

UPAYA ADAPTASI TERHADAP PERUBAHAN IKLIM PADA LAHAN TADAH HUJAN MELALUI BUDIDAYA PADI RENDAH EMISI METANA

¹Rina Kartikawati, ¹Hesty Yulianingrum, ¹A. Wihardjaka dan
¹Prihasto Setyanto

¹Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Jalan raya Jakenan-Jaken km 05 Jaken, Pati
Telp (0295) 4749044, Fax (0295) 4749045
Alamat korespondensi: rinak_iaeri@yahoo.com, 082326532229

ABSTRAK

Adaptasi merupakan upaya yang sangat penting dilakukan dalam menghadapi perubahan iklim. Salah satu strategi adaptasi adalah melalui budidaya padi rendah emisi CH₄. Badan Litbang Pertanian telah melepaskan banyak varietas padi unggul berdaya hasil tinggi, namun belum banyak informasi berapa besarnya emisi yang dilepaskan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi emisi CH₄ dari berbagai varietas padi dan informasi peluang varietas tersebut dalam upaya adaptasi. Penelitian dilaksanakan di KP Balingtan pada musim gora tahun 2015/2016. Delapan varietas unggul padi (Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32 dan Inpari 33) ditanam dalam boks berukuran 1 m² yang berada pada plot berukuran 5 x 6 m². Percobaan dirancang secara acak kelompok dengan tiga ulangan. Pengambilan sampel CH₄ dilakukan dengan menggunakan alat pengukur GRK otomatis yang dioperasikan selama pertumbuhan tanaman di musim gora. Sebanyak 24 boks berukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm digunakan untuk menangkap gas CH₄. Gas dianalisa menggunakan *Gas Chromatography* (GC) tipe 2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CH₄ yang dilepaskan dari delapan varietas berbeda nyata pada taraf P<0.05. Besarnya emisi CH₄ pada varietas Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32 dan Inpari 33 adalah 229; 202; 249; 240; 168; 277; 285 dan 235 kg/ha/musim, secara berturut-turut. Mekongga mempunyai peluang sebagai varietas rendah emisi CH₄ berdaya hasil cukup tinggi yang dapat digunakan dalam upaya adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim dari lahan sawah.

Kata kunci: adaptasi, perubahan iklim, metana, varietas padi

ABSTRACT

Adaptation is an important effort to deal with climate change. One of adaptation strategy is cultivation using low-methane emission variety. Indonesian Agency for Agriculture Research and Development (IAARD) have released high yield rice varieties, however how much methane emission from those varieties were unknown well. The objective of this study were to obtain the information of methane emission from rice varieties and information on prospected varieties for

adaptation to climate change. The study was conducted in Research Station of Indonesian Agricultural Environment Research Institute (IAERI) on dry season 2015/2016. Eight of high yield rice varieties (Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32 and Inpari 33) were cultivated in 1 m² subplot of 30 m² plot, designed by randomize block design with three replicates. Sampling of CH₄ was carried out using automatically system of greenhouse gases instrument operated during plant growth in wet season. Twenty four of permanent close chambers, 1 m x 1 m x 1.2 m dimension of each chamber, were set up to capture CH₄ and gas was analyzed using *Gas Chromatography* (GC) type 2014. The study showed that CH₄ emission released from eight of rice varieties was significant different ($P < 0.05$). CH₄ emission from Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32 and Inpari 33 were 229; 202; 249; 240; 168; 277; 285 and 235 kg/ha/season, respectively. Mekongga prospected as low-methane emission variety for adaptation and mitigation strategy to climate change

Keywords: adaptation, climate change, methane, rice cultivar

PENDAHULUAN

Strategi adaptasi merupakan upaya penyesuaian kegiatan dan teknologi dengan kondisi iklim akibat fenomena perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global (Pedum Adaptasi PI, 2011). Menurut UU No 32 Tahun 2009 mengenai Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), adaptasi diartikan sebagai upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan iklim, termasuk keragaman iklim dan kejadian iklim ekstrim sehingga potensi kerusakan akibat perubahan iklim berkurang, peluang yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dapat dimanfaatkan, dan konsekuensi yang timbul akibat perubahan iklim dapat diatasi. Menurut Setyanto et al, 2013, sektor pertanian merupakan sektor yang paling rentan terhadap perubahan iklim yang dapat mengakibatkan krisis ketersediaan pangan, penurunan produktivitas dan pelandaian produksi tanaman pertanian dan degradasi sumber daya lahan dan air.

