

Bacteria as Greenhouse Gases Reducing Agents from Paddy Plantation

MAFRIKHUL MUTTAQIN^{1*}, MIFTAHUDIN¹, IMAN RUSMANA¹

¹*Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680, Indonesia*

Diterima 01 Agustus 2016/Disetujui 05 September 2016

High methane oxidation activity of local isolated methanotrophic bacteria have a potent as methane gases reducing agent while combined with nitrogen fixing bacteria as paddy biofertilizer. The aim of the research was to evaluate the effectiveness of the bacteria as methane gases reducing agent and biofertilizer in paddy plantation. The research was arranged in a completely randomized design consisted of fertilizer types and watering system treatments with four replicates. The research showed that paddy shoot length was not affected by the treatment. On the other hand, both plant fresh and dry weight, as well as the number of productive tiller were affected by interaction of fertilizer types and watering system. Fertilizer types affected grain per panicle and methane flux after fertilization. In the end of paddy vegetative stage, bacterial fertilizers were capable to reduce methane emission in different rate. The different result in methane flux was likely due to the interaction between soil local microorganisms and soil chemical component.

Key words: Bacteria, CH₄, mitigation, paddy

PENDAHULUAN

Lahan persawahan di Indonesia memiliki potensi dalam menyumbang emisi metan (CH₄), salah satu gas rumah kaca. Emisi CH₄ ke atmosfer secara umum dipengaruhi oleh siklus metan metanogen – metanotrof dan transfer metan secara vertikal (Dubey 2005). Pembenanaman jerami padi pada lahan persawahan setelah panen diduga merupakan substrat utama pembentukan CH₄ (Weber *et al.* 2001). Pemberian pupuk nitrogen (N) pada lahan persawahan juga dapat mempengaruhi emisi metan (Minami 1995). Secara biologis, emisi metan menuju atmosfer diketahui dapat ditekan oleh bakteri metanotrof yang hidup pada bagian aerob lahan persawahan.

Pada lahan persawahan di daerah Bogor dan Sukabumi, telah ditemukan isolat metanotrof lokal yang memiliki aktivitas oksidasi metan yang tinggi (Rusmana & Akhdiya 2009). Isolat bakteri tersebut memiliki potensi sebagai agens pereduksi emisi metan dari lahan persawahan.

Efektivitas isolat bakteri tersebut dalam mereduksi metan di lahan persawahan perlu diketahui melalui suatu penelitian. Sebelum dilakukan aplikasi di lahan persawahan, perlu dilakukan penelitian dalam skala rumah kaca. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pupuk nitrogen, bakteri

metanotrof, bakteri penambat nitrogen, dan sistem pengairan padi terhadap pertumbuhan padi varietas Ciherang dan emisi metan di rumah kaca.

BAHAN DAN METODE

Isolat Bakteri dan Tanaman Padi. Bakteri yang digunakan adalah isolat bakteri metanotrof (BGM 1, BGM 5, BGM 9) koleksi Iman Rusmana dan isolat bakteri penambat N₂ (*Azotobacter* sp. dan *Azospirillum* sp.) koleksi Departemen Biologi FMIPA IPB. Padi yang digunakan adalah padi varietas Ciherang. Berbagai bahan dan alat standar laboratorium mikrobiologi digunakan dalam penelitian ini.

Estimasi Dosis Pupuk Nitrogen Petani Padi. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui dosis pupuk nitrogen yang digunakan petani. Dosis pemberian pupuk diketahui melalui survei pada 182 petani di beberapa daerah di pulau Jawa. Survei dilakukan dengan wawancara dengan menggunakan kuisioner.

Analisis Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Padi dan Emisi Metan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor yaitu jenis pupuk dan sistem pengairan. Faktor dan taraf disajikan pada Tabel 1.

