

PENGARUH SISTEM PENGELOLAAN AIR DAN VARIETAS TERHADAP HASIL PADI DAN EMISI GAS RUMAH KACA DI LAHAN TADAH HUJAN

¹Ali Pramono*, ²Terry Ayu Adriani dan ³Prihasto Setyanto
^{1,2,3}Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Jln Raya Jakenan-Jaken
Km 5 Pati Jawa Tengah *Penulis korespondensi Email :
ali_pramono@yahoo.com

Diterima : 9 April 2016

Disetujui : 15 Juli 2016

Intisari

Lahan sawah berperan penting dalam keamanan pangan nasional secara berkelanjutan, namun produksi padi di lahan sawah berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca secara signifikan terutama metana (CH₄). Beberapa usaha yang dilakukan untuk mengurangi emisi GRK di lahan sawah telah dilakukan, diantaranya adalah pengelolaan air dan pupuk, penggunaan varietas padi yang mengemisi GRK rendah. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sistem pengelolaan air dan varietas padi terhadap hasil padi dan emisi GRK. Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Balingtan, Pati-Jawa Tengah pada bulan Maret-Juni 2016. Penelitian menggunakan rancangan split plot dengan faktor I pengelolaan air (A1=Tergenang 5 cm dan A2=Alternate Wetting and Drying/AWD), faktor II varietas padi (V1=Ciherang, V2=Inpari 30, V3=IPB3S), dan ulangan 3 kali. Pengukuran gas rumah kaca dilakukan dengan metode sungkup tertutup (*close chamber*). Parameter yang diamati fluks CH₄ dan N₂O, Eh dan pH, tinggi muka air tanah, tinggi tanaman dan jumlah anakan, serta hasil dan komponen hasil padi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil padi tertinggi terdapat pada perlakuan A2V1 (AWD dengan varietas Ciherang) sebesar 3,26 ton GKG/ha. Emisi CH₄ terendah dihasilkan pada perlakuan A2V1 (AWD dengan varietas padi Ciherang). Emisi N₂O terendah dihasilkan pada perlakuan A2V3 (AWD dengan varietas IPB3S). Emisi GRK tertinggi terdapat pada perlakuan A1V3 (tergenang dengan varietas IPB3S). Emisi GRK terendah terdapat pada A2V1 (perlakuan AWD dengan varietas Ciherang). Indeks emisi terendah terdapat pada perlakuan A2V2 (perlakuan AWD dengan varietas Inpari 30). Perlakuan AWD dapat menurunkan emisi GRK pada varietas padi Ciherang, Inpari 30 dan IPB3S masing-masing sebesar 42%, 46%, dan 30% dibandingkan dengan kondisi tergenang.

Kata kunci : Emisi gas rumah kaca, Lahan tadah hujan, Pengelolaan air, Varietas.

Abstract

Rice field is an important role in sustainable national food security, rice production contributes to greenhouse gas emissions significantly, especially methane (CH₄). Some of these efforts to reduce GHG emissions in the paddy field has been done, such as water and fertilizer management, using low methane emission of rice varieties. The main objective of this study was to determine the effect of water management systems and rice varieties on grain yield and GHG emissions. The study was conducted at the Experimental Research Station of IAERI, Pati, Central Java in March to June 2016. The study design was a split plot with the factor I water management (A1 = Flooded 5 cm and A2 = Alternate Wetting and Drying / AWD), factor II rice varieties (V1 = Ciherang, V2 = Inpari 30, V3 = IPB3S), and replicated 3 times. GHG measurement was conducted using a closed chamber. The parameters were observed mainly CH₄ and N₂O fluxes, Eh and pH, water level surface, plant height and tiller number, grain and yield components. The results showed that the highest grain yields was A2V1 treatment (AWD and Ciherang variety) amounted to 3.26 tons ha⁻¹. The lowest of CH₄ emissions was A2V1 treatment (AWD and Ciherang variety). N₂O emissions produced the lowest in treatment A2V3 (AWD and IPB3S variety). The highest of GHG emissions was A1V3 treatment (continuous flooding and IPB3S variety). The lowest of GHG emissions was A2V1 treatment (AWD and Ciherang variety). The lowest emissions index was A2V2 treatment (AWD and Inpari 30 variety). AWD treatment could reduce GHG emissions of Ciherang, Inpari 30 and IPB3S rice varieties by 42%, 46%, and 30% compared to continuous flooding, respectively.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Rainfed lowland area, Rice varieties, Water management

PENDAHULUAN

Lahan sawah berperan penting dalam keamanan pangan nasional secara berkelanjutan. Produksi padi di lahan sawah berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca secara signifikan terutama metana (CH_4) sebesar 12% dari total CH_4 antropogenik (IPCC, 2007). Diperkirakan, emisi CH_4 dari lahan sawah berkisar antara 39 hingga 112 Tg CH_4 per tahun (Denman dkk, 2007). Meningkatnya emisi CH_4 disebabkan karena kebutuhan beras semakin meningkat dengan bertambahnya penduduk dunia, hal ini mendorong produksi pangan terutama padi semakin meningkat dari dekade ke dekade (Wang dkk, 2000).