Selain sebagai korban perubahan iklim, sektor pertanian juga merupakan kontributor gas rumah kaca, terutama CH₄. Padi sawah dengan sistem tergenangnya dianggap sebagai sumber emisi CH₄, yaitu 12% dari total sumber antropogenik CH₄ (IPCC, 2007). Diantara tanaman sereal lainnya seperti gandum dan jagung, padi mempunyai GWP (Global Warming Potential) lebih besar, yaitu 3.8 Mg CO₂ per ha per musim (Linquist et al, 2012). Oleh karena itu upaya mereduksi emisi CH₄ perlu dilakukan.

Upaya adaptasi merupakan prioritas utama dalam pembangunan pertanian di Indonesia, terutama untuk komoditas utama tanaman pangan, hortikultura dan perkebunan, namun upaya mitigasi juga tetap dilaksanakan. Strategi adaptasi dapat dilakukan salah satunya dengan pengembangan teknologi budidaya yang lebih toleran terhadap cekaman iklim (Pedum Adaptasi PI, 2011). Salah satu cara yang

dilakukan adalah melalui seleksi varietas padi. Seleksi tersebut penting dilakukan untuk mendapatkan varietas berdaya hasil tinggi dan menghasilkan emisi CH₄ yang rendah. Perbedaan varietas padi dianggap berperan dalam mekanisme pelepasan gas CH₄. Badan Litbang Pertanian melepaskan varietas-varietas padi unggul baru dengan produktivitas yang tinggi, namun informasi besarnya emisi CH₄ yang dilepaskan belum banyak diketahui. Distribusi varietas padi unggul baru tidak hanya terbatas di daerah sawah irigasi, namun di lahan tadah hujan pun varietas-varietas tersebut dapat ditemui. Lahan tadah hujan sebagai lahan sub optimal berpeluang sebagai area pengembangan padi irigasi dengan menerapkan manajemen yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi besarnya emisi CH₄ dari berbagai varietas padi yang ditanam pada lahan tadah hujan dan mendapatkan informasi varietas-varietas yang berpeluang dalam upaya adaptasi terhadap perubahan iklim.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan (KP) Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) pada musim gogo rancah (gora), Desember 2015-Maret 2016. Pengukuran fluks CH₄ dilakukan dengan menggunakan *automatically system of close chamber* yang dioperasikan selama musim goras. Sistem tersebut dilengkapi dengan 24 *chamber* (boks) penangkap gas rumah kaca berukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm.

Sistem membuka dan menutup dari boks penangkap GRK tersebut dikendalikan oleh *master control* yang dioperasikan secara *computerize* di ruang kontrol Laboratorium GRK, Balingtan. Gas dari masing-masing boks penangkap dianalisa menggunakan *Gas Chromatography* (GC) tipe 2014 yang dilengkapi dengan *Flame Ionization Detector* (FID) untuk mendeteksi gas CH₄. Fluks CH₄ dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{Vch}{Ach} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2+T}$$

- E : Emisi gas GRK (mg/m²/hari)
- dc/dt : Perbedaan konsentrasi GRK per waktu (ppm/menit)
- Vch : Volume boks (m³)
- Ach : Luas boks (m²)
- mW : Berat molekul GRK (g)
- mV : Volume molekul GRK (22,41 liter)
- T : Temperatur rata-rata selama pengambilan sampel (oC)

Sebanyak 8 varietas padi sawah irigasi digunakan dalam percobaan, yaitu Ciherang (sebagai *baseline*), Mekongga, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 18, Inpari 31, Inpari 32 dan Inpari 33. Percobaan disusun secara acak kelompok dengan tiga ulangan sehingga terdapat 24 plot percobaan. Masing-masing plot percobaan mendapatkan perlakuan yang sama dalam sistem budidaya meliputi perlakuan air, penggunaan pupuk organik dan anorganik, pencegahan dan pemberantasan hama tanaman dan pemanenan.

