

Pengaruh Sistem Tanam dan Pemberian Jerami Padi Terhadap Emisi Metana dan Hasil Padi Ciherang di Ekosistem Sawah Tadah Hujan

A. Wihardjaka

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Jl. Jakenan km 5 Jaken Pati 59182 Jawa Tengah

Naskah diterima : 04 Nopember 2011

Revisi Pertama : 01 Desember 2011

Revisi Terakhir : 09 Januari 2012

ABSTRAK

Lahan sawah tadah hujan umumnya mempunyai produktivitas tanah dan tanaman rendah akibat rendahnya tingkat kesuburan tanah dan curah hujan tidak menentu. Perbaikan sifat fisik, kimia, dan hayati tanah sawah tadah hujan dapat dilakukan dengan pemberian pembenah organik seperti jerami padi. Sedangkan peningkatan produktivitas sawah tadah hujan dapat ditempuh melalui pemberian pembenah organik dan pengelolaan tanaman. Namun pemberian pembenah organik dan pengelolaan tanaman padi dapat berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca, terutama emisi gas metana (CH₄). Penelitian lapang yang dilaksanakan di lahan sawah tadah hujan bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian jerami padi dan sistem tanam padi terhadap emisi metana dan hasil padi. Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok, tiga ulangan, dan enam perlakuan kombinasi sistem tanam dan pemberian jerami padi. Padi yang ditanam dengan sistem tanam benih langsung memberikan pertumbuhan lebih baik, hasil gabah lebih tinggi, dan mengemisi CH₄ lebih rendah dibandingkan dengan sistem tanam pindah. Sistem tanam benih langsung mampu menurunkan emisi metana rata-rata 33,3 persen dan meningkatkan hasil gabah padi Ciherang rata-rata 76 persen dibandingkan pada sistem tanam pindah. Pemberian jerami padi pada sistem tanam benih langsung nyata mengemisi metana lebih rendah dan menghasilkan gabah lebih tinggi daripada pada sistem tanam pindah. Jerami padi yang diberikan dalam bentuk melapak cenderung mengemisi CH₄ lebih rendah daripada dalam bentuk jerami segar. Hasil gabah tinggi dan emisi CH₄ relatif rendah tercapai bilamana jerami padi diberikan dalam bentuk lapuk dan padi ditanam dengan sistem tanam benih langsung.

kata kunci : jerami padi, sistem tanam, emisi metana, hasil gabah, sawah tadah hujan

ABSTRACT

Rain-fed rice field generally has low productivity due to poor soil fertility and erratic rainfall. Physical, chemical, and biological properties of the soil can be improved by applying organic amendment such as rice straw. Moreover the productivity of rain-fed rice field can be improved by crop establishment. However, organic amendment application and crop establishment affect the greenhouse gases emission, especially methane (CH₄). The field experiment was conducted in rain-fed rice field to evaluate the effect of rice straw application and crop establishment on methane emission and grain yield of rain-fed rice crop. The experiment used randomized block design with three replications and six treatments of combination of crop establishment and rice straw application. Rice crop with direct seeding system gave better growth, higher grain yield as well as lower methane

emission than that of with transplanting system. Direct seeding system could decrease average methane emission by 33.3 percent and increase average grain yield by 76 percent compared with transplanting system. Rice straw application in direct seeding system significantly reduced methane emission and increased yield of the grain than that of transplanting system. The composted straw application emitted less CH₄ than that of fresh straw. The improved yield and the relatively low CH₄ emission were reached when composted rice straw was incorporated and combined with direct seeding systems.

keywords : rice straw, crop establishment, methane emission, better grain yield, rain-fed rice field

I. PENDAHULUAN

Lahan sawah beririgasi selama ini, menjadi andalan untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional. Produksi padi pada tahun 2010 tercatat 66,41 juta ton gabah dengan luas lahan 13,24 juta ha. Dalam dekade terakhir, kebutuhan pangan nasional dihadapkan pada berbagai tantangan antara lain penyusutan lahan sawah beririgasi, pertambahan laju penduduk, dan pemanasan global. Pemerintah telah menargetkan produksi padi pada tahun 2011 sebesar 70,6 juta ton Gabah Kering Giling (GKG) atau setara 39 juta ton beras. Untuk memenuhi kebutuhan pangan tersebut, sawah tadah hujan perlu dimanfaatkan secara optimal selain dari sawah beririgasi.

