairan dalam sel akar dengan kandungan air yang ada pada pori tanah.

Pertukaran gas ini menyebabkan konsentrasi O_2 di sekitar perakaran meningkat dan ditandai dengan meningkatnya nilai redoks potensial tanah pada kondisi anaerobik di sekitar perakaran tanaman padi. Kehadiran oksigen di sekitar perakaran padi meningkatkan aktifitas bakteri metanotropik. Semakin tinggi *root oxidizing power* tanaman, semakin besar jumlah CH_4 yang teroksidasi menjadi CO_2 . Hasil penelitian di Balingtan menyebutkan rata-rata 16,6% CH_4 yang diproduksi di rizosfir tanah diemisikan ke atmosfer, 83,4% sisanya dioksidasi oleh bakteri metanotrop (Setyanto 2004).

Varietas padi yang adaptif lahan pasang surut memiliki keunikan karena perakarannya memiliki *root oxidizing power* yang lebih tinggi dibanding varietas yang dikembangkan untuk tanah-tanah mineral. Varietas padi pasang surut secara alami mampu menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan dengan cara mengoksidasi Fe_2^+ yang bersifat racun di sekitar perakaran menjadi Fe_3^+ , keunikan dari varietas padi pasang surut ini dapat juga meningkatkan kapasitas oksidasi CH_4 di perakaran tanaman padi.

Umur Tanaman

Periode tumbuh antarvarietas padi beragam, suplai eksudat akar bagi bakteri metanogen beragam pula. Varietas padi berumur panjang seperti Cisadane diduga memiliki kemampuan fotosintesis lebih baik daripada varietas lainnya, sebagai eksudat akar dalam bentuk C mudah terdegradasi lebih banyak dihasilkan. Susunan dan jumlah akar tanaman juga menentukan pembentukan eksudat akar. Makin banyak dan merata perakaran tanaman, makin besar distribusi eksudat ke dalam lapisan tanah (Setyanto 2004). Selain itu, akar padi berkemampuan melakukan pertukaran gas dalam rangka menjaga keseimbangan termodinamik yaitu kapasitas pengoksidasi akar. Pertukaran gas ini menyebabkan konsentrasi O_2 di sekitar perakaran meningkat dan konsentrasi CH_4 teroksidasi secara biologi oleh bakteri metanogen.

Umur tanaman yang lebih panjang selain memiliki perbedaan fisiologis juga mempengaruhi dalam perhitungan total emisi CH_4 yang dilepas dari lahan sawah berdasarkan perbedaan varietas. Total emisi berdasarkan IPCC Guide-

lines (1996) menyebutkan bahwa dalam satu musim tanam padi, total emisi berasal dari perhitungan faktor emisi CH_4 (kg/ha/hari) dikalikan dengan periode tumbuh tanaman (hari) di mana periode tumbuh tanaman padi adalah waktu yang dibutuhkan oleh tanaman mulai tanam di lahan sawah sampai panen. Beberapa varietas padi memiliki umur genjah dan banyak juga yang berumur dalam, tanaman yang berumur genjah biasanya panen dalam 75-85 hari setelah tanam pindah (HST) dengan asumsi usia benih padi antara 21-25 hari. Banyak juga varietas terutama padi lokal panen pada usia dalam, yaitu 115-135 HST. Rata-rata varietas unggul saat ini panen pada usia tanam 90-105 HST. Oleh karena itu, semakin lama periode tumbuh tanaman, semakin besar pula total emisi CH_4 yang dilepas dari lahan sawah.

INVENTARISASI EMISI GAS CH_4 DARI BEBERAPA VARIETAS PADI DI INDONESIA

Tabel 1 merupakan kompilasi dari data penelitian yang dilakukan di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian mengenai peranan varietas padi dalam emisi CH_4 . Varietas Cisadane, dari lima tahun pengamatan (penelitian tahun 1997, 1998, 1999, 2001, dan 2003) konsisten menunjukkan total emisi CH_4 paling tinggi dibandingkan dengan varietas padi lainnya. Perbedaan nilai emisi CH_4 antartahun dari satu varietas padi disebabkan oleh perbedaan kondisi iklim saat pengamatan berlangsung.

Selain Cisadane, varietas padi seperti Tukad Unda (2001), Ciherang (2004) serta varietas padi pasang surut Punggur (2005) juga meng-emisi CH_4 lebih tinggi dibandingkan varietas padi yang diuji pada tahun yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jumlah eksudat akar, perbedaan dalam jumlah anakan serta kapasitas oksidasi akar adalah faktor penyebab perbedaan emisi gas CH_4 dari varietas padi.