Selama pertumbuhan tanaman, air dipertahankan dalam kondisi tergenang. Dosis pupuk anorganik yang digunakan adalah 120 kg/ha N, 45 kg/ha P₂O₅ dan 60 kg/ha K₂O. Masing-masing plot percobaan diberikan biokompos dengan takaran 5 t/ha yang diberikan bersamaan dengan olah tanah. Upaya preventif terhadap hama dilakukan dengan cara penyemprotan biopestisida yang dihasilkan oleh KP Balingtan. Namun apabila serangan hama tidak dapat ditanggulangi maka upaya pemberantasan dilakukan dengan menggunakan pestisida dengan dosis yang direkomendasikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola fluks CH₄ pada musim gora hampir sama di antara varietas yang digunakan. Fluks CH₄ meningkat seiring dengan pertumbuhan tanaman (meningkat dari fase vegetatif ke fase reproduktif) kemudian menurun perlahan pada fase pematangan hingga panen. Pola fluks CH₄ pada penelitian ini sama dengan pola fluks dari penelitian yang dilakukan oleh Gutierrez et al (2013). Pola fluks demikian terjadi seiring dengan penurunan potensial redoks dan penambahan pertumbuhan tanaman.

Fluks CH₄ secara kumulatif yang dihasilkan selama fase vegetatif (23-45 hari setelah tumbuh) adalah 8.3 g/m², sedangkan selama fase reproduktif (46-83 hari setelah tumbuh) dan pematangan (84-101 hari setelah tumbuh) adalah 11.1 dan 3.5 g/m², secara berturut-turut. Kumulatif fluks CH₄ tertinggi pada fase vegetatif dihasilkan oleh varietas Mekongga (8.8 g/m²) dan terendah oleh varietas Inpari 13 (7.4 g/m²). Namun pada fase reproduktif dan pematangan, varietas Mekongga menghasilkan kumulatif fluks terendah, yaitu 8.2 dan 2.2 g/m², sedangkan kumulatif fluks tertinggi dihasilkan oleh varietas Inpari 31 (13.8 g/m²) dan varietas Inpari 32 (5.5 g/m²), secara berturut-turut.

Rata-rata fluks CH₄ yang dihasilkan oleh berbagai varietas padi pada fase vegetatif tidak berbeda nyata pada taraf P<0.05 (Tabel 1), dengan fluks tertinggi dihasilkan oleh varietas Mekongga (419 mg/m²/hari) dan terendah pada varietas Inpari 13 (353 mg/m²/hari). Pada fase generatif, baik pada reproduktif maupun pematangan, rata-rata fluks CH₄ yang dihasilkan berbeda nyata (P<0.05) di antara varietas padi. Pada fase reproduktif dan pematangan, fluks tertinggi dihasilkan oleh varietas Inpari 31 (376 mg/m²/hari) dan Inpari 32 (349 mg/m²/hari), secara berturut-turut, sedangkan fluks terendah dihasilkan oleh varietas Mekongga (219 dan 141 mg/m²/hari, secara berturut-turut).

Perbedaan besarnya fluks CH₄ pada lahan sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu penggunaan pupuk organik dan pupuk kimia, pengelolaan air irigasi, sifat kimia-fisika tanah, suhu tanah dan udara, mikroorganisme dan karakteristik varietas padi (Bodelier et al, 2000). Hasil penelitian Kartikawati dan Nursyamsi (2013) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk NPK dapat meningkatkan emisi CH₄, sedangkan penerapan *intermittent irrigation* menurunkan 60% emisi CH₄ dibandingkan dengan pengairan tergenang. Pada penelitian ini, penggunaan pupuk

organik dan pupuk kimia (NPK) serta pengelolaan air sama di antara varietas yang digunakan, maka faktor tersebut dianggap tidak mempengaruhi terhadap emisi CH₄ yang dihasilkan dari berbagai varietas.