Isolat bakteri metanotrof diremajakan pada media agar *Nitrate Mineral Salt* (NMS, Tabel 2) + 1% metanol. Isolat *Azotobacter* dan *Azospirillum* masing-masing diremajakan pada

*Penulis korespondensi : +6289634557428
E-mail: mafrikhul.bio@apps.ipb.ac.id

Tabel 1 Faktor dan Taraf Penelitian

Faktor	Taraf	Kode
Jenis Pupuk	pupuk nitrogen (N) 100% dosis rekomendasi (2.5 g per pot \approx 250 kg/ha)	PU100
	pupuk N 50% dosis rekomendasi (1.25 g per pot \approx 125 kg/ha)	PU50
	pupuk bakteri BGM 1 dan BGM 5	PB15
	pupuk bakteri BGM 1 dan BGM 9	PB19
	pupuk bakteri kombinasi bakteri penambat N ₂ dan seluruh metanotrof	PMA
	tanpa pemupukan, kontrol	K
Sistem Pengairan	Tergenang	T
	Macak-macak	M

Tabel 2 Komposisi *Media Nitrate Mineral Salt* (NMS)

	Komposisi	Jumlah (g) per 1 liter dH ₂ O
<i>Nitrate Mineral Salt</i> (NMS)	MgSO ₄ .7H ₂ O	1.000
	CaCl ₂ .6H ₂ O	0.200
	KNO ₃	1.000
	KH ₂ PO ₄	0.272
	Na ₂ HPO ₄	4.000
	NH ₄ Cl	4.000
	Na ₂ EDTA	0.500
	FeSO ₄ .7H ₂ O	0.200
	H ₃ BO ₄	0.030
	CoCl ₂ .6H ₂ O	0.020
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.010
	MnCl ₂ .4H ₂ O	3.000
	Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O	3.000
	NiCl ₂ .6H ₂ O	2.000
CaCl ₂ .2H ₂ O	1.000	

Tabel 3 Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Sifat Fisik dan Kimia Tanah	Hasil Analisis	Nilai *)
pH	5,6	Agak masam
Tekstur Tanah (%)		
Pasir	8,45	Liat
Debu	21,75	
Liat	69,8	
Bahan Organik C (%) (Walkey & Black)	2,39	Sedang
Bahan Organik N-total (%) (Kjeldhal)	0,2	Rendah
Ca	4,56	Rendah
Mg	1,15	Sedang
K	0,17	Rendah
Na	0,68	Sedang
KTK	17,28	Sedang
HCl 25%	45,9	Tinggi
Bray 1	4,7	Rendah
Kejenuhan Basa (%)	37,96	Rendah
Al	Tidak terukur	Sangat rendah
H	0,12	Sangat rendah

*) menurut Balittan (2005)

media agar NMS + 1% sukrosa dan media NMS + 1% asam malat. Masing-masing biakan kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 3-7 hari. Bakteri-bakteri hasil peremajaan dikulturkan dalam media cair sesuai jenisnya. Kultur kemudian diinkubasi selama 5-7 hari pada penangas bergoyang dalam suhu ruang ($\pm 37^\circ\text{C}$).

Tanah untuk penanaman padi berasal dari lahan persawahan Darmaga Bogor. Sifat fisik dan kimia tanah disajikan pada Tabel 3. Tanah disiapkan pada ember volume 8 kg untuk dilumpurkan kembali selama satu minggu. Pupuk dasar NPK dan kompos kemudian ditambahkan. Sementara itu, benih tanaman padi varietas Ciherang disemai selama tujuh hari, kemudian ditanam pada ember yang telah berisi media tanah dengan satu tanaman untuk setiap ember.

Sebanyak 1 ml bakteri (10^8 sel/ml) bakteri diinokulasikan pada tanaman padi yang mendapat perlakuan PB15 dan PB19 pada 10 hari setelah tanam (HST). Pada umur 35 HST dilakukan pemberian pupuk N (Urea) sesuai dengan perlakuan (PU100, PU50). Pada perlakuan K tidak diberikan bakteri atau pupuk N perlakuan.

Perlakuan sistem pengairan diberikan pada saat mulai tanam. Kondisi tergenang diberikan sesuai dengan kondisi pada budidaya padi konvensional dengan tingkat genangan rata-rata 5 cm dari permukaan tanah. Kondisi macak-macak merupakan kondisi air pada media tanam dengan mengikuti sistem pengairan dari budidaya padi *System of Rice Intensification* (SRI).

Tanaman padi kemudian dipelihara sampai panen. Peubah yang diamati meliputi peubah vegetatif dan generatif tanaman padi serta gas metan. Peubah vegetatif padi yang diamati adalah tinggi tanaman, bobot basah, dan bobot kering tanaman padi, sedangkan peubah generatif padi yang diamati adalah jumlah anakan produktif, jumlah gabah isi per malai, dan bobot 1000 butir gabah. Analisis metan dilakukan pada sehari setelah pemupukan (bakteri atau pupuk N) dan di akhir masa vegetatif.