CH_4 diemisikan dari lahan sawah ke atmosfer melalui tiga cara yaitu ebolusi, difusi dan transport yang dimediasi tanaman padi (Dubey dkk, 2005). Emisi CH_4 dari lahan sawah disebabkan oleh produksi CH_4 oleh metanogen. Fluks CH_4 di lahan sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti praktek pengelolaan air, pemupukan organik dan anorganik, sifat fisikokimia dan geokimia tanah, suhu tanah dan udara, komposisi dan aktivitas mikroorganisme tanah, dan karakter fisiologi tanaman masing-masing kultivar padi (Bodelier dkk, 2000). Varietas padi berpengaruh terhadap emisi CH_4 karena tanaman padi memediasi transportasi CH_4 dan O_2 melalui jaringan aerenkim (Butterbach-Bahl dkk, 1997; Aulakh dkk, 2000) dan menyediakan substrat bagi metanogen dan bakteri metanotrof melalui eksudat akar dan dekomposisi akar tanaman yang telah mati (Kerdchoechuen, 2005). Oleh karena itu, perbedaan antara varietas padi berperan penting dalam pelepasan CH_4 dari lahan sawah.

CH_4 dihasilkan pada kondisi anaerobik. Mitigasi CH_4 telah dipraktekkan di beberapa negara di Asia, diantaranya Jepang dan China. Teknik pengeringan “*single mid - season drainage*” selama 5-10 hari dapat mengurangi emisi CH_4 . Di dalam siklus *alternate wetting and drying* (AWD), air diirigasikan lagi agar tanah tergenang, setelah permukaan air turun di bawah permukaan tanah selama beberapa hari (berkisar 1 -10 hari) (Bouman dkk, 2007). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sistem pengelolaan air dan varietas padi terhadap hasil padi dan emisi GRK.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Balington, Pati-Jawa Tengah pada bulan Maret-Juni 2016. Penelitian menggunakan rancangan split plot dengan faktor I pengelolaan air (A1=Tergenang 5 cm dan A2=*Alternate Wetting and Drying/AWD*), faktor II varietas padi (V1=Ciherang, V2=Inpari 30, V3= IPB3S), dan ulangan 3 kali. Ukuran petak percobaan 5 m x 6 m dengan usia tanaman 21 hari setelah sebar (HSS). Pengambilan sampel gas rumah kaca (GRK) dilakukan seminggu sekali dengan menggunakan boks CH_4 ukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm dan boks N_2O ukuran 20 cm x 40 cm x 30 cm.

Pemupukan dilakukan dengan pemberian pupuk kompos kotoran sapi dengan takaran 3 ton/ha yang diberikan pada saat pengolahan tanah. Pemupukan tanaman terdiri dari pupuk dasar Posfor (SP 36) 90 kg P_2O_5 /ha, pupuk Nitrogen (Urea) 120 kg N/ha dan pupuk Kalium (KCl) 90 kg K_2O /ha. Pemupukkan N pertama sebesar $\frac{1}{4}$ dosis (30 kg N/ha) dan selanjutnya diberikan berdasarkan Bagan Warna Daun (BWD) yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Data yang diamati terdiri dari (1) fluks CH_4 dan N_2O (2) tinggi tanaman dan jumlah anakan, (3) pH dan Eh tanah, (4) hasil gabah.

Pengukuran gas rumah kaca dilakukan dengan metode sungkup tertutup (*close chamber*). Sampel gas CH_4 diambil dengan menggunakan jarum suntik volume 10 ml dengan interval waktu pengambilan setiap menit ke-5, 10, 15, 20 dan 25, sedangkan untuk gas N_2O diambil pada interval menit ke-10, 20, 30, 40 dan

50. Analisis gas dilakukan di Lab Gas Rumah Kaca Balington, Pati. Konsentrasi gas CH_4 dalam setiap satuan waktu dianalisa menggunakan kromatografi gas Shimadzu 14A yang dilengkapi dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*), sedangkan konsentrasi gas CH_4 dianalisa dengan menggunakan kromatografi gas Shimadzu 14A yang dilengkapi detektor ECD (*Electron Capture Detector*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Gas CH_4

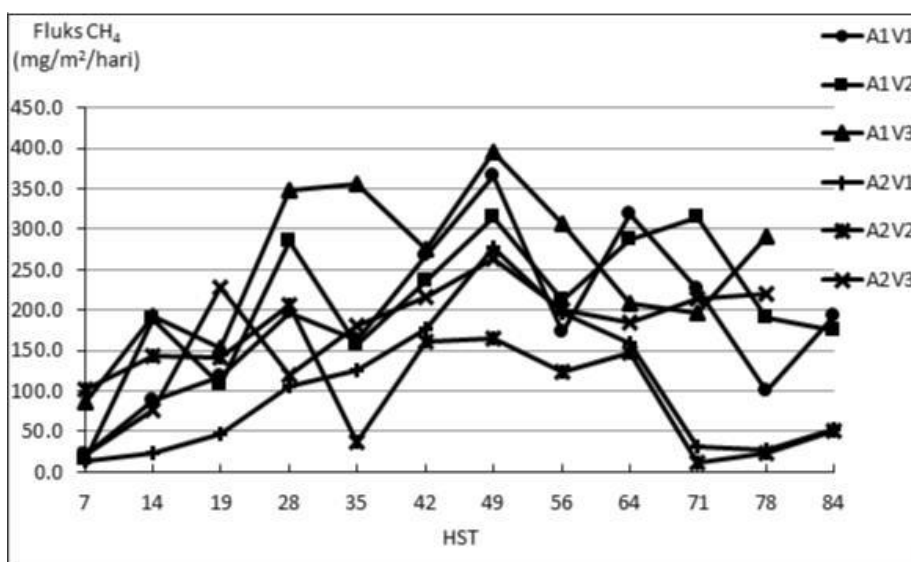
Pengukuran fluks CH_4 menunjukkan bahwa semua perlakuan mempunyai pola yang mirip. Pada awal pertumbuhan tanaman sangat rendah kemudian mulai meningkat secara cepat pada fase anakan aktif (Gambar 1). Fluks CH_4 pada semua perlakuan mencapai puncaknya ada saat memasuki fase pembentukan primordia bunga dan kemudian mulai menurun pada fase

pemasakan biji. Perlakuan A1V1 dan A1V3 menunjukkan kenaikan fluks pada akhir pengamatan. Fenomena tersebut mungkin disebabkan karena adanya tahap pengeringan sebelum panen sehingga CH₄ yang terperangkap dalam pori-pori tanah keluar. Pada Gambar 2 tampak jelas bahwa kumulatif fluks CH₄ tertinggi terdapat pada perlakuan A1V3, kemudian diikuti oleh perlakuan A1V2, A1V1, A2V3, A2V2 dan A2V1. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan AWD dapat menghasilkan fluks CH₄ yang lebih rendah dibandingkan perlakuan tergenang pada semua varietas padi. Dinamika fluks CH₄ sangat dipengaruhi oleh kondisi air.