Sawah tadah hujan umumnya mempunyai tingkat kesuburan tanah rendah dan tergantung pada curah hujan yang tidak menentu. Pemberian masukan pembenah organik bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pembenah organik yang tersedia melimpah di sekitar areal sawah tadah hujan yaitu jerami padi. Petani sawah tadah hujan umumnya mengangkut jerami dari lapangan untuk pakan ternak, dan sebagian dibakar atau ditinggalkan di pematang untuk disebar pada musim tanam berikutnya. Kendala keterbatasan pasokan air akibat curah hujan yang tidak menentu disiasati oleh petani dengan pengelolaan sistem tanam seperti tanam pindah dan tanam benih langsung.

Pemberian pembenah organik dan pengelolaan sistem tanam padi diduga akan mempengaruhi besarnya emisi gas rumah kaca terutama gas metana (CH₄). Menurut Das & Baruah (2008), sumber substrat utama bagi bakteri metanogen penghasil CH₄ berasal dari eksudat akar, bagian tanaman yang mati yang berasal dari tanaman padi dan pemberian bahan organik.

Lahan sawah adalah sumber penting emisi metana (CH₄). Emisi metana dari lahan sawah tersebut ditentukan oleh kompleksnya rangkaian beberapa parameter yang terkait karakteristik fisik, kimia, dan biologi dari lingkungan tanah sawah dengan praktek pengelolaan tanaman secara spesifik. Emisi gas rumah kaca tersebut dipengaruhi oleh rejim air, kultivar padi, dan pemberian pembenah organik (Wassmann, dkk., 2000). Gas CH₄ dihasilkan dari kegiatan mikrobiologi, yaitu proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dengan bantuan sekelompok bakteri metanogen seperti *Methanosarcina*, *Methanobacterium*, dan *Methanococcus* (Neue & Roger, 1994). Kebanyakan bakteri metanogen adalah neutrofilik dengan pH optimal 6-8 (Neue, 1993).

Kadar CH₄ di atmosfer kini sekitar 1,72 part per million Vol (ppmV), yang lebih dari dua kalinya kadar metana sebelum era industrial (1750-1800) sebesar 0,8 ppmV dengan laju peningkatan kadar sebesar 0,9 persen per tahun (Sethunathan, dkk., 2000). Sethunathan, dkk., (2000) menduga emisi

metana total dari sektor pertanian sebesar 260 ± 115 Tg per tahun, dan kontribusi dari lahan sawah adalah 80 ± 50 Tg CH_4 per tahun. Sekitar 80 persen total emisi CH_4 berasal dari proses-proses biologis (Kerdchoechuen, 2005) dan lebih dari 20 persen atau 100 Tg setiap tahunnya diduga diemisikan dari lahan sawah (Prinn, 1994).

Informasi emisi CH_4 dari pengelolaan sistem tanam dan pemberian pembenah organik di tanah sawah tadah hujan relatif masih terbatas, maka penelitian dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh sistem tanam dan pemberian jerami padi terhadap emisi metana dan hasil gabah di lahan sawah tadah hujan.

II. BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian dilaksanakan di lahan sawah tadah hujan di Kabupaten Pati, Jawa Tengah pada musim kering 2009, yang berlokasi di Desa Sidomukti, Kecamatan Jaken, Kabupaten Pati yang terletak pada ketinggian 15 m di atas permukaan laut, 17 km dari Pantai Utara Jawa Tengah (Kecamatan Juana) dengan koordinat $111^{\circ}10'$ BT dan $6^{\circ}45'$ LS, dan tipe iklim Oldeman termasuk E2 – E3 (BPS, 2000). Tanah tempat penelitian dilaksanakan diklasifikasikan sebagai *Vertic Endoaquepts*, dengan kelas tekstur lempung berpasir (15 persen liat dan 43 persen debu pada lapisan olah, 23 persen liat dan 40 persen debu di lapisan bawah). Tanah pada lapisan olah (0-20 cm) bereaksi agak masam ($\text{pH-H}_2\text{O}$ 5,6) dengan kandungan N total rendah (0,3 mg g^{-1}), C-organik rendah (3,2 mg g^{-1}), P terekstrak Bray 1 rendah (5,06 ppm P), KTK rendah (6,96 cmol(+) kg^{-1}), kation K, Na, Ca, Mg dapat ditukar rendah masing-masing 0,12; 0,24; 3,05; dan 0,61 cmol(+) kg^{-1} .

Percobaan dilaksanakan dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan tiga ulangan, dan enam perlakuan. Keenam perlakuan tersebut adalah tanam pindah (tapin) tanpa jerami padi (T1), tapin + jerami segar 5

t ha^{-1} (T2), tapin + jerami lapuk 5 t ha^{-1} (T3), tanam benih langsung (tabela) tanpa jerami padi (T4), tabela + jerami segar 5 t ha^{-1} (T5), tabela + jerami lapuk 5 t ha^{-1} (T6).

Bibit atau benih padi varietas Ciherang ditanam pada petakan ukuran 4 m X 5 m dengan jarak tanam 20 cm X 20 cm sesuai dengan perlakuan, dua bibit atau dua benih setiap lubang tanam. Pada sistem tanam pindah (tapin), bibit padi ditanam pindah dari persemaian setelah berumur dua minggu, 2 bibit per lubang. Pada sistem tanam benih langsung (tabela), benih padi ditanam dengan menggunakan tugal. Bahan pembenah organik (perlakuan jerami) diberikan dengan cara dibenamkan bersamaan dengan pengolahan tanah, dan lahan dibiarkan dua minggu sebelum dilakukan penanaman. Pengolahan tanah dilakukan dengan bajak dan diratakan dengan menggunakan garu. Takaran pupuk anorganik yang digunakan yaitu 120 kg N, 45 kg P_2O_5 , dan 60 kg K_2O setiap hektar. Pupuk N diberikan secara bertahap, yaitu 1/3N sebelum tanam, 1/3 N saat 45 hari setelah tanam (hst), dan 1/3N saat 60 hst. Pupuk P diberikan sekaligus sebelum tanam dan pupuk K diberikan secara bertahap yaitu 1/2K sebelum tanam dan 1/2K saat 60 hst. Pemeliharaan tanaman berupa pengendalian hama dan gulma dilakukan secara intensif dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan.

Data yang diamati meliputi fluks gas metana, hasil gabah, parameter agronomik (tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah gabah isi dan total butir gabah per malai), kandungan C organik dalam tanah di sekitar perakaran tanaman padi. Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah anakan menjelang panen diukur dari 12 contoh rumpun secara acak setiap petakan. Jumlah gabah total dan gabah isi setiap malai diukur dari dua rumpun acak setiap petak menjelang panen. Contoh tanah di sekitar perakaran tanaman padi diambil dengan bor untuk analisis kandungan C organik

bersamaan dengan saat pengambilan contoh gas. Kandungan C organik ditetapkan menggunakan metode *Walkley & Black*.

Fluks gas CH₄ diukur pada beberapa fase pertumbuhan tanaman dengan menggunakan sungkup tertutup, antara lain : awal tanam, fase anakan aktif, fase anakan maksimum, fase keluar malai atau pembungaan, fase masak. Sungkup yang digunakan berukuran 40 cm X 40 cm X 60 atau 120 cm tergantung tinggi tanaman di lapangan. Sungkup yang terbuat dari pleksiglas dilengkapi dengan termometer yang terpasang pada bagian atas sungkup. Sungkup diletakkan secara acak di setiap petakan sebelum pengambilan contoh gas yang pertama, dan pada posisi yang sama untuk pengambilan contoh gas berikutnya.