Gas CH_4 dikumpulkan dengan menggunakan sungkup statis tertutup pada tanaman padi. Sampel gas sebanyak 10 ml diambil dengan menggunakan *syringe* dan dimasukkan ke dalam tabung vakum. Sampel gas diambil pada saat setelah penyungkupan (t_0), menit ke 180 (t_1), menit ke 360 (t_2), dan menit ke 540 (t_3). Fluks metan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

(Hou *et al.* 2000)

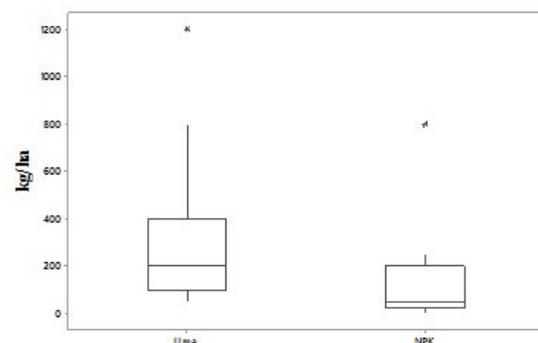
Keterangan:

- F = Fluks gas CH_4 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{menit}$)
 dc/dt = Perbedaan konsentrasi CH_4 per waktu (ppm/menit)
 Vch = Volume sungkup (m^3)
 Ach = Luas sungkup (m^2)
 mW = Bobot molekul CH_4 (mg)
 T = Suhu rata-rata selama pengambilan sampel ($^\circ\text{C}$)

Data hasil pengamatan pada percobaan kultur hara dan percobaan lapang dianalisis dengan Sidik Ragam pada tingkat kepercayaan 95%. Data yang berbeda signifikan dilanjutkan dengan uji Duncan (DMRT) pada $\alpha = 0.05$.

HASIL

Dosis Pupuk Nitrogen Petani Padi. Variasi dosis pupuk Nitrogen (N) yang diberikan petani dalam budidaya padi disajikan pada Gambar 1. Pupuk N yang diberikan oleh petani pada lahan persawahan dapat berupa urea atau NPK.

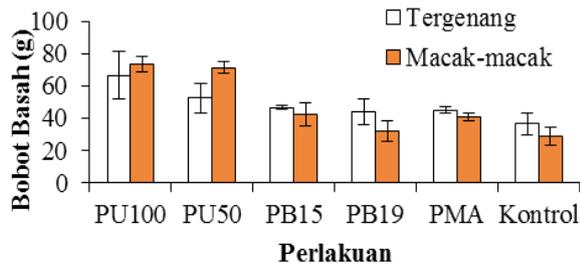


Gambar 1 Variasi dosis pupuk Nitrogen (N) dalam bentuk urea dan NPK petani di pulau Jawa (rata-rata urea: 287.2 ± 241.7 kg/ha; rata-rata NPK: 124.8 ± 191.7 kg/ha)

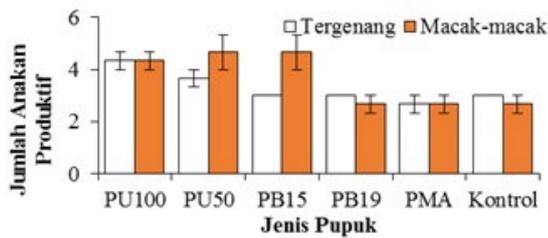
Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Padi dan Emisi Metan. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tinggi tanaman padi pada 75 hari setelah tanam (HST) tidak dipengaruhi oleh jenis pupuk, sistem pengairan atau interaksinya (data tidak disajikan). Data bobot basah dan bobot kering biomassa disajikan berturut-turut pada Gambar 2 dan 3. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$) terhadap bobot basah atau bobot kering tajuk tanaman padi. Berdasar data jumlah anakan produktif

tanaman padi (Gambar 4), terdapat pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$). Pupuk bakteri dan sistem pengairan saling berinteraksi untuk membangun biomassa membentuk anakan produktif.

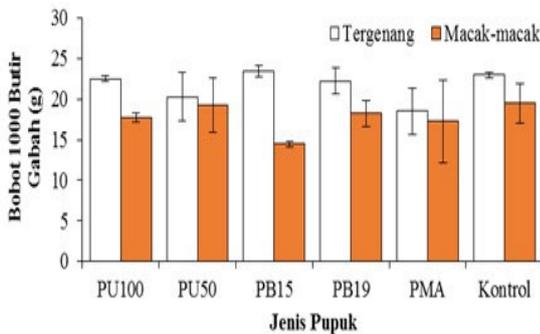
Anakan produktif tanaman padi menghasilkan malai dan gabah. Jumlah gabah per malai dan bobot 1000 butir gabah disajikan pada Gambar 5 dan 6. Jenis pupuk diketahui mempengaruhi jumlah gabah



Gambar 2 Bobot basah tajuk tanaman padi. Error bar menunjukkan standard error dari rata-rata. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$).