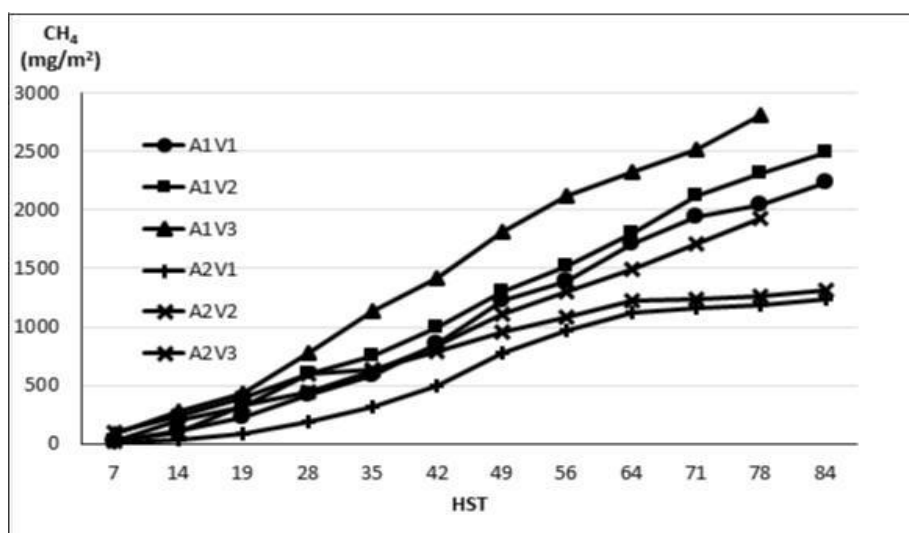
Masing-masing varietas berpengaruh terhadap fluks CH₄ karena perbedaan jumlah dan jenis eksudat akar (glukosa dan asam asetat) (Lu

dkk, 2000). Eksudat akar mudah terdekomposisi dan cepat digunakan sebagai substrat yang penting bagi metanogen (Christensen *dkk*, 2003). Eksudat akar berpengaruh lebih dari separuh fluks CH₄ dari tanaman padi. Disamping berbeda jenis dan jumlahnya antar varietas, eksudat akar juga tergantung pada tahap pertumbuhan tanaman (Aulakh *dkk*, 2001).

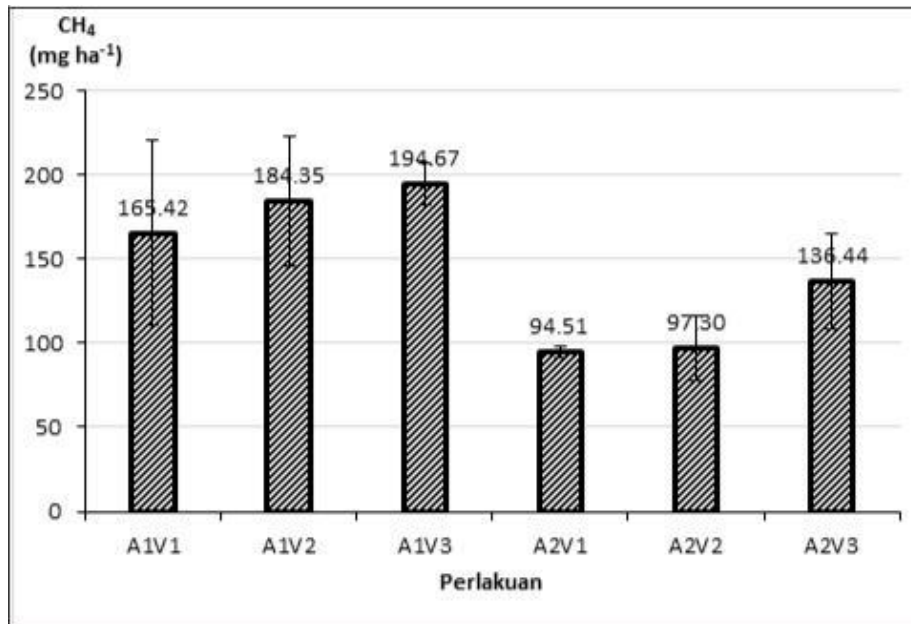
Emisi CH₄ dari perlakuan air dan varietas padi berkisar antara 94-194 kg/ha. Emisi CH₄ tertinggi terdapat pada perlakuan A1V3, kemudian diikuti A1V2, A1V1, A2V3, A2V2 dan A2V1 secara berturut-turut (Gambar 3). Pada varietas Ciherang, Inpari 30 dan IPB3S, perlakuan AWD menurunkan emisi CH₄ berturut-turut sebesar 43%, 47% dan 30%. Perlakuan AWD menurunkan emisi CH₄ secara signifikan.