Pengambilan contoh udara dalam sungkup dilakukan empat kali dengan selang waktu pengambilan 5, 10, 15, dan 20 menit setelah peletakan sungkup. Pengambilan contoh gas dilakukan pagi hari (07.00 – 09.00). Contoh gas diambil dengan menggunakan injektor polipropilen volume 10 ml berkatup. Injektor dibungkus dengan kertas perak yang berfungsi untuk mengurangi panas radiasi matahari selama pengambilan contoh gas. Setelah 20 menit pengambilan contoh gas, sungkup diambil dan tanaman padi dibiarkan kembali dalam kondisi normal. Setiap pengambilan contoh gas, perubahan suhu dalam sungkup diukur.

Contoh gas dianalisis dengan menggunakan alat kromatografi gas yang dilengkapi dengan *Flame Ionization Detector (FID)* dan kolom Porapak N (80/100 mesh, 0,3 cm X 2 m). Kromatografi gas (Shimadzu 8A) telah dikalibrasi dengan presisi tinggi dan digunakan hanya untuk mengukur metana. Fluk gas metana ditetapkan berdasarkan persamaan yang digunakan Lantin, dkk., (1995).

Data dianalisis sidik ragam menggunakan program SAS versi 9,0 untuk mengetahui

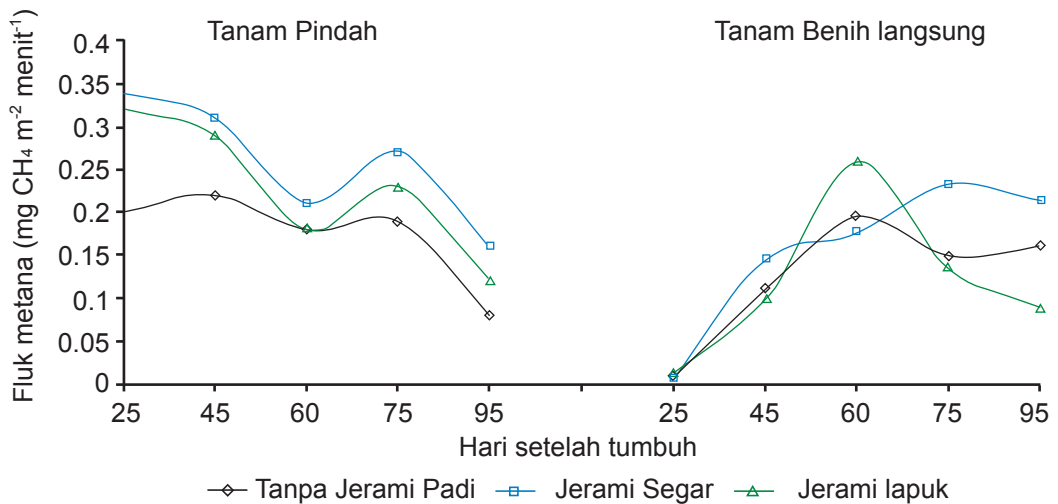
pengaruh perlakuan, dan dilanjutkan dengan uji kisaran ganda duncan (DMRT) untuk membandingkan nilai tengah perlakuan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

