

PENGARUH KEGAGALAN MUSIM TANAM PADI PADA EMISI METANA (CH₄) DAN POTENSINYA PADA PEMANASAN GLOBAL

Lilik Slamet S

Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer – LAPAN
e-mail: lilik_lapan@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh seringnya kegagalan musim tanam padi yang menjadi langganan setiap tahun di Pulau Jawa dan belum diperhitungkannya emisi CH₄ ketika musim tanam yang gagal. Tujuan dari penelitian ini, pertama adalah mensimulasi emisi CH₄ ketika musim tanam gagal pada hari 39 Hari Setelah Tanam (HST), 62 HST, dan 83 HST dari sawah irigasi dan tadah hujan. Kedua adalah mengkorelasikan antara hasil simulasi emisi CH₄ dengan hasil pengukuran. Ketiga adalah menganalisis varietas padi yang memiliki rasio keefisiensi tertinggi (varietas padi yang memiliki produksi tinggi dengan emisi CH₄ yang rendah). Data yang digunakan adalah lama musim tanam, emisi CH₄ dalam satu musim tanam, dan luas sawah. Pengolah dan analisis data dengan menggunakan *software Powersim Constructor 2.5*. Hasil menunjukkan bahwa emisi CH₄ saat musim tanam gagal dari sawah irigasi lebih besar daripada sawah tadah hujan, baik untuk hari ke 39, 62, dan 83 HST. Koefisien korelasi antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan pengukuran langsung adalah 0,62. Varietas padi yang memiliki rasio keefisiensi terbesar adalah Tenggulang.

Kata-kata kunci: emisi, metana, musim tanam, padi, simulasi

ABSTRACT

This research was motivated by frequent failure of the rice planting season which happens every year on Java Island and CH₄ emission was not counted yet. The aims of this research were: first, to simulate CH₄ emission when the planting season happened to fail at day 39th, 62nd, and 83rd of Day After Planting (DAP) from irrigation field and rainfed field. Second, to correlate between CH₄ emission simulation result and the measurement result. Third, to analyse the variety of rice which has the highest eco-efficiency ratio (rice variety with high production and low CH₄ emission). The data used in this research were the length of

planting season, CH₄ emission in one planting season, and wide of field. Software Powersim Constructor 2.5 was used to process and analyse the data. The result showed that CH₄ emission when the planting season failed from irrigation field was higher than rainfed field at day 39th, 62nd, and 83rd of DAP. Correlation coefficient between simulation result of CH₄ emission and direct measurement was 0.62. Rice variety which had the highest eco-efficiency ratio was Tenggulang.

Keywords: emission, methane, paddy, simulation.

1 PENDAHULUAN

Pada setiap musim tanam padi, petani selalu memiliki dua peluang antara berhasil atau gagal. Peluang kegagalan musim tanam terutama disebabkan oleh fenomena alam berupa cuaca. Sektor pertanian khususnya budidaya padi sawah di Indonesia terutama di Pulau Jawa masih sangat bergantung kepada cuaca dan iklim. Pola cuaca yang tidak menentu dapat juga menjadi penyebab dan pemicu serangan hama dan penyakit tanaman padi. Beberapa contoh cuaca yang tidak menentu seperti hujan besar yang terjadi saat tanaman padi justru tidak membutuhkan air, banjir di sawah yang mengakibatkan akar busuk dan tanaman tergenang, angin puting beliung yang merebahkan batang tanaman padi, atau hujan yang diharapkan turun malahan terjadi kekeringan panjang.

Febrianti dan Dede (2013) menyatakan bahwa banjir yang melanda lahan sawah yang ditanami padi selama bulan DJF telah terjadi tiga kali pada bulan Desember sampai dengan Januari (DJF). Artinya pada setiap bulan minimal terdapat satu kali kejadian banjir melanda lahan sawah. Dikalangan petani musim tanam yang berhasil adalah tidak menjadi masalah. Secara ekonomi ketika musim tanam berhasil, petani menikmati hasil jerih payahnya. Pada saat musim tanam gagal, maka petani banyak mengalami kerugian. Pada musim tanam yang gagal kerugian tidak saja dialami oleh petani, tetapi lingkungan udara (atmosfer) di pedesaan juga mendapatkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Pertanian padi sawah menghasilkan empat jenis GRK yaitu