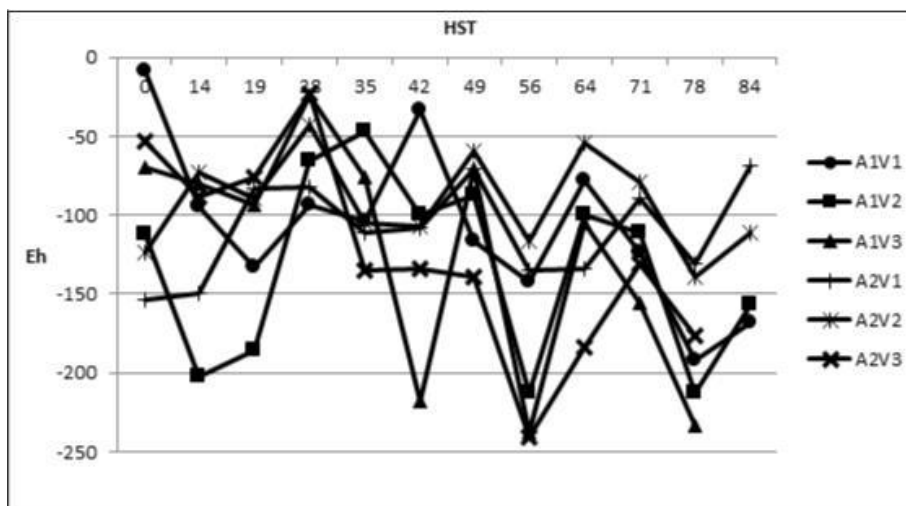
Gambar 1. Pola fluks CH₄ pada berbagai perlakuan air dan varietas padi



Gambar 2. Kumulatif fluks CH₄ pada berbagai perlakuan pengelolaan air dan varietas padi



Gambar 3. Emisi CH₄ dari perlakuan air dan varietas padi

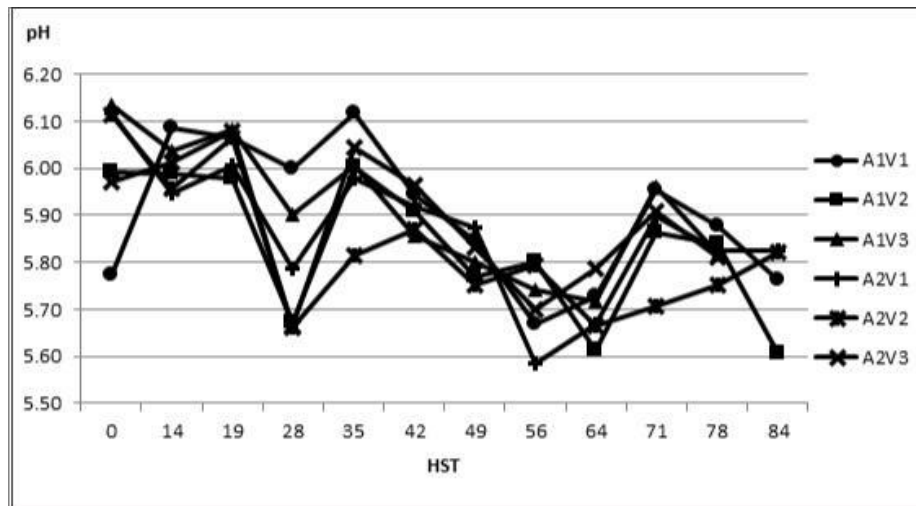


Gambar 4. Pengamatan Eh pada berbagai perlakuan air dan varietas padi Walik Jerami 2016

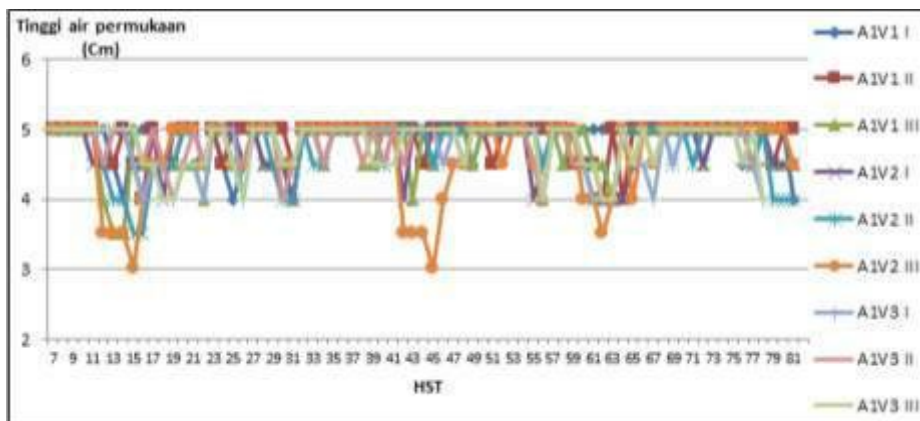
Lee dkk, (2012) melaporkan bahwa penge-
 ringan di tengah masa tanam (*midterm drainage*)
 pada tahap anakan maksimum mengurangi emisi
 CH₄ sebesar 43,8%, dibandingkan pengairan
 tergenang. Fluks CH₄ tertinggi pada semua
 perlakuan terdapat pada fase awal primordia, hal
 ini didukung oleh hasil pengamatan Eh dan pH
 (Gambar 4 dan Gambar 5). Penurunan pH dan Eh
 tanah selama pertumbuhan tanaman mungkin
 disebabkan karena tanaman mengeluarkan
 eksudat akar maksimum. pH tanah yang mencapai
 5,6 dan Eh berkisar -200mV merupa-kan kondisi
 ideal bagi pertumbuhan metanogen. Penurunan
 pH kemudian diikuti dengan pemberian pupuk N
 menyebabkan potensial

redoks (Eh) menurun dan ini akan menstimulasi
 metanogen (Wang dkk, 1992).