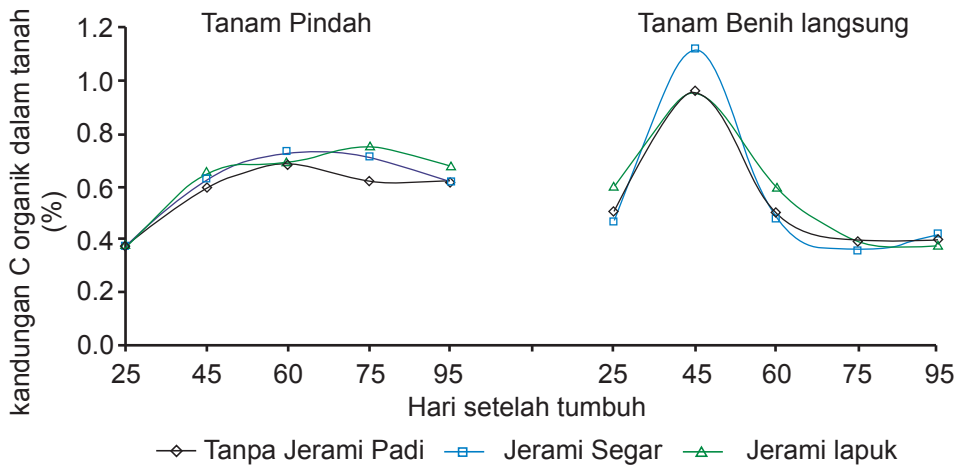
3.1. Emisi Metana

Pada Gambar 1 terlihat bahwa untuk sistem tanam pindah (tapin) fluk metana dari pemberian jerami segar umumnya lebih tinggi diikuti dari pemberian jerami lapuk dan tanpa jerami padi. Fluk metana yang tinggi terjadi pada awal pertumbuhan tanaman padi dan menurun hingga menjelang panen. Degradasi bahan organik secara anaerobik pada sistem tapin diduga lebih giat pada fase pertumbuhan vegetatif tanaman padi. Sebaliknya pada sistem tanam benih langsung (tabela), fluk metana pada awal pertumbuhan tanaman (25 hari setelah tanam) adalah rendah dan meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman padi, terutama yang diberi jerami segar. Peningkatan fluk metana pada sistem tabela terjadi sebagai akibat ketersediaan air tanah yang menguntungkan bakteri metanogen saat pertumbuhan tanaman setelah fase anakan aktif.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa kandungan C organik pada sistem tapin meningkatkan dengan bertambahnya umur tanaman padi, sedangkan pada sistem tabela kandungan C organik tertinggi terjadi saat 45 Hari Setelah Tanam (HST). Peningkatan kandungan C organik di sekitar perakaran tanaman padi belum tentu meningkatkan pelepasan CH₄ ke atmosfer. Kandungan C organik di sekitar perakaran tanaman padi selain digunakan sebagai sumber substrat bagi bakteri metanogen, tentunya juga digunakan sebagai sumber energi dan substrat bagi mikroba lainnya antara lain metanotrof. Penurunan kandungan C dalam tanah di sekitar perakaran tanaman padi akan menurunkan aktivitas metanogen dalam menghasilkan gas CH₄ (Minamikawa, dkk., 2005).



Gambar 1. Pola Fluk Metana dari Sistem Tanam Padi Berbeda dan Perlakuan Pemberian Jerami Padi, Musim Kering 2009



Gambar 2. Kandungan C Organik Dalam Tanah di Sekitar Perakaran Tanaman Padi Ciherang dari Sistem Tanam yang Berbeda dan Perlakuan Pemberian Jerami Padi

Kombinasi sistem tanam padi dan pemberian jerami padi nyata menentukan besarnya emisi metana dari tanah sawah tadah hujan ($p < 0,01$), seperti terlihat pada tabel 1. Sistem tanam benih langsung (tabel 1) nyata mengemisi metana lebih rendah dari pada sistem Tanam Pindah (TAPIN). Sistem tabel 1 mampu menurunkan emisi metana rata-rata sebesar 33,3 persen dibandingkan sistem

tapin. Menurut Neue & Sass (1994), olah tanah dalam kondisi kering dan tanam langsung memperpendek fase anaerob dan memungkinkan memperlambat penurunan potensial redoks setelah penggenangan yang menghasilkan penundaan/penurunan emisi CH_4 .

Pemberian jerami padi umumnya meningkatkan emisi metana terutama pada

sistem tapin, namun pada sistem tabela tidak nyata meningkatkan emisi CH₄. Pemberian jerami padi baik segar ataupun lapuk pada sistem tabela nyata menurunkan emisi CH₄ (tabel 1). Pemberian jerami lapuk cenderung menghasilkan emisi CH₄ lebih rendah daripada jerami segar. Pemberian pembenah organik seperti jerami pada tanah tergenang meningkatkan produksi dan emisi CH₄ akibat tingginya reduksi tanah dan ketersediaan sumber karbon. Didasarkan pada kandungan karbon yang siap dimineralisasi, jerami padi atau pupuk hijau menghasilkan CH₄ per unit C lebih tinggi daripada bahan yang terhumifikasi seperti kompos dari jerami (Neue & Sass, 1994).