Tabel 1. Rata-rata fluks CH₄ pada fase vegetatif dan generatif dari berbagai varietas padi pada musim tanam gora 2015/2016 di KP Balingtan

Varietas	Fase vegetatif (mg/m ² /hari)	Fase generatif (mg/m ² /hari)	
		Reproduktif	Pematangan
Ciherang	354 a	285 c	238 bc
Mekongga	419 a	219 d	141 d
Inpari 18	417 a	347 a	223 bcd
IPB 3s	388 a	337 ab	224 bcd
Inpari 13	353 a	189 d	152 cd
Inpari 31	408 a	376 a	250 b
Inpari 32	412 a	347 a	349 a
Inpari 33	410 a	288 bc	196 bcd

Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata ($P < 0.05$)

Sifat tanah memberikan kontribusi terhadap besarnya fluks yang dilepaskan. Hasil analisa terhadap tanah KP Balingtan menunjukkan bahwa komposisi tekstur tanah terdiri dari 39% pasir dan 30% masing-masing debu dan liat. Menurut Zhang et al. 2012, tanah yang mempunyai tekstur pasir-liat menghasilkan emisi CH₄ lebih besar daripada tanah bertekstur lembut karena dipengaruhi oleh porositas tanah. Rata-rata suhu udara meningkat seiring dengan fase pertumbuhan tanaman (Tabel 2). Rata-rata suhu tertinggi terjadi pada fase pematangan, sedangkan jumlah radiasi matahari dan curah hujan tertinggi terjadi pada fase reproduktif. Menurut Gutierrez et al. 2013, suhu dan curah hujan yang tinggi berpengaruh pada meningkatnya emisi CH₄ pada fase pembentukan malai sampai dengan akhir fase reproduktif. Sass dan Cicerone (2002) menyatakan bahwa radiasi matahari berkorelasi dengan pelepasan gas CH₄, dimana peningkatan radiasi matahari akan meningkatkan aktivitas fotosintesis yang selanjutnya meningkatkan jumlah biomas tanaman.

Tabel 2. Kondisi cuaca di KP Balingtan pada musim gora 2015/2016 di KP Balingtan

Fase pertumbuhan	Rata-rata suhu Udara (°C)					Radiasi matahari (Cal/cm ²)	CH (mm)
	Maks.	Min.	06.30	13.30	16.30		
Vegetatif	39.7	24.0	35.6	39.5	36.6	10758	237
Reproduktif	39.9	23.7	35.5	39.7	36.6	16595	280
Pematangan	40.4	24.1	36.1	40.2	36.7	9457	159

Peningkatan radiasi matahari terlihat berpengaruh terhadap peningkatan jumlah anakan (Tabel 3). Pada awal fase vegetatif, jumlah anakan tidak berbeda nyata namun setelah memasuki fase vegetatif akhir jumlah anakan terlihat signifikan pada taraf $P < 0.05$. Pada semua varietas Inpari (Inpari 18, 13, 31, 32 dan 32) terlihat menghasilkan anakan yang efektif karena menghasilkan jumlah anakan maksimum lebih banyak dibandingkan varietas Ciherang, Mekongga dan IPB 3S.

Besarnya fluks CH_4 yang dihasilkan pada fase vegetatif merupakan kontribusi dari banyaknya jumlah anakan yang dihasilkan. Sedangkan fluks CH_4 yang dihasilkan pada fase reproduktif selain disebabkan karena jumlah anakan juga karena sumbangan bahan organik dari anakan yang mati (Tabel 1 dan Tabel 3). Bahan organik dan eksudat akar merupakan sumber utama bagi bakteri metanogen untuk melakukan aktivitasnya dan memproduksi gas metana (Kerdchoechuen, 2005; Win et al. 2011).

Tabel 3. Rata-rata jumlah anakan dari berbagai varietas padi pada musim gora 2015/2016 di KP Balingtan

Varietas	Jumlah Anakan					
	27	44	55	66	80	97
-----Hari Setelah Tumbuh -----						
Ciherang	14 a	16 abc	19 a	15 ab	13 bcd	14 ab
Mekongga	13 a	16 abc	19 a	14 ab	14 abc	14 ab
Inpari 18	10 a	14 bc	14 bc	13 bc	12 cd	12 bc
IPB 3s	10 a	12 c	13 c	11 c	11 d	10 c
Inpari 13	10 a	15 abc	18 ab	13 bc	13 bcd	13 bc
Inpari 31	13 a	19 abc	21 a	15 ab	15 ab	15 ab
Inpari 32	12 a	18 ab	21 a	15 ab	14 abc	14 ab
Inpari 33	14 a	17 abc	21 a	16 a	16 a	16 a

Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata ($P < 0.05$)

Masing-masing varietas mempunyai karakteristik yang berbeda yang pada akhirnya diekspresikan dalam komponen hasil (Tabel 4). Varietas Mekongga merupakan varietas yang paling produktif karena menghasilkan persentase gabah

hampa paling sedikit (yaitu 16%), sebagai pembandingan presentase gabah hampa varietas Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13 dan Inpari 31 adalah 29%, 33%, 38% dan 37%, secara berturut-turut. Bobot jerami tidak signifikan diantara varietas yang digunakan. Bobot jerami tertinggi dihasilkan oleh varietas IPB 3S (8.0 t/ha). Hasil padi terlihat signifikan diantara varietas padi dengan hasil tertinggi pada varietas Inpari 32 (7.78 t/ha).

Tabel 4. Komponen hasil, emisi CH₄ dan indeks gabah/emisi dari berbagai varietas padi pada musim gora 2015/2016 di KP Balingtan.

Varietas	Komponen hasil						Emisi CH ₄ (kg/ha/musim)	Indeks gabah/emisi
	Berat 1000 butir (g)	Gabah isi (butir)	Gabah hampa (butir)	Jumlah anakan produktif	Bobot jerami (t/ha)	GKG (t/ha)		
Ciherang	27.9 a	1091 ab	290 b	14 ab	6.9 a	5.98 bc	229 bc	26
Mekongga	27.6 a	1173 a	228 b	14 ab	6.8 a	6.51 bc	202 cd	33
Inpari 18	27.5 a	822 b	329 ab	12 bc	7.2 a	6.09 bc	249 ab	24
IPB 3s	28.0 a	974 ab	471 ab	10 c	8.0 a	5.69 c	240 b	24
Inpari 13	26.4 a	808 b	498 ab	13 bc	7.2 a	5.82 c	168 d	22
Inpari 31	27.1 a	1016 ab	605 a	15 ab	6.4 a	7.12 ab	277 a	25
Inpari 32	28.3 a	1040 ab	328 b	14 ab	6.7 a	7.78 a	285 a	26
Inpari 33	28.2 a	937 ab	282 b	16 a	6.1 a	5.86 c	235 bc	24

Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata (P<0.05)

Emisi CH₄ dari kedelapan varietas yang menggunakan pengairan tergenang berkisar antara 168 - 285 kg/ha/musim dengan emisi tertinggi dihasilkan oleh varietas Inpari 32. Emisi CH₄ terlihat signifikan berbeda diantara varietas yang digunakan. Perbedaan emisi CH₄ disebabkan karena karakteristik masing-masing varietas yang berbeda diantaranya jumlah anakan dan umur tanaman. Gas CH₄ terlepas dari tanah menuju atmosfer melalui aerenkima yang umumnya ada di batang padi, oleh karena itu semakin banyak anakan peluang gas CH₄ yang terlepas akan semakin banyak pula.

Semakin pendek umur tanaman maka siklus peluan gas CH₄ akan semakin pendek sehingga varietas padi umur genjah akan menghasilkan emisi CH₄ lebih rendah dibandingkan dengan varietas umur dalam. Pada penelitian ini, panen pada beberapa varietas dilakukan pada waktu yang berbeda, yaitu 100 hari setelah tumbuh untuk varietas IPB 3S, Inpari 13, Inpari 18 dan 106 hari setelah tumbuh untuk varietas Ciherang, Mekongga, Inpari 31, Inpari 32 dan Inpari 33.

Emisi dan produksi merupakan dua hal yang saling berkaitan dalam upaya adaptasi dan mitigasi GRK. Hal ini sejalan dengan Denier van der Gon et al. (2002) yang menyatakan bahwa reduksi emisi CH₄ dengan tetap mempertahankan peningkatan produksi padi adalah penting dilakukan. Terlebih padi adalah bahan pangan utama bagi 50% penduduk dunia dan dianggap sebagai sumber emisi CH₄ (Sass and Cicerone, 2002).