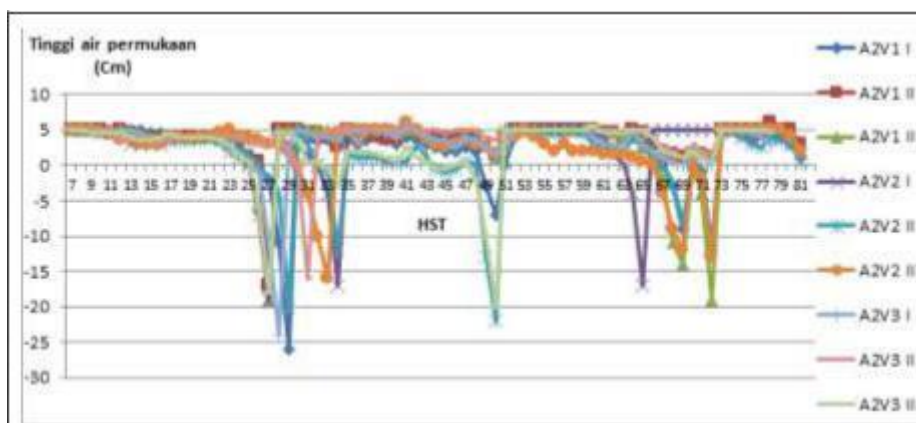
Hasil pengamatan terhadap tinggi air
 permukaan pada perlakuan tergenang dan
 perlakuan AWD dengan berbagai varietas padi
 terdapat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Tampak
 pada perlakuan AWD dengan berbagai varietas
 padi menunjukkan terdapat 4 kali fase penurunan
 air permukaan. Dengan adanya kondisi rizosfer
 yang basah dan kering silih berganti, meny-
 ebabkan kondisi aerob, sehingga dapat meny-
 ebabkan turunnya fluks CH₄ pada semua varietas padi.



Gambar 5. Pengamatan Eh pada berbagai perlakuan air dan varietas padi Walik Jerami 2016



Gambar 6. Pengamatan PH pada berbagai perlakuan air dan varietas padi Walik Jerami 2016



Gambar 7. Pengamatan tinggi air permukaan pada perlakuan pengairan tergenang dengan berbagai varietas padi Walik Jerami 2016

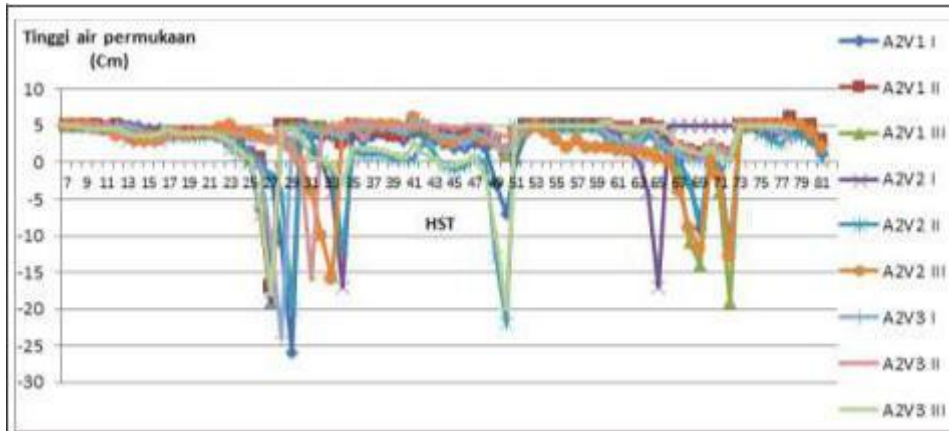
Emisi Gas N₂O

Gambar 8. menunjukkan bahwa pemupukan anorganik mempengaruhi pola fluks N₂O. Mishra dkk, (2012) menyatakan bahwa apikasi pemupukan berhubungan erat dengan emisi N₂O. Pemupukan anorganik yang dilakukan pada fase

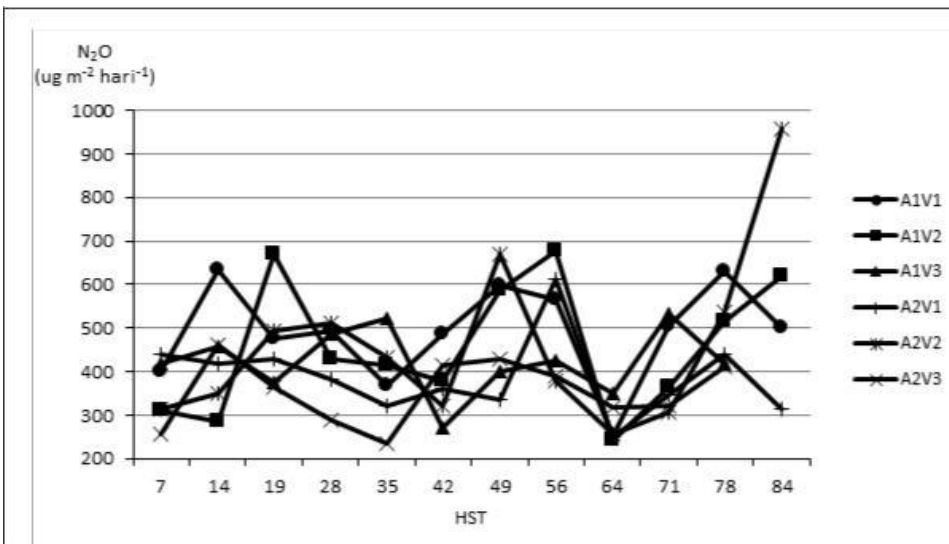
anakan aktif (7 HST), fase anakan maksimum (21 HST) dan fase primordia (42 HST) menyebabkan kenaikan fluks N₂O. Kumulatif fluks N₂O yang terlihat pada Gambar 9, menunjukkan bahwa kumulatif fluks tertinggi terdapat pada perlakuan A1V1. Emisi N₂O tertinggi pada perlakuan A2V2