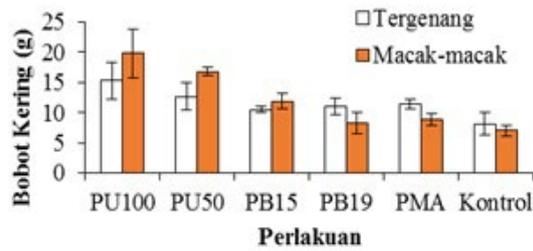
Gambar 4 Jumlah anakan produktif tanaman padi. Error bar menunjukkan standard error dari rata-rata. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$).



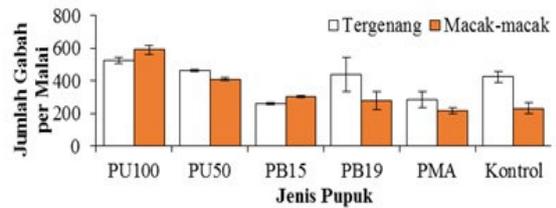
Gambar 6 Bobot 1000 butir gabah tanaman padi. Error bar menunjukkan standard error dari rata-rata. Sidik ragam dua arah menunjukkan tidak ada pengaruh nyata jenis pupuk, jenis bakteri, dan interaksinya ($p < 0.05$).

per malai berdasarkan sidik ragam. Sementara itu, perlakuan tidak memberikan pengaruh terhadap bobot 1000 butir gabah. Dari hasil pengamatan parameter generatif padi, diketahui bahwa pupuk anorganik (PU100 dan PU50) secara umum berpengaruh pada fase generatif padi yang lebih baik dibandingkan pupuk bakteri (PB15, PB19, dan PMA) dan kontrol.

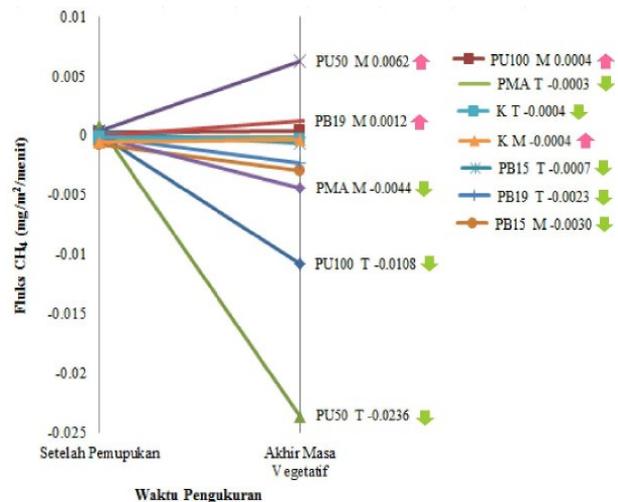
Fluks metan setelah pemupukan dengan pupuk bakteri dan pupuk anorganik serta saat akhir masa



Gambar 3 Bobot kering tajuk tanaman padi. Error bar menunjukkan standard error dari rata-rata. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$).



Gambar 5 Jumlah gabah per malai tanaman padi. Error bar menunjukkan standard error dari rata-rata. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata jenis pupuk ($p < 0.05$).



Gambar 7 Fluks CH₄ tanaman padi pada saat setelah pemupukan (kiri) dan akhir masa vegetatif (kanan). T: tergenang, M: macak-macak. ↑ : kenaikan fluks CH₄, ↓ : penurunan fluks CH₄. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata jenis pupuk ($p < 0.05$) saat setelah pemupukan.

vegetatif ditunjukkan pada Gambar 7. Fluks metan yang bernilai positif menunjukkan adanya emisi metan menuju atmosfer. Fluks metan yang bernilai negatif menunjukkan adanya serapan metan oleh aktivitas metanotrof atau rendahnya aktivitas metanogen.