CH₄ (metana) dari teknik budidaya padi sawah dengan cara digenangi, gas N₂O (dinitrogen monoksida) dari penggunaan pupuk sintetis, gas CO₂ (karbon dioksida) dari pembakaran sisa panen, dan gas H₂O (uap air) dari evapotranspirasi lahan sawah yang tergenang dan tanaman padi sendiri. Peningkatan emisi CH₄ dan N₂O dari lahan sawah akan meningkatkan suhu udara dan selanjutnya kenaikan suhu udara akan meningkatkan evaporasi H₂O (air) dari sawah yang tergenang. Jadi peningkatan emisi suatu gas rumah kaca (CH₄ dan N₂O) akan meningkatkan emisi gas rumah kaca yang lain (H₂O dalam bentuk uap air). Metana diemisikan ke atmosfer melalui dua sumber yaitu sumber alami sebesar 40% (lahan basah dan rayap) dan sumber antropogenik (kegiatan manusia) sebesar 60% yang berasal dari budi daya pertanian padi sawah, peternakan hewan besar, pembuangan sampah, pembakaran biomassa, dan eksploitasi bahan bakar fosil (Trismidianto, 2009).

Pertanian padi sawah baik dengan teknik budidaya sawah irigasi ataupun sawah tadah hujan adalah sumber emisi metana. Sekitar 2/3 dari emisi CH₄ sumber antropogenik adalah berasal dari budi daya pertanian padi sawah (Lelieveld, dkk., 1998). Gas CH₄ dilepaskan dari pembuluh batang tanaman padi yang berongga dan ketika lahan sawah dikeringkan (tanaman padi memasuki fase generatif). Menurut Dewan Nasional Perubahan Iklim (2010) sektor pertanian menduduki emisi GRK tertinggi ketiga di Indonesia setelah perubahan tata guna lahan dan lahan gambut. Oleh karena itu adalah penting untuk mengetahui emisi gas rumah kaca khususnya CH₄ dari sektor pertanian padi lahan sawah terutama pada saat musim tanam gagal.

Banyak penelitian selama ini belum memperhitungkan dampak negatif yang diterima oleh lingkungan (atmosfer) berupa emisi CH₄ yang diakibatkan oleh musim tanam padi yang gagal. Oleh karena itu perumusan masalah dalam penelitian ini adalah belum diperhitungkannya emisi CH₄ pada lingkungan atmosfer akibat musim tanam padi yang tidak berhasil (gagal). Kebaruan dari penelitian ini adalah mengestimasi emisi CH₄ saat musim tanam tidak berhasil dengan pendekatan simulasi. Tujuan dari penelitian ini adalah pertama adalah menyimulasi emisi CH₄ ketika musim tanam gagal pada hari 39 HST, 62 HST, dan 83

HST dari sawah irigasi dan tadah hujan. Kedua adalah mengorelasikan antara hasil simulasi emisi CH₄ dengan hasil pengukuran. Ketiga adalah menganalisis varietas padi yang memiliki rasio ekofisiensi tertinggi (varietas padi yang memiliki produksi tinggi dengan emisi CH₄ yang rendah) .

2 DATA DAN METODOLOGI

2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah umur varietas padi (lama musim tanam), luas sawah irigasi, luas sawah non irigasi (sawah tadah hujan), dan emisi CH₄ setiap varietas padi dalam satu musim tanam. Data umur atau lama musim tanam 4 varietas padi (Tenggulang, Batanghari, Banyuasin, Punggur) berasal dari Balai Besar Penelitian Padi di Subang (Jawa Barat). Data luas sawah di Pulau Jawa bersumber dari Statistik Luas Penggunaan Lahan (2005-2012) yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Data produksi padi dan hasil pengukuran langsung emisi CH₄ (sebagai pembanding) berasal dari hasil penelitian sebelumnya dari Susilawati, dkk. (2009).