(Gambar 10), karena periode basah kering pada perlakuan AWD menyebabkan kondisi aerob dan aerobik silih berganti sehingga sangat cocok

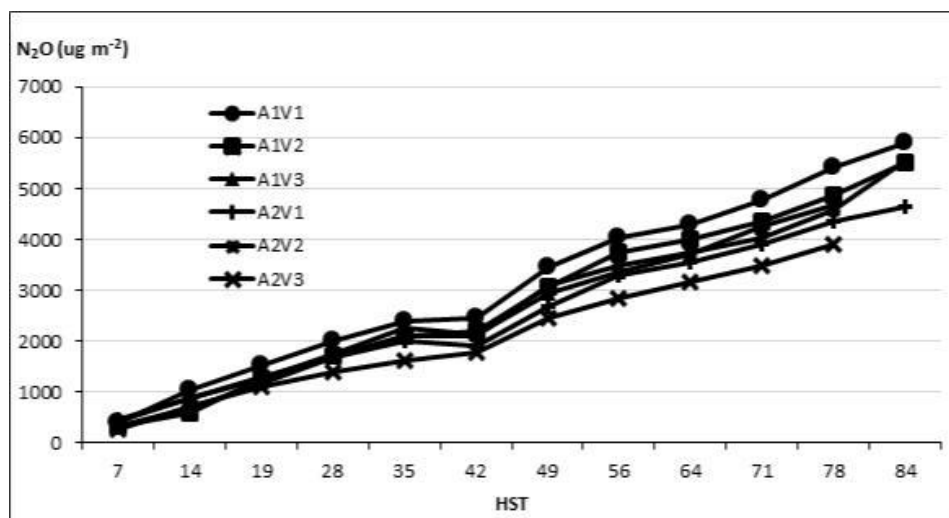
untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Perlakuan air dan varietas padi memberikan emisi GRK yang sangat bervariasi, emisi tertinggi



Gambar 8. Pengamatan tinggi air permukaan pada perlakuan pengairan AWD dengan berbagai varietas padi Walik Jerami 2016



Gambar 9. Pola fluks N₂O pada berbagai perlakuan air dan varietas padi

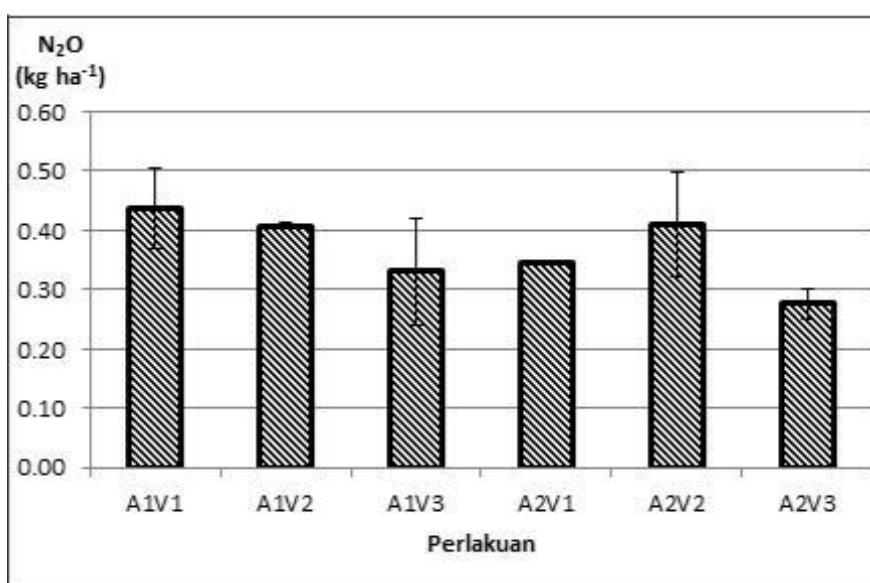


Gambar 10. Kumulatif fluks N₂O pada berbagai perlakuan pengelolaan air dan varietas padi

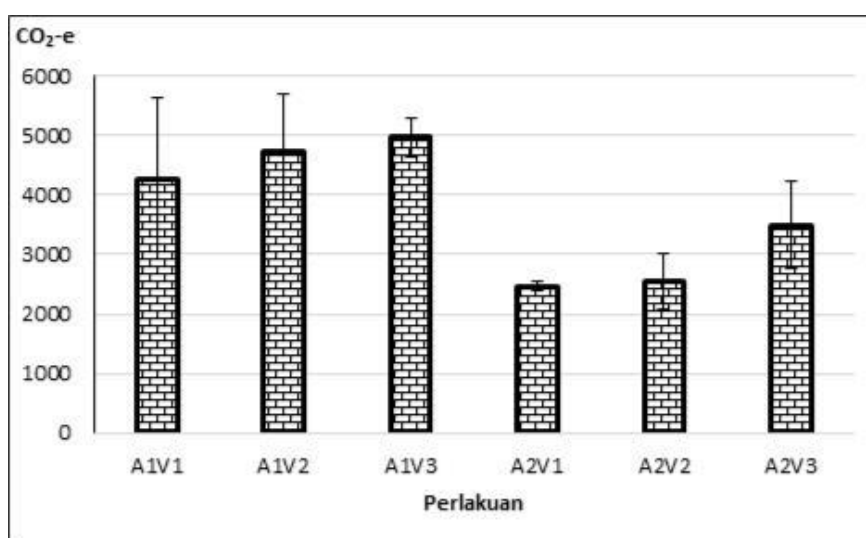
terdapat pada perlakuan A1V2 (Gambar 11), dimana pada kondisi tergenang dengan menanam varietas Inpari 30 menyebabkan emisi CO₂-e sebesar 5 ton ha⁻¹. Emisi GRK terendah terdapat pada perlakuan A2V2 (AWD dengan varietas Inpari 30) yaitu sebesar 2,6 ton ha⁻¹. Karena emisi N₂O dari semua perlakuan relatif kecil, emisi GRK dipengaruhi sangat besar oleh emisi CH₄. Besarnya penurunan emisi GRK dari perlakuan AWD dengan varietas Ciherang, Inpari 30 dan IPB3S masing-masing sebesar 42%, 46% dan 30%. Varietas padi Ciherang mengemisi paling rendah dibandingkan varietas Inpari 30 dan IPB3S, baik pada perlakuan tergenang maupun AWD.