Analisis sidik ragam dua arah menunjukkan adanya pengaruh nyata jenis pupuk ($p < 0.05$) setelah pemupukan. Jika dibandingkan dengan data fluks metan perlakuan pupuk bakteri, semua pot tanaman padi dengan pupuk anorganik diketahui melepas metan ke atmosfer (nilai fluks positif). Sementara itu, pemberian bakteri diketahui dapat mencegah fluks metan ke atmosfer yang ditandai dengan nilai fluks yang negatif. Pada saat setelah pemupukan, pupuk bakteri PMA diketahui mampu mereduksi fluks metan paling baik dan diikuti oleh PB19 pada kondisi tergenang. Sementara itu, perlakuan PB15 tidak mampu mereduksi fluks metan. Sedangkan, pada semua perlakuan sistem pengairan macak-macam dengan perlakuan PU100, PU50, PB19, dan K dijumpai kenaikan fluks metan (Gambar 7).

PEMBAHASAN

Dalam praktik budidaya padi, petani di pulau Jawa menggunakan dosis pemberian pupuk nitrogen (N) yang beragam (Gambar 1). Secara umum, petani memberikan pupuk N dalam bentuk urea dengan dosis antara 150 – 400 kg/ha (rata-rata urea: 287.2 ± 241.7 kg/ha). Sementara itu, petani memberikan pemupukan N dalam bentuk NPK dengan dosis rata-rata 124.8 ± 191.7 kg/ha. Dosis pemberian pupuk urea dan NPK ini lebih tinggi dari rekomendasi yaitu berturut-turut 275 kg/ha dan 125 kg/ha menurut Peraturan Menteri Pertanian No 40/Permentan/OT.140/4/2007. Namun, dosis yang beragam ini dapat dianggap wajar mengingat dosis rekomendasi pemupukan urea tersebut adalah dosis umum di Indonesia, bukan sebagai dosis umum spesifik lokasi atau berdasar target kenaikan produksi.

Pemberian pupuk nitrogen diketahui dapat mempengaruhi emisi metan dari persawahan padi. Minami (1995) menyatakan bahwa bentuk dan jumlah pupuk nitrogen beserta cara pemberiannya dapat mempengaruhi emisi metan di persawahan padi. Pemberian pupuk N yang berlebih dapat pula menyebabkan emisi gas N_2O , salah satu gas rumah kaca selain metan (Setyaningsih *et al.* 2010).

Pada penelitian utama, tinggi tanaman padi pada 75 hari setelah tanam (HST) (data tidak disajikan) tidak dipengaruhi oleh jenis pupuk, sistem pengairan atau interaksinya. Gambar 2

dan 3 menunjukkan bobot basah dan bobot kering biomassa tajuk tanaman padi. Sidik ragam dua arah menunjukkan pengaruh nyata interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan ($p < 0.05$). Adanya interaksi antar faktor menunjukkan bahwa pengaruh faktor utama lebih lemah terhadap bobot basah dan bobot kering biomassa tajuk tanaman padi (Quinn & Keough 2002). Dengan kata lain, kedua faktor saling berinteraksi dan mempengaruhi hasil bobot basah atau bobot kering tajuk tanaman padi. Pengairan macak-macam diketahui meningkatkan bobot basah dan kering biomassa tajuk pada tanaman yang mendapat pupuk anorganik setengah dosis rekomendasi. Ditinjau dari sisi pemberian pupuk bakteri, PB19 dan PMA memberikan hasil bobot basah dan bobot kering biomassa tajuk tanaman padi lebih tinggi pada kondisi tergenang. Dilihat dari bobot biomassa tanaman, perlakuan PMA yang terdiri dari kombinasi bakteri metanotrof dan penambat N *Azotobacter* dan *Azospirillum* dapat dikatakan mampu menjadi substitusi pupuk N anorganik. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan spesies rizobakteri yang dapat mengubah N_2 ke amonium sehingga dapat dimanfaatkan tanaman (Hindersah & Simamatra 2004). Pada lingkungan persawahan, *Azotobacter* dapat dijumpai pada daerah rizosfer padi (Wedhastri 2002) dan keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi microhabitat tanah (Tejera *et al.* 2005). Sementara itu, *Azospirillum* adalah bakteri endofit fakultatif yang dapat mengkolonisasi permukaan atau bagian dalam akar tanaman (Halbleib & Ludden 2000).