2.2 Metodologi

Penelitian ini diawali dengan mengkonversi emisi CH₄ yang dilepaskan oleh 4 varietas padi dalam satu musim tanam (kg/ha) menjadi emisi CH₄ per hari. Persamaan 1 adalah formulasi untuk mengetahui emisi CH₄ per hari.

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ per hari} = \frac{\text{Emisi CH}_4 \text{ satu musim tanam}}{\text{Lama musim tanam}} \quad (1)$$

Setiap varietas padi memiliki lamanya satu musim tanam yang berbeda satu sama lain. Tabel 1 menyajikan emisi CH₄ dari beberapa varietas padi untuk satu musim tanam dan lamanya musim tanam.

Setelah emisi CH₄ setiap hari diketahui akan dilakukan simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Powersim Constructor 2.5*. Simulasi emisi CH₄ (kg/ha) yang dilepaskan dari pertanian padi sawah akan dilakukan dengan membuat skenario jika kejadian bencana hidrometeorologi (banjir

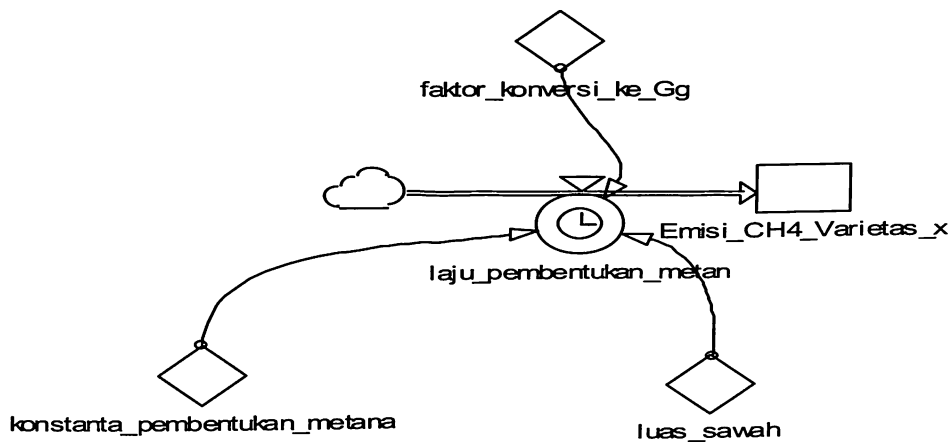
atau kekeringan) terjadi pada 39 HST, 62 HST, dan 83 HST. Pemilihan skenario kejadian bencana hidrometeorologi pada 39 HST, 62 HST, dan 83 HST adalah disebabkan terdapatnya data hasil pengukuran langsung yang dilakukan oleh Susilawati, dkk. (2009). Hasil pengukuran langsung oleh Susilawati, dkk. (2009) ini akan digunakan untuk komparasi dan korelasi antara hasil simulasi model estimasi emisi CH₄ dengan hasil pengukuran langsung. Diagram alir dalam *software Powersim Constructor 2.5* untuk simulasi disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Emisi CH₄ tiap musim tanam dan lama musim tanam.

Varietas Padi	*Emisi CH ₄ (kg/ha)	#Lama Musim Tanam (hari)
Tenggulang	121	125
Batanghari	100	125
Banyuasin	171	120
Punggur	182	117

Sumber: # = Balai Besar Penelitian Padi, Subang (Jawa Barat)

* = Susilawati, dkk., 2009.



Gambar 1. Diagram alir.

Analisis keakuratan model simulasi emisi CH₄ akan dilakukan dengan membandingkan antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan pengukuran langsung emisi CH₄. Analisis komparasi (perbandingan) dilakukan dengan mengetahui koefisien korelasi antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan emisi

CH₄ hasil pengukuran langsung. Jika koefisien korelasi (r) lebih besar atau sama dengan 0,5 menunjukkan ke dua data berhubungan kuat dan hasil simulasi dapat digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ untuk sawah irigasi dan sawah tadah hujan.