Pemberian jerami padi cenderung meningkatkan hasil gabah dan serapan N. Pemberian jerami padi meningkatkan hasil gabah berkisar 5,4 – 9,0 persen. Capaian hasil gabah lebih tinggi bilamana jerami padi diberikan ke dalam tanah sawah tadah hujan dalam bentuk lapuk. Pengembalian jerami baik segar ataupun lapuk ke dalam tanah sawah meningkatkan serapan N, sehingga N dapat dimanfaatkan tanaman padi lebih efisien daripada tanpa pemberian jerami padi selain memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah (Ponnamperuma, 1985).

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kombinasi sistem tanam padi sawah dan pemberian jerami padi nyata mempengaruhi pertumbuhan

Tabel 1. Pengaruh Sistem Tanam dan Pemberian Jerami Padi di Sawah Tadah Hujan terhadap Emisi CH₄, Serapan N, dan Hasil Gabah Padi Ciherang

Perlakuan		Emisi CH ₄ (kg CH ₄ ha ⁻¹ musim ⁻¹)	Serapan N (kg N ha ⁻¹)	Hasil gabah (kg ha ⁻¹)
Sistem tanam	Pemberian jerami padi			
Tanam pindah	Tanpa jerami padi	97 b	85 bc	3928 c
	Jerami segar	144 a	84 c	4245 c
	Jerami lapuk	127 a	85 bc	4204 c
Tanam benih langsung	Tanpa jerami padi	76 b	102 ab	6939 b
	Jerami segar	98 b	107 a	7209 ab
	Jerami lapuk	72 b	105 a	7644 a
Koefisien keragaman (%)		9,95	9,60	4,83

Keterangan : Angka dalam lajur diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

3.2. Hasil Gabah dan Pertumbuhan Padi Ciherang

Pada Tabel 1, terlihat bahwa kombinasi sistem tanam padi dan pemberian jerami padi mempengaruhi secara nyata hasil gabah ($p < 0,0001$) dan serapan N ($p < 0,05$). Hasil gabah pada sistem tapin lebih rendah daripada pada sistem tabela. Sistem tabela meningkatkan hasil gabah rata-rata 76 persen dibandingkan pada sistem tapin. Serapan N pada sistem tapin lebih rendah daripada pada sistem tabela. Sistem tabela meningkatkan serapan N rata-rata sebesar 23,5 persen dibandingkan sistem tapin.

tanaman padi Ciherang, seperti tinggi tanaman ($p < 0,0001$), jumlah anakan produktif ($p < 0,0001$), jumlah gabah isi ($p < 0,0001$), dan jumlah gabah total setiap malai ($< 0,0001$). Sistem tabela nyata meningkatkan pertumbuhan tanaman padi di lahan sawah tadah hujan, yaitu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan, gabah isi, dan gabah total per malai masing-masing sebesar 12,2 persen; 60,7 persen; 55,8 persen; dan 15,9 persen. Pemberian jerami padi secara nyata dapat meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah gabah per malai, yang masing-masing berkisar 2,8 – 4,4 persen dan 14,7 – 16,4 persen.