Bobot basah dan bobot kering biomassa tajuk tanaman padi menunjukkan hasil interaksi dari proses-proses fotosintesis, respirasi, dan transport hara jarak jauh (Lambers *et al.* 2008). Oleh karena itu, biomassa dapat mempengaruhi tinggi tanaman padi. Semakin tinggi tajuk tanaman padi, semakin mudah tanaman padi tersebut memperoleh cahaya matahari. Namun, berdasarkan data yang diperoleh, tinggi tanaman padi tidak selaras dengan biomassa tanaman padi. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan pengaturan tinggi tanaman padi yang seragam adalah kompensasi bentuk rumpun tanaman padi untuk menghindari cekaman angin yang berperan dalam transpirasi (Nagashima & Hikosaka 2011).

Jumlah anakan akan berpengaruh terhadap jumlah anakan produktif. Jumlah anakan dipengaruhi oleh kadar nitrogen dalam tanaman dan dosis pupuk nitrogen yang diberikan (Pirngadi & Abdulrahman 2005). Pada perlakuan pupuk bakteri, ketersediaan nutrisi dipengaruhi oleh tanah dan mikroorganisme lokal di dalamnya. Mikroorganisme tanah ini terutama berperan dalam

dekomposisi bahan organik, mineralisasi, dan proses daur materi (Buée *et al.* 2009). Berdasarkan data jumlah anakan produktif, dapat disimpulkan bahwa, pupuk bakteri dan jenis pengairan saling berinteraksi untuk membangun biomassa untuk membentuk anakan produktif.

Jumlah gabah per malai tanaman padi lebih tinggi pada jenis pupuk anorganik dibanding pupuk bakteri. Ketersediaan nitrogen dalam tanah akibat pemupukan N berpengaruh pada perkembangan jumlah gabah per malai. Ketersediaan nitrogen pada tanah dengan inokulasi bakteri diduga tidak cukup untuk meningkatkan jumlah gabah per malai. Kekurangan nitrogen pada saat pembentukan anakan diketahui akan menghambat pembentukan malai. Penghambatan pembentukan malai akan menurunkan tingkat ketahanan padi terhadap gulma (Pramudyani & Djufry 2006).

Bobot 1000 butir gabah tidak dipengaruhi oleh perlakuan. Hal ini sejalan dengan Pirngadi & Abdulrahman (2005) yang menyatakan bahwa dengan berbagai kondisi pemupukan, bobot 1000 butir gabah tidak terpengaruh. Bobot 1000 butir gabah lebih berkaitan dengan faktor genetik daripada faktor lingkungan.

Pupuk bakteri PMA diketahui mampu mereduksi fluks metan paling baik dan diikuti oleh PB19 pada kondisi tergenang sedangkan pemberian PB15 tidak mampu mereduksi fluks metan. Hal ini diduga berkaitan dengan ketersediaan oksigen yang rendah pada kondisi tergenang yang menurunkan efektivitas isolat bakteri BGM1 dan BGM5 dalam perlakuan PB15 atau berkembangnya populasi metanogen dalam rizosfer padi. Pada kondisi tergenang, kondisi anaerob yang terjadi akan membuat metanogen melakukan metanogenesis menghasilkan metan (Whitman *et al.* 2006) dari H_2 , CO_2 , atau asam asetat di lingkungan persawahan (Dubey 2005).

Pada kondisi macak-macak, PB15 diketahui mampu mereduksi metan paling baik, diikuti PMA dan PB19. Berdasarkan uji laboratorium (Rusmana & Akhdiya 2009), isolat BGM 9 (pada perlakuan PB19) memiliki aktivitas reduksi metan yang paling baik. Berbeda dengan penelitian ini, isolat BGM 9 diduga tidak mampu berkompetisi dengan mikroorganisme lokal dalam memperebutkan nutrisi. Perbedaan nutrisi dan lingkungan dalam kondisi laboratorium dan lapang mengakibatkan perbedaan aktivitas mikroorganisme. Secara umum, dapat dikatakan bahwa komunitas bakteri lokal asal tanah dan bakteri metanotrof yang diberikan diduga bekerja bersama menurunkan emisi metan.

Analisis sidik ragam fluks metan di akhir masa vegetatif menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh

kedua faktor utama ataupun interaksi keduanya. Pada akhir masa vegetatif, fluks-fluks metan memiliki nilai negatif, artinya, terjadi serapan metan oleh aktivitas metanotrof atau rendahnya aktivitas metanogen.