Data dalam Tabel 1 juga menyajikan rasio kg CH_4 per ton produksi padi untuk masing-masing varietas padi. Rasio tersebut digunakan untuk menduga berapa emisi CH_4 yang akan dihasilkan per ton produksi padi varietas tertentu. Misalnya, Memberamo pada tahun 2001 (Tabel 1) mempunyai rasio emisi CH_4 per ton produksi padi sebesar 14,3 artinya untuk menghasilkan 5 t gabah/ha, emisi CH_4 dalam satu musim dapat diduga sebesar 71,5 kg/ha, sedangkan apabila Cisadane yang ditanam (untuk tahun yang sama), emisi CH_4 yang akan dihasilkan sebesar 92,8 kg/ha untuk 5 t gabah/ha. Hasil kajian ini dapat digunakan sebagai indeks untuk menghitung tingkat emisi CH_4 di lahan sawah yang ditanami varietas padi tertentu.

Tabel 1. Kompilasi emisi gas CH₄ dari berbagai varietas padi di Indonesia

Varietas padi	Emisi CH ₄ (kg/ha/musim)	% penurunan emisi terhadap baseline	Hasil padi (t/ha)	% kenaikan hasil padi terhadap baseline	Rasio kg CH ₄ /t produksi padi	Tahun penelitian
Padi sawah						
Cisadane (baseline)	97,7		3,15		31,0	1997-1998
Memberamo	81,0	17,1	3,41	8,3	23,7	
Maros	73,9	24,4	3,68	17,0	20,1	
IR36	72,9	25,4	4,13	31,3	17,6	
IR64	37,4	61,7	3,52	11,9	10,6	
Cisadane (baseline)	238,5		3,98		59,9	1998-1999
Muncul	127,0	46,8	4,58	15,1	27,7	
IR36	117,5	50,7	4,87	22,5	24,1	
Memberamo	112,0	53,0	4,15	4,4	27,0	
IR64	97,0	59,3	3,89	-2,1	25,1	
Dodokan	74,5	68,8	3,32	-16,6	22,4	2001
Tukad Unda (baseline)	244,2		4,91		49,7	
IR64	195,7	19,9	4,87	-0,8	40,2	
Ciherang	170,5	30,2	5,34	8,9	31,9	
Tukad Petanu	157,8	35,4	2,78	-43,3	56,8	
Way Apo Buru	137,3	43,8	4,95	0,8	27,7	2001
Cisantana	133,1	45,5	4,95	0,9	26,9	
Tukad Balian	115,6	52,7	4,63	-5,7	25,0	
Cisadane (baseline)	107,0		5,76		18,5	
Memberamo	83,0	22,4	5,88	2,0	14,1	
Way Apo Buru	83,0	22,4	6,07	5,2	13,7	2001
IR64	79,0	26,2	5,87	1,9	13,4	
Cisadane, Tabela (baseline)	122,0		6,03		20,2	
Cisadane, Tapin	86,0	29,5	6,46	7,0	13,3	
IR64, Tabela	82,1	32,7	5,89	-2,4	13,9	
IR64, Tapin	78,2	35,9	5,91	-2,1	13,2	2003
Cisadane (baseline)	124,0		6,43		19,3	
Memberamo	106,0	14,5	7,40	15,2	14,3	
Way Apo Buru	106,0	14,5	7,40	15,2	14,3	
IR64	101,0	18,5	6,74	4,8	15,0	
Padi pasang surut						
Punggur (baseline)	183,0		4,00		45,7	2005
Banyuasin	179,0	2,2	3,50	-12,5	51,1	
Martapura	171,0	6,6	6,00	50,0	28,5	
Sei Lalan	153,0	16,4	5,70	42,5	26,8	
Indragiri	141,0	23,0	6,00	50,0	23,5	
Tenggulang	124,0	32,2	3,30	-17,5	37,6	
Balanghari	104,0	43,2	3,30	-17,5	31,5	

Sumber: Wihardjaka *et al.* (1997), Wihardjaka *et al.* (1999); Setyanto (2004), Setyanto *et al.* (2005); Setyanto and Abubakar (2006). Setyanto *et al.* (2006).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilaksanakan selama ini terkait emisi CH₄ dari berbagai varietas padi, diharapkan kepada para pemulia tanaman tidak hanya terfokus untuk menghasilkan varietas-varietas padi yang berdaya hasil tinggi dan tahan terhadap kekeringan, keracunan besi, keracunan almunium, atau mendapatkan varietas yang tahan terhadap hama/penyakit tertentu seperti

tungro, blas ataupun penggerek batang, tetapi juga mencari faktor-faktor genetik tanaman padi yang dapat meningkatkan *root oxidizing power* tanaman, rendah eksudat akar, sedikit jumlah anakan, serta umur tanaman genjah. Faktor-faktor ini mempunyai peran signifikan dalam menekan emisi CH_4 dari lahan sawah.