Parameter Tanaman

Hasil pengukuran tinggi tanaman dan jumlah anakan pada masing-masing berbagai perlakuan air dan varietas padi MT Walik Jerami 2016 terdapat pada Gambar 12 dan 13. Varietas padi IPB3S mempunyai perawakan tinggi, namun jumlah anakannya relatif paling sedikit. Tinggi tanaman IPB3S mencapai 110 cm, sedangkan Ciherang dan Inpari 30 hanya 90-95 cm. Jumlah anakan padi IPB3S berkisar 7, sedangkan Ciherang dan Inpari 30 mempunyai anakan 8-9. Meskipun mempunyai anakan paling sedikit, IPB3S mengemisi CH₄ tertinggi baik pada perlakuan tergenang maupun AWD. Umur tanaman juga lebih pendek dibandingkan varietas



Gambar 11. Emisi N₂O pada perlakuan air dan varietas padi



Gambar 12. Emisi GRK (CO₂-e) pada perlakuan air dan varietas padi

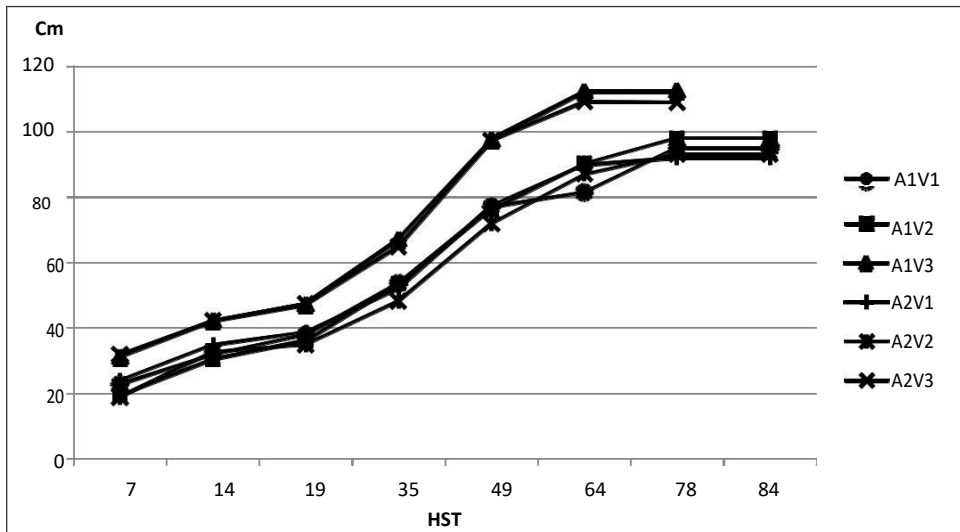
Ciherang dan Inpari 30. Hal ini diduga bahwa padi IPB3S mengeluarkan eksudat akar lebih banyak jumlah dan jenisnya untuk mendukung pertumbuhan metanogen.

Hasil Gabah

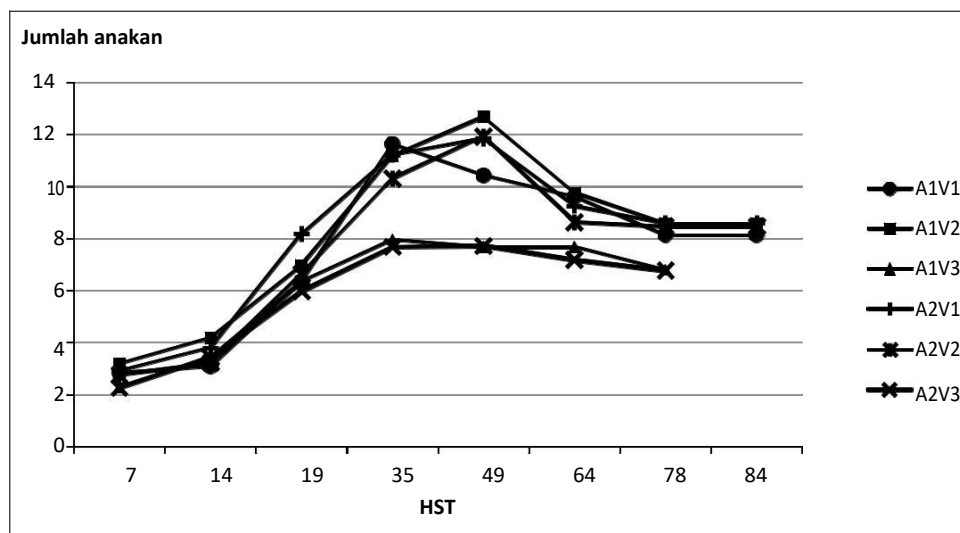
Gambar 14 menunjukkan hasil GKG yang diperoleh dari masing-masing perlakuan. Hasil gabah tertinggi terdapat pada perlakuan A1V1 yaitu sebesar 3,26 ton ha⁻¹ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Hasil padi rata-rata di lahan tadah hujan pada penelitian ini tergolong rendah, hal ini karena adanya serangan hama walang sangit yang cukup intensif sehingga persentase gabah isinya relatif rendah (Tabel 1). Indeks emisi, yaitu perbandingan antara emisi dengan hasil gabah terkecil dalam penelitian ini