Dalam penelitian ini dijumpai kenaikan fluks metan pada semua perlakuan sistem pengairan macak-macak dengan berbagai perlakuan pupuk (PU100, PU50, PB19, dan K).. Hal ini berbeda dengan Cuhel *et al.* (2010) dan Das & Adhya (2012) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk anorganik dan budidaya padi sistem tergenang akan menurunkan potensi redoks tanah, meningkatkan mineralisasi karbon, dan meningkatkan populasi metanogen. Peningkatan populasi metanogen akan sejalan dengan meningkatnya emisi metan.

Penelitian Tarlera *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pengairan macak-macak terbukti menurunkan emisi metan dari lahan persawahan padi di Uruguay, namun, menurunkan hasil produksi padi selama dua musim tanam. Pada penelitian tersebut, fluks metan akan meningkat saat munculnya malai, mencapai puncak pada saat masa reproduktif, dan menurun sampai dengan akhir masa tanam. Sebelum munculnya malai, terjadi fluktuasi fluks metan dari lahan persawahan tersebut. Lahan persawahan yang diteliti adalah lahan persawahan padi dengan sistem budidaya lokal, pemberian pupuk anorganik, dan tanpa introduksi bakteri metanotrof. Pemupukan anorganik diketahui mampu mengubah komunitas bakteri di dalam lahan persawahan (Zhang *et al.* 2007). Berubahnya komunitas bakteri atau mikroorganisme lainnya ini berkaitan erat dengan produksi padi dan emisi gas rumah kaca (Macalady *et al.* 2002). Dengan demikian, dari data penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kenaikan fluks metan pada beberapa perlakuan sistem pengairan macak-macak diduga bersifat sementara dan merupakan akibat dari pengaruh dinamika populasi mikroorganisme di dalamnya.

Jika dilihat dari jenis pupuk, fluks metan tanaman padi dengan pupuk bakteri secara umum memiliki nilai negatif atau turun pada akhir masa vegetatif (Gambar 7). Namun, karena telah diketahui bahwa tidak ada pengaruh kedua faktor utama ataupun interaksi keduanya berdasarkan analisis sidik ragam, maka tidak dapat disimpulkan bakteri yang diberikan merupakan penyebab utama nilai negatif pada fluks metan dalam penelitian ini.

Variasi yang terjadi pada hasil pengukuran fluks metan dapat terjadi karena komponen kimia tanah dan kondisi tanah yang non steril. Kondisi tanah non steril ini memungkinkan pada tanah sudah terdapat komunitas mikroorganisme lokal, baik metanogen, metanotrof, maupun mikroorganisme lain yang dapat

Tanah yang digunakan diketahui memiliki pH yang lebih rendah dari kebutuhan aktivitas metanogenesis, yaitu, pH 6-7 (Setyanto *et al.* 2002). Namun, aktivitas metanogenesis secara umum juga dipengaruhi oleh aktivitas metanotrof lokal (Dubey 2005) dan berbagai komponen kimia dalam tanah seperti asam lemak (Horn 2003), Fe₂O₃, MnO₂, SO₄, dan juga kandungan tanah liat (Setyanto *et al.* 2002).

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan pupuk dan sistem pengairan memberikan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan padi secara bervariasi. Terdapat interaksi antara jenis pupuk dan sistem pengairan yang mempengaruhi bobot basah dan bobot kering biomassa tajuk serta jumlah anakan produktif padi. Jenis pupuk diketahui memberikan pengaruh kepada jumlah gabah per malai dan emisi metan pada saat setelah pemupukan. Pada pengukuran emisi metan di akhir masa vegetatif, terdapat variasi dalam reduksi emisi metan dari tanaman padi. Secara umum, bakteri yang diberikan mampu mereduksi emisi metan dalam penelitian ini. Selanjutnya, reduksi emisi metan dipengaruhi oleh mikroorganisme lokal dan komponen kimia tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Project I-MHERE (Indonesia - Managing Higher Education for Relevance and Efficiency).