Analisis rasio ekoefisiensi akan dilakukan antara emisi CH₄ dengan produksi gabah padi setiap varietas. Persamaan rasio ekoefisiensi (R) seperti tersaji pada persamaan 2.

$$R = \frac{\text{Produksi gabah padi } \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}}\right)}{\text{Emisi CH}_4 \text{ satu musim tanam } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)} \quad (2)$$

Varietas padi yang memiliki rasio ekoefisiensi terbesar adalah varietas padi yang dapat ditanam untuk menghindari kegagalan musim tanam (panen), terutama pada kondisi iklim yang tidak menentu. Analisis rasio ekoefisiensi bertujuan agar produksi padi yang dihasilkan adalah bernilai ekonomi optimal bagi petani dan optimal secara ekologi untuk lingkungan atmosfer.

3 HASIL

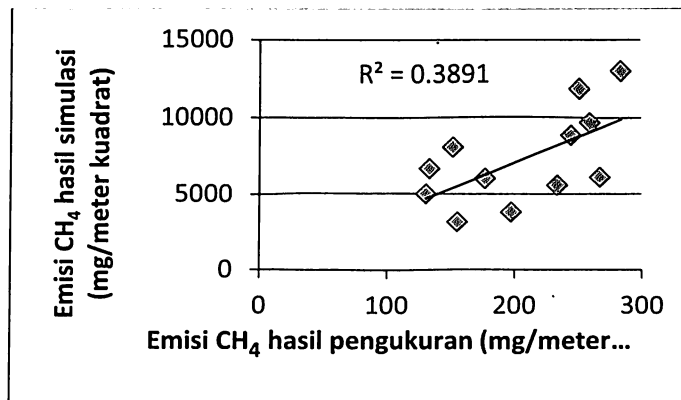
Hasil simulasi emisi CH₄ (kg/ha) dari beberapa varietas padi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Emisi CH₄ (kg/ha) pada saat satu musim tanam gagal.

Varietas Padi	Emisi CH ₄ (kg/ha)		
	39 HST	62 HST	83 HST
Tenggulang	37,75	60,02	80,34
Batanghari	31,20	49,60	66,40
Banyuasin	55,57	88,35	118,27
Punggur	60,84	96,72	129,48

Hasil simulasi emisi CH₄ pada Tabel 2 akan dianalisis koefisien korelasi (R) dengan menggunakan data perbandingan hasil pengukuran emisi CH₄ di lapangan (*in situ*). Gambar 2 menyajikan perbandingan antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan pengukuran langsung yang dilakukan oleh Susilawati, dkk.

(2009).

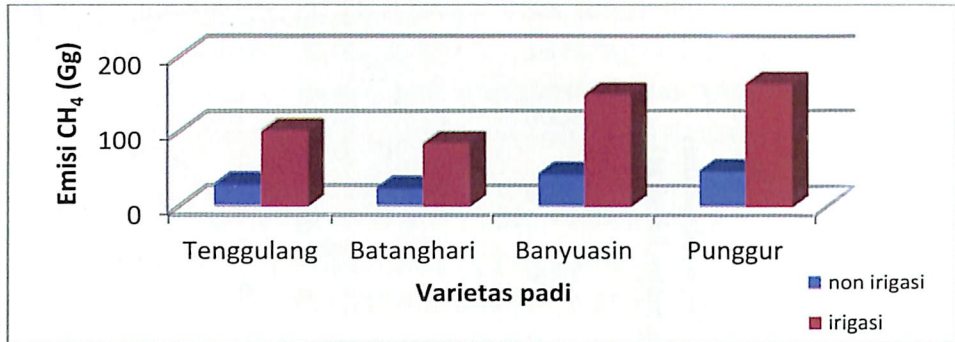


Gambar 2. Korelasi antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan pengukuran.