Tabel 2. Pengaruh Sistem Tanam dan Pemberian Jerami Padi di Sawah Tadah Hujan terhadap Pertumbuhan Padi Ciherang

Perlakuan		Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan produktif per rumpun	% gabah isi per malai	Jumlah gabah total per malai
Sistem tanam	Pemberian jerami padi				
Tanam pindah	Tanpa jerami padi	90,1 d	9,6 b	55,4 b	82,9 c
	Jerami segar	94,0 c	9,7 b	55,6 b	100,8 b
	Jerami lapuk	94,4 c	9,6 b	58,1 b	99,7 b
Tanam benih langsung	Tanpa jerami padi	102,2 b	15,8 a	88,7 a	101,9 b
	Jerami segar	103,8 b	15,7 a	87,7 a	111,3 a
	Jerami lapuk	106,4 a	14,9 a	87,5 a	115,4 a
Koefisien keragaman (%)		1,43	6,07	2,54	3,64

Keterangan : Angka dalam lajur diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

IV. KESIMPULAN

Pertama, padi Ciherang yang ditanam dengan sistem tanam benih langsung (tabela) menghasilkan gabah dan serapan N lebih tinggi, serta sekaligus menurunkan emisi metana dibandingkan sistem tanam pindah (tapin).

Kedua, pemberian jerami lapuk cenderung menghasilkan gabah dan serapan N lebih tinggi, serta emisi metana lebih rendah daripada jerami yang diberikan dalam bentuk segar.

Ketiga, sebagai upaya memperbaiki produktivitas tanah dan tanaman di lahan sawah tadah hujan dan sekaligus memberikan kontribusi terhadap emisi metana yang rendah, maka kombinasi sistem tanam benih langsung (tabela) dan pengembalian jerami lapuk ke dalam tanah perlu dipertimbangkan dalam sistem usaha tani tanaman padi sawah.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. 200. Kabupaten pati dalam Angka 1999. Badan Pusat Statistik Kabupaten Pati, Propinsi Jawa Tengah.
- Das, K., dan K.K. Baruah. 2008. A comparison of growth and photosynthetic characteristics of two improved rice cultivars on methane emission from rainfed agroecosystem of northeast India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124 : 105-113.
- Kerdchoechuen, O. 2005. Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of root exudates and biomass yield. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 108 : 155-163.
- Lautin, R.S., J.B. Aduno dan A.M. Javeliana. 1995. Methane Measurements in Rice Fields. International Rice Research Institute. Los Banos, Manila, Philippines.
- Neue, H. 1993. Methane emission from rice fields: Wetland rice fields may make a major contribution to global warming. *BioScience* 43 (7): 466-73
- Neue, H.U., dan P.A. Roger. 1994. Potential of methane emission in major rice ecologies. p. 65-92 di dalam Zepp, R.G. (Ed.). *Climate Biosphere Interaction : Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change*. John Wiley and Sons, Inc.
- Neue, H.U., dan R.L. Sass. 1994. Trace gas emission from rice fields. *Environmental Science Research* 48 : 119 – 147.
- Ponnamperuma, F.A. 1985. Straw as Source of Plant Nutrients for Wetland Rice. p. 117-136 di dalam *Organic Matter and Rice*. Intern. Rice Res. Institute. Los Banos, Philippines.
- Prinn, R., D. Cunnold, R. Rasmussen, P. Simmonds, F. Alyen, A. Crawford, P. Fraser, dan R. Rosen.

-
1990. Atmospheric emission and trends of nitrous oxide reduced from 10 years of ALE-GAGE data. *J. Geophys. Res.* 95 : 18369-18385.
- Sethunathan, N., S. Kumaraswamy, A.K. Rath, G. Ramakrishnan, S.N. Satpathy, T.K. Adhya, dan V.R. Rao. 2000. Methane production, oxidation, and emission from Indian rice soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58 : 377-388.
- Wassmann, R., L.V. Buendia, R.S. Lantin, C.S. Bueno, L.A. Lubigan, A. Umali, N.N. Nocon, A.M. Javellana, dan H.U. Neue. 2000. Mechanisms of crop management impact on methane emission from rice field in Los Banos, Philippines. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 58 : 107-119.

BIODATA PENULIS :

A. Wihardjaka dilahirkan di Padang Panjang tanggal 17 April 1964. Penulis adalah peneliti di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian di Pati, Jawa Tengah. Penulis menyelesaikan S1 dari Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 1990, S2 dari Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor tahun 2001, dan S3 dari Sekolah Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2011.