DAFTAR PUSTAKA

- Buée M, DeBoer W, Martin F, vanOverbeek L, Jurkevitch E. 2009. The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant Soil* 321: 189–212.
- Cuhel J, Šimek M, Laughlin RJ, Bru D, Chêneby D, Watson CJ, Philippot L. 2010. Insights into the effect of soil pH on N₂O and N₂ emissions and denitrifier community size and activity. *Appl Environ Microbiol* 76: 1870–1878.
- Das S, Adhya TK. 2012. Dynamics of methanogenesis and methanotrophy in tropical paddy soils as influenced by elevated CO₂ and temperature interaction. *Soil Biol Biochem* 47: 36–45.
- Dubey SK. 2005. Microbial Ecology of Methane Emission in Rice Agroecosystem: A Review. *Appl Ecol Environ Res* 3(2): 1–27.
- Halleib CM, Ludden PW. 2000. Regulation of Biological Nitrogen Fixation. *J. Nutr.* 130: 1081–1084.
- Hindersah R, Simamarta T. 2004. Potensi Rizobakteri *Azotobacter* dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah. *J. Natur Indones* 5(2): 127–133.
- Horn MA, Matthies C, Kusel K, Schramm A, Drake HL. 2003. Hydrogenotrophic Methanogenesis by Moderately Acid-Tolerant Methanogens of a Methane-Emitting Acidic Peat. *Appl Environ Microbiol.* 69(1): 74–83.
- Hou AX, Chen GX, Wang ZP, Van Cleemput O, Patrick WH. 2000. Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice Field in Relation to Soil Redox and Microbiological Processes. *Soil Sci Soc Am J* 64 : 2180–2186.
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL. 2008. *Plant Physiological Ecology*. New York: Springer.
- Macalady JL, McMillan AMS, Dickens AF, Tyler SC, Scow KM. 2002. Population dynamics of type I and II methanotrophic bacteria in rice soils. *Environ Microbiol* 4: 148–157.
- Minami K. 1995. The effect of nitrogen fertilizer use and other practices on methane emission from flooded rice. *Fertilizer Research* 40: 71.
- Nagashima H, Hikosaka K. 2011. Plants in a crowded stand regulate their height growth so as to maintain similar heights to neighbours even when they have potential advantages in height growth. *Ann Bot.* 108(1): 207–214.
- Pirngadi K, Abdulrahman S. 2005. Pengaruh pupuk majemuk NPK (15-15-15) terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah. *Agrivigor* 4: 188–197.
- Pramudyani L, Djufry F. 2006. Respon tanaman padi dan gulma *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl. pada pemberian pupuk nitrogen dan genangan air. *Agrivigor* 5259–269
- Quinn GP, Keough MJ. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge, UK: Cambridge University Pr.
- Rusmana I, Akhdiya A. 2009. Isolation and characterization of methanotrophic bacteria from rice fields. *Biotropia* 16: 71 – 78.
- Setyaningsih R, Rusmana I, Setyanto P, Suwanto A. 2010. Physiological characterization and molecular identification of denitrifying bacteria possessing nitrous oxide high reduction activity isolated from rice soils. *Microbiol Indones* 4: 75–78.
- Setyanto P, Rosenani AB, Makarim AK, Che Fauziah I, Bidin A, Suharsih. 2002. Soil Controlling Factors of Methane Gas Production from Flooded Rice Fields in Pati District, Central Java. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 3(1): 1–11
- Tarlera S, Capurro MC, Irisarri P, Scavino AF, Cantou G, Roel A. 2016. Yield-scaled global warming potential of two irrigation management systems in a highly productive rice system. *Sci. Agric.* v.73, n.1: 43–50.
- Tejera N, Lluch C, Martinez-Toledo MV, Lopez JG. 2005. Isolation and characterization of *Azotobacter* and *Azospirillum* strains from the sugarcane rhizosphere. *Plant and Soil* 270: 223–232.
- Weber S, Stubner S, Conrad R. 2001. Bacterial Populations Colonizing and Degrading Rice Straw in Anoxic Paddy Soil. *Appl Environ Microbiol* 67(3): 1318–1327.
- Wedhastri S. 2002. Isolasi dan seleksi *Azotobacter* spp. penghasil faktor tumbuh dan penambat nitrogen dari tanah masam. *J Ilmu Tanah Lingkungan* 3: 45–51.
- Whitman WB, Bowen TL, Boone DR. 2006. The methanogenic bacteria. Di dalam: Dworkin M, Falkow S, Rosenberg E, Schleifer KH, Stackebrandt E, editor. *The Prokaryotes*. Volume ke-3, *Archaea, Bacteria: Firmicutes, Actinomycetes*. Ed ke-3. New York: Springer. hlm 165–207.
- Zhang P, Zheng J, Pan G, Zhang X, Li L, Tippkotte R. 2007. Changes in microbial community structure and function within particle size fractions of a paddy soil under different long-term fertilization treatments from the Tai Lake region, China. *Coll Surf B: Biointerf* 58: 264–270.