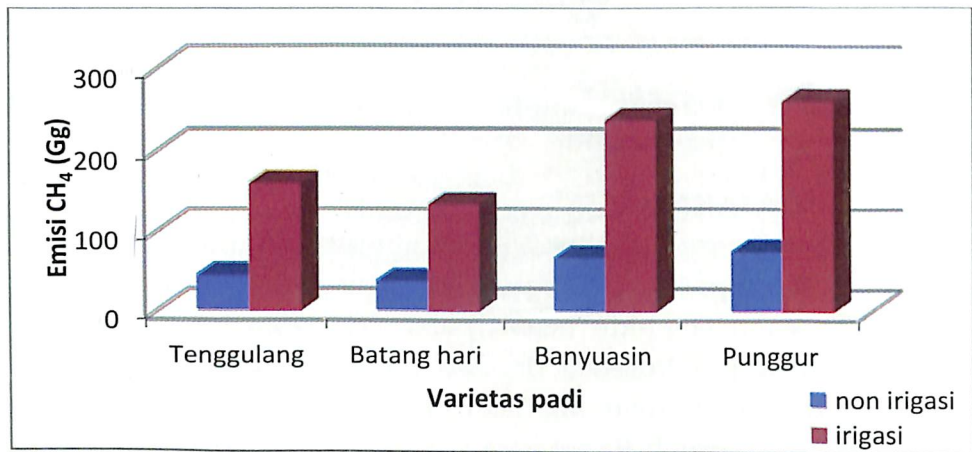
4 PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 2 (hasil simulasi) dapat diketahui bahwa untuk keempat varietas padi semakin lama hari setelah tanam (HST), maka semakin besar emisi CH₄. Jika hasil simulasi emisi CH₄ ini dibuat korelasi dengan hasil pengukuran lapang, maka akan diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,62 (pada Gambar 2 tampak R² sebesar 0,389 sebagai koefisien determinasi, koefisien korelasi adalah akar pangkat dua dari koefisien determinasi).

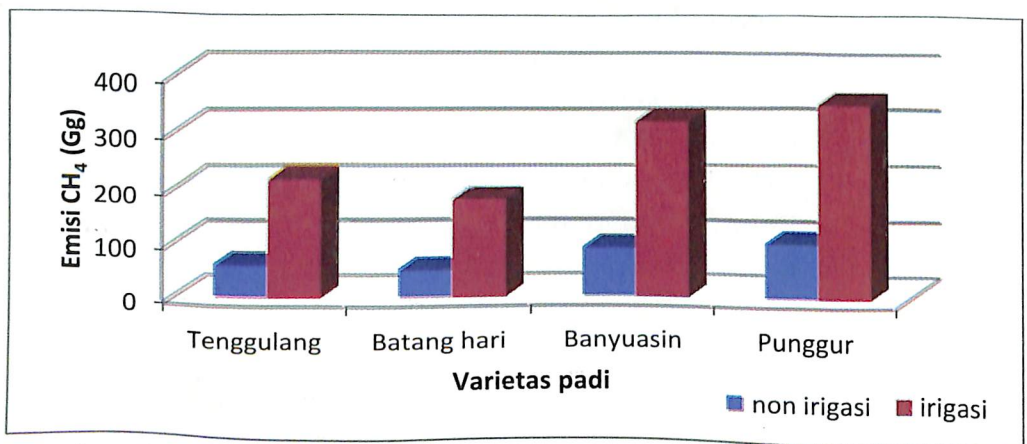
Koefisien korelasi antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan pengukuran langsung yang besarnya 0,62 adalah memiliki hubungan kuat sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ untuk sawah irigasi dan sawah tadah hujan di Pulau Jawa tahun 2012. Gambar 3, 4, dan 5 menyajikan estimasi emisi CH₄ di Pulau Jawa pada saat musim tanam gagal pada hari ke 39, 62, dan 83 HST untuk setiap varietas padi (4 varietas).



Gambar 3. Estimasi emisi CH_4 saat musim tanam gagal pada hari ke 39 HST.



Gambar 4. Estimasi emisi CH_4 saat musim tanam gagal pada hari ke 62 HST.



Gambar 5. Estimasi emisi CH_4 saat musim tanam gagal pada hari ke 83 HST.

Berdasarkan Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 dapat diketahui bahwa emisi CH_4 saat musim tanam gagal dari sawah irigasi lebih besar daripada sawah tadah hujan. Hal ini disebabkan oleh dua hal yaitu pertama luas sawah irigasi di Pulau Jawa lebih luas daripada luas sawah tadah hujan. Tabel 3 menyajikan luas sawah irigasi dan tadah hujan (non irigasi) di 6 provinsi di Pulau Jawa pada tahun 2012.