Emisi CH_4 dari lahan sawah sudah seyogyanya menjadi perhatian pengambil kebijakan di sektor pertanian, karena gas yang secara spesifik dihasilkan melalui dekomposisi anaerobik ini tidak memiliki mekanisme rosot/absorpsi seperti halnya CO_2 yang dapat diserap kembali oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Metana memiliki potensi pemanasan 23 kali lebih tinggi dari CO_2 . Dengan mengambil angka rata-rata emisi CH_4 selama satu musim padi sebesar 100 kg/ha saja akan setara dengan emisi 2,300 kg CO_2 -ekivalen. Oleh karena itu, perlu dicari upaya untuk mengurangi emisi CH_4 dari lahan sawah. Penggunaan varietas padi rendah emisi diharapkan menjadi satu solusi untuk mitigasi emisi gas CH_4 dari lahan sawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulakh, M. S., Wassman R., Bueno C., Kreuwieser J. & H. Rennenberg. 2001. Characterization of root exudates at different growth stages of ten rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Plant Biology* 3: 139-148.
- Aulakh M. S., J. Bodenbender, R. Wassmann and H. Rennenberg. 2000a. Methane transport capacity of rice plant. I. Influence of methane concentration and growth stage analyzed with automate measuring. *Nut Cycl in Agroecosyst* 58: 357-366.
- Aulakh M. S., J. Bodenbender, R. Wassmann and H. Rennenberg. 2000b. Methane transport capacity of rice plant. II. Variation among different rice cultivars and relationship with morphological characteristics. *Nut Cycl in Agroecosyst* 58: 367-375.
- Kimura, M. D., H. Murakami, and H. Wada. 1991. CO_2 , H_2 and CH_4 production in rice rhizosphere. *Soil Sci. Plant Nutr* 37: 55-60.
- Kludze, H. K. Delaune, R.D. and Patrick, W.H.Jr. 1993. Aerenchyma formation and CH_4 and oxygen exchange in rice. *J. Soil. Sci. Soc. Am* 57: 386-391.
- Ko, J.Y. and H. W. Kang. 2000. The effect of cultural practices on methane emission from rice fields. *Nutr. Cycl. in Agroecosyst* 58: 311-314.
- Raimbault H., Rinaudo G., Garcia J., L. Boureau M. 1977. A device to study metabolic gases in the rice rhizosphere. *Soil Biol Biochem* 9: 193-196.
- Setyanto, P. and Abubakar, R. 2006. Evaluation of methane emission and potential mitigation from flooded rice. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* Vol. 25. No. 4. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. p. 139-148.

- Setyanto, P., Lina, S.H., Febriana, W. H., Ritma, F. dan Sopiawati, S. 2006. Pengaruh varietas padi pasang surut terhadap emisi gas rumah kaca di lahan pasang surut. Laporan Penelitian Loka Penelitian Pencemaran Lingkungan Pertanian tahun 2006.
- Setyanto, P. and Abubakar, R. 2005. Methane emission from paddy fields as influenced by different water regimes in Central Java. *Indonesian Journal for Agricultural Science*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development. Vol. 6 (1): 1-9.
- Setyanto, P. 2004. Methane emission and it's mitigation in rice fields under different management practices in Central Java. Thesis. Serdang: Universiti Putra Malaysia.
- Shin, Y.K. and S.H., Yun. 2000. Varietal differences in methane emission from Korea rice cultivars. *Nutr. Cycl. in Agroecosyst* 58: 315-319.
- Wagatsuma, T. Nakashima, T. Tawaraya, K. Watanabe, S. Kamio, A. and A. Ueki. 1990. Role of plant aerenchyma in wet tolerance and methane emission from plants. *In: Plant nutrition-plant physiology and application*. p. 455-461.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto, A.K. Makarim. 1999. Pengaruh beberapa varietas padi terhadap emisi gas metan pada lahan sawah. Dalam: Partohardjono S., J. Soejitno, Hermanto (eds). Menuju Sistem Produksi Berwawasan Lingkungan. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Bogor, 24 April 1999. Bogor: Puslitbangtanak. p. 62-71.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto, A.K. Makarim. 1997. Pengaruh varietas padi terhadap besarnya emisi gas metan pada lahan sawah. Laporan Tahunan Loka Penelitian Tanaman Pangan Jakenan.