Berdasarkan Tabel 4, Inpari 32 menghasilkan gabah tertinggi namun juga emisi CH_4 tertinggi. Idealnya varietas yang digunakan dalam upaya adaptasi dan mitigasi adalah varietas yang menghasilkan produksi padi tinggi namun rendah emisi CH_4 . Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan indektasi hasil gabah dan emisi yang menggambarkan besarnya emisi CH_4 dalam gabah yang dihasilkan. Semakin tinggi indeks gabah/emisi maka semakin baik pula varietas tersebut. Dari penelitian ini, varietas Mekongga, Ciherang dan Inpari 32 menghasilkan indeks gabah/emisi yang lebih tinggi dari varietas lainnya, yaitu 33 dan 26, secara berturut-turut. Hal ini berarti ketiga varietas tersebut mempunyai peluang dapat digunakan dalam upaya adaptasi dan mitigasi GRK, terutama CH_4 di lahan sawah.

KESIMPULAN

Emisi CH_4 dari delapan varietas padi unggul, Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB 3S, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32 dan Inpari 33 adalah 229; 202; 249; 240; 168; 277 dan 285 kg/ha/musim. Varietas Mekongga mempunyai peluang sebagai varietas rendah emisi CH_4 berdaya hasil cukup tinggi yang dapat digunakan dalam upaya adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim dari lahan sawah.

SARAN

Eksplorasi karakteristik-karakteristik lain dari tanaman padi yang berpotensi menekan emisi CH_4 namun tetap menghasilkan produksi gabah tinggi perlu dilakukan sehingga pemulia dapat merakit varietas unggul baru yang adaptif terhadap perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodelier, Paul L.E., Peter Roslev., Thilo Henckel and Peter Frenzel. 2000. Stimulation by ammonium-based fertilizer of methane oxidation in soil around rice roots. *Nature*. Volume 403. 27 January 2000. Macmillan.
- Denier van der Gon, H.A.C., M.J. Kroff., N. van Bremmen., R. Wassmann., R.S. Lantin., E. Aduna., T.M. Corton and H.H. van Laar. 2002. Optimizing grain yields reduces CH_4 emission from rice paddy fields. *PNAS*. Volume 99. Nomor 19. 17 September 2002.
- Gutierrez, Jessie., Sang Yong Kim and Pil Joo Kim. 2013. Effect of rice cultivar on CH_4 emissions and productivity in Korean Paddy soil. *Field Crops Research*. Volume 146. 16-24 p.
- IPCC. 2007. Summary for policy makers. In: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Kartikawati, Rina dan Dedi Nursyamsi. 2013. Pengaruh pengairan, pemupukan dan penghambat nitrifikasi terhadap emisi gas rumah kaca di lahan sawah tanah mineral. *Ecolab*. Volume 7. Nomor 2. Juli 2013. Tangerang.
- Kerdchoechuen, Orapin. 2005. Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Volume 108. 155-163p.
- Linguist, Bruce., Kees Jan van Groeningen., Maria Arlene Adviento-Borbe., Cameron Pittelkow and Chriss van Kessel. 2012. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biology*. 18, 194-209
- Sass, Ronald L and Raplh J. Cicerone. 2002. Photosynthate allocations on rice plants: Food production or atmospheric methane. *PNAS*. Volume 99. Nomor 19. 17 September 2002.
- Setyanto, P., A. Wihardjaka dan Rina Kartikawati. 2013. Membangun kemampuan inovasi teknologi: Inovasi teknologi pertanian untuk mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim *dalam* Politik pembangunan pertanian menghadapi perubahan iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Hal: 242-265.
- Win, K.T., R. Nonaka., A.T. Win., Y. Sasada., K. Toyoda., T. Motobayashi and M. Hosomi. 2011. Comparison of methanotrophic bacteria, methane oxidation activity and methane emission in rice fields fertilized with anaerobically digested slurry between a fodder rice and a normal rice variety. *Paddy and Water Environment*. Volume 10. Issue 4. December 2012.
- Zhang, Yuan., Shiliang Zu., Feng Zhang., Runhe Shi and Wei Gao. 2012. Characterizing spatiotemporal dynamics of methane emissions from rice paddies in Northeast China from 1990 to 2010. *Plos One*. Volume 7. January 2012.