Tabel 3. Luas sawah di pulau jawa tahun 2012 (Sumber: BPS, 2012).

Provinsi	Irigasi	non irigasi
Jakarta	1103.17	0
Jawa Barat	673991	251574.21
Banten	156930	34090
Jawa Tengah	902312.6	199538.43
Yogyakarta	40907.06	30961.35
Jawa Timur	910532.7	242341.96

Penyebab kedua adalah pada sawah irigasi, sawah mendapatkan air secara terus-menerus dari waduk. Air yang jatuh pada permukaan suatu lahan tergenang akan membuat suatu lubang kecil pada permukaan lahan sawah sehingga timbul gelembung-gelembung kecil, melalui gelembung-gelembung kecil tersebut CH_4 diemisikan ke atmosfer sehingga emisi CH_4 menjadi lebih besar. Air untuk irigasi sawah berasal dari air hujan yang banyak membawa material tanah hasil erosi dan ditampung pada sebuah waduk. Air yang ditampung dalam sebuah waduk yang tergenang memiliki suhu air yang lebih tinggi daripada air hujan langsung. Setyanto dan Suharsih (2005) menyatakan bahwa air tergenang adalah lingkungan yang cocok untuk pembentukan CH_4 karena akan meningkatkan suhu tanah dan suhu air. Selanjutnya Cicerone, dkk. (1988) dalam Treenberth (1994) menyatakan bahwa pembentukan CH_4 berbanding lurus dengan suhu.

Pada sawah tadah hujan sumber air hanya berasal dari air hujan yang memiliki suhu air lebih rendah daripada suhu air normal. Hal ini disebabkan air hujan berasal dari kumpulan titik-

titik air yang berakumulasi pada suatu tempat (lokasi) yang berketinggian relatif tinggi di atmosfer. Semakin tinggi suatu tempat, maka semakin rendah suhu udaranya. Suhu air hujan berbanding terbalik dengan kadar oksigen yang terlarut dalam air. Air hujan yang bersuhu lebih rendah akan memiliki oksigen terlarut lebih tinggi sehingga ketika air hujan jatuh ke dalam sawah akan mengubah kondisi dari *anaerob* menjadi *aerob* sehingga emisi CH_4 berkurang.

Gas CH_4 dihasilkan dalam kondisi lingkungan air yang *anaerob* (tidak ada atau dengan sedikit oksigen). Dinyatakan juga oleh Setyanto dan Suharsih (2005) bahwa untuk emisi CH_4 dapat diturunkan dengan turunnya hujan. Hal ini menunjukkan bahwa sawah tadah hujan memiliki emisi CH_4 yang lebih kecil.

Hasil emisi CH_4 yang dilepaskan antara sawah irigasi lebih besar daripada sawah tadah hujan juga dinyatakan oleh Setyanto (1994) yang telah melakukan percobaan lapangan menanam padi sehingga diperoleh besarnya emisi CH_4 yang dilepaskan oleh sawah irigasi adalah antara 71-217 $\text{mg/m}^2/\text{hari}$ dan sawah tadah hujan adalah 19-123 $\text{mg/m}^2/\text{hari}$.

Berdasarkan Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 dapat diketahui pertama bahwa musim tanam padi yang gagal juga telah menyumbangkan emisi CH_4 pada lingkungan udara pedesaan. Kedua, musim tanam padi yang gagal dari sawah irigasi memiliki emisi CH_4 lebih tinggi daripada sawah tadah hujan. Ketiga, varietas padi yang memiliki emisi CH_4 terbesar jika musim tanam gagal adalah Punggur dan emisi CH_4 terkecil adalah varietas Batanghari.

Besarnya emisi CH_4 ini karena musim tanam yang gagal jika dibandingkan dengan nilai produksi padi tiap varietas, maka akan didapatkan nilai rasio ekoefisiensi dari budidaya padi sawah. Peneliti sebelumnya (Wihardjaka, dkk., 1997; Wihardjaka, dkk., 1999; Setyanto, dkk., 2004) tidak menyebut perbandingan ini sebagai rasio ekoefisiensi. Oleh penulis rasio antara produksi padi dengan emisi CH_4 yang dihasilkan dapat disebut sebagai rasio ekoefisiensi. Ekoefisiensi adalah segala bentuk pengelolaan sumber daya alam yang dilakukan dengan tujuan meminimalkan dampak negatif (emisi CH_4) terhadap lingkungan dengan tetap memperhatikan nilai ekonomi (produksi padi). Rasio ekoefisiensi

pada tulisan ini adalah perbandingan antara produksi gabah terhadap emisi CH₄. Tabel 4 menyajikan nilai ekoefisiensi dari beberapa varietas padi.

Tabel 4. Rasio nilai ekoefisiensi beberapa varietas padi.

Varietas Padi	*Emisi CH ₄ (kg/ha)	*Produksi Gabah (kg/ha)	#Rasio Ekoefisiensi
Tenggulang	121	3220	26,61
Batanghari	100	1560	15,60
Banyuasin	171	2670	15,61
Punggur	182	4050	22,25

Sumber: * = Susilawati, dkk.,2009.

#= hasil analisis peneliti.

Berdasarkan Tabel 4 dapat disusun prioritas varietas padi yang dapat ditanam untuk mengurangi emisi CH₄ jika terjadi kegagalan musim tanam, tetapi produksi padi tetap optimal. Berdasarkan rasio ekoefisiensi, maka varietas padi yang memiliki prioritas pertama untuk ditanam menurut analisa peneliti adalah yang memiliki rasio ekoefisiensi paling besar yaitu varietas Tenggulang. Urutan prioritas selanjutnya yang dapat ditanam untuk mengurangi emisi CH₄ adalah varietas Punggur, Banyuasin, Batanghari.

Varietas padi yang ditanam harus diperhatikan dengan benar untuk menghindari jika musim tanam gagal sehingga emisi CH₄ dapat dikurangi. Metana adalah salah satu gas rumah kaca yang memiliki potensi besar dalam pemanasan global. Potensi itu disebabkan oleh Bobot Molekul (BM) CH₄ sebesar 16 yang paling ringan diantara bobot molekul gas rumah kaca lainnya.

Hukum Archimedes menyatakan jika zat dengan berat jenis yang lebih kecil masuk atau berada dalam sebuah zat cair, maka zat tersebut akan terapung. Hukum Archimedes ini juga berlaku dalam udara (atmosfer). Hal ini disebabkan udara dan zat cair adalah sama-sama sebuah sistem fluida. Pada fluida zat cair dikenal berat jenis, maka dalam fluida udara dapat disamakan dengan BM gas. Pada fluida zat cair, maka sistem fluidanya adalah berupa zat cair. Pada fluida atmosfer, maka sistem fluidanya dapat berupa udara kering atau udara lembab. Udara

kering adalah udara yang terdiri dari susunan komponen utama gas N₂ (nitrogen= 78,09%), O₂ (oksigen= 20,95%), Ar (argon= 0,93%), dan CO₂ (karbon dioksida= 0,03%). Udara lembab merupakan campuran antara udara kering dengan uap air. Udara lembab memiliki komposisi seperti udara kering dengan tambahan uap air (0-4%) (Pawitan, 1989).

Bobot molekul sistem fluida udara kering, di mana CH₄ terdapat didalamnya adalah 28,964 (Pawitan, 1989). Bobot molekul CH₄ adalah 16, maka molekul-molekul CH₄ akan terapung di atmosfer dan dengan bantuan angin akan dengan mudah memasuki lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Warneck (1988) telah menunjukkan bahwa CH₄ dapat melayang jauh hingga sampai ke stratosfer. Metana yang sampai di stratosfer berpotensi merusak O₃ (Biswas and Biswas, 1979). Konsentrasi O₃ yang berkurang di stratosfer dapat mengakibatkan penipisan lapisan ozon yang berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup di Bumi.

Potensi pemanasan global dari CH₄ yang lain adalah dari lahan sawah yang ditanami padi. Laju pertumbuhan lahan sawah irigasi di Pulau Jawa (data 2005-1012) sebagai penghasil beras adalah 1,23% per tahun, sedangkan untuk sawah tadah hujan adalah 8,07% per tahun. Pertanian padi sawah adalah salah satu sumber emisi CH₄.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal. Pertama, sawah irigasi mengemisikan metana lebih besar daripada sawah tadah hujan pada saat musim tanam gagal baik pada hari ke 39, 62, dan 83 HST. Pada musim tanam gagal, hari setelah tanam yang semakin lama, maka emisi CH₄ semakin besar. Kedua, koefisien korelasi antara emisi CH₄ hasil simulasi dengan hasil pengukuran adalah 0,62. Artinya model simulasi untuk estimasi emisi CH₄ pada saat musim tanam gagal dapat digunakan. Ketiga varietas padi yang dapat ditanam untuk mengurangi emisi CH₄ jika terjadi kegagalan musim tanam adalah varietas Tenggulang, lalu disusul berturut-turut adalah Punggur, Banyuasin, dan Batanghari.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih, penulis tujukan kepada Balai Besar Penelitian Padi di Subang (Jawa Barat) atas data umur varietas (lama musim tanam) dan Bapak Toni Samiaji atas data Luas Penggunaan Lahan (2005-2012).

DAFTAR RUJUKAN

- Biswas, A. K, Biswas, M. R, 1979: The Ozone Layer. *Proceeding of The Meeting of Experts Designated*. Governments, Intergovernmental and Non Governmental Organizations on The Ozone Layer, Pergamon Press, Washington DC.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2010: Kurva Biaya (Cost Curve) Pengurangan Gas Rumah Kaca di Indonesia. Jakarta, DNPI, 55 halaman.
- Febrianti, N, Dede D, 2013: Analisis Frekuensi Banjir Sawah Pada Musim Hujan Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Proseding Seminar Nasional Sains Atmosfer Dan Antariksa*, Serpong, 27 November 2012, LAPAN, 292-299.
- Lelieveld, J, Paul J. Crutzen, Frank J. Dentenre, 1998: Changing Concentration, Lifetime and Climate Forcing of Atmospheric Methane. *Journal Tellus B*, **50**, 128-150.
- Pawitan, H., 1989: Termodinamika Atmosfer. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan, DIKTI, PAU, IPB, Bogor, 239 halaman.
- Pschorn, A. H, W. Seiler, 1986: Methane emission during cultivation period from an Italian rice paddy. *Journal Of Geophysical Research: Atmosphere*, **91**, 11803-11814.
- Setyanto, P, 1994: Penelitian Emisi CH₄ di Kebun Percobaan Jakenan. Laporan Tahunan Loka Penelitian Tanaman Pangan, Jakenan, Pati. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Setyanto, P., A. B. Rosenani, M. J. Khanif, C. I. Fauziah, R. Boer, 2004: Methane Emission and Its Mitigation in Rice Fields Under Different Management Practices in Central Java. *Ph.D, Thesis*, Universiti Putra Malaysia.
- Setyanto, P, Suharsih, 2005: Mitigasi Gas Metan Dari Lahan Sawah. *Laporan Tahunan Loka Penelitian Tanaman Pangan*, Jakenan, Pati. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Kementerian Pertanian, 289-305.
- Susilawati, H. L., P. Setyanto, R. Kartikawati, 2009: Karakteristik Tanaman Padi Pasang Surut dan Perbedaannya Terhadap Fluks CH₄ di Tanah Gambut. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, **30**, 67-79.

- Treenberth, K., 1994: *Climate System Modelling*, Academy Press, New York.
- Trismidianto, 2009: Analisis Laju Kenaikan Konsentrasi CO₂, CH₄, Dan N₂O Di Kototabang Dan Beberapa Wilayah Di Dunia. *Prosiding Workshop Aplikasi Sains Atmosfer*, 1 Desember 2008, LAPAN, Jakarta, 107-118.
- Warneck, 1988, in *Climate Science Of Methane*, Chapter II, www.ourenergypolicy.org/wp-content/upload/2013/10/chapter02.pdf.
- 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*.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto, A. K. Makarim, 1999: Emisi Gas Metan Dari Berbagai Varietas Padi. *Laporan Tahunan Loka Penelitian Tanaman Pangan Jakenan*.