adalah perlakuan A2V2, diikuti oleh A2V1, A2V3, A1V1, A1V3, A1V2, masing-masing sebesar 0,78; 0,80; 1,12; 1,33; 1,59; dan 1,60. Semakin kecil indeks emisi berarti semakin kecil GRK yang diemisikan untuk menghasilkan persatuan berat gabah.

Pada saat ini AWD diaplikasikan dengan berbagai metode. AWD dapat diintegrasikan dengan metode budidaya padi konvensional dan SRI, dimana AWD adalah komponen intinya. Banyak peneliti menyatakan bahwa AWD dapat mengurangi kebutuhan air. Namun, dampak penerapan AWD terhadap produktivitas padi berbeda-beda. Meskipun produktivitas air meningkat, produksi padi bisa menurun bahkan sama dibandingkan dengan pengairan tergenang. Bouman dan Tuong (2001), menyatakan bahwa



Gambar 13. Tinggi tanaman pada berbagai perlakuan air dan varietas padi, Walik Jerami 2016

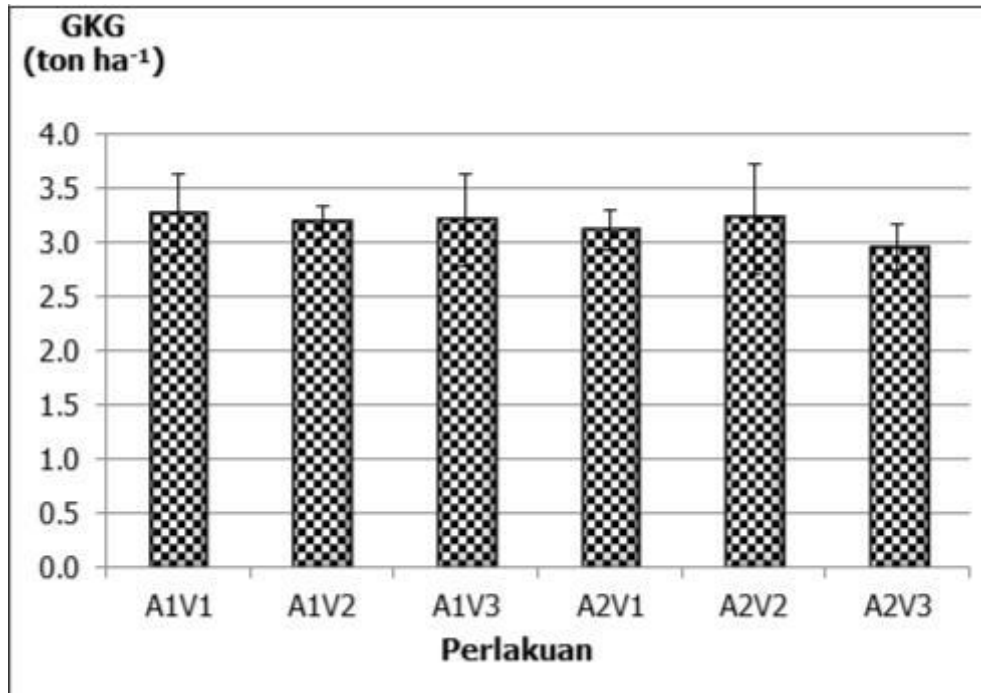


Gambar 14. Jumlah anakan pada berbagai perlakuan air dan varietas padi, Walik Jerami 2016

92% perlakuan AWD menyebabkan penurunan produksi sebesar 0% hingga 70% dibandingkan plot control (tergenang). Penelitian Yao *et al.* (2012) yang menggunakan varietas padi “super hybrid” dan varietas toleran kekeringan memberikan hasil efisiensi sebesar 24%-38% namun tidak berbeda hasil gabahnya dengan perlakuan AWD.

Hasil gabah dan komponen hasil tertera pada Tabel 1. Tampak bahwa berat 1000 butir gabah pada varietas IPB3S paling tinggi, namun

% gabah isinya paling rendah, kemudian diikuti Inpari 30 dan Ciherang. Berat kering biomas atas dan akar tertinggi terdapat pada perlakuan A2V3 (AWD dengan varietas padi IPB3S) yaitu sebesar 5,7 gram berat kering per rumpun, terendah pada varietas Inpari 30 yaitu sebesar 2,7 gram berat kering per rumpun. Hal ini berarti bahwa berat akar berpengaruh signifikan terhadap emisi CH_4 .



Gambar 15. Hasil gabah dari perlakuan air dan varietas

Tabel 1. Hasil dan komponen hasil dari perlakuan air dan varietas padi

Perlakuan	GKG (ton/ha)	Berat 1000 butir (g)	% gabah isi	Berat biomas atas (g)	Berat akar (g)
A1V1	3.3a	25.3c	62.5ab	16.8a	2.8b
A1V2	3.2a	27.1ab	68.6a	18.5a	2.6b
A1V3	3.2a	28.1a	60.7ab	17.6a	4.3ab
A2V1	3.1a	26.3bc	64.8ab	15.9a	2.7b
A2V2	3.2a	27.2ab	66.2ab	17.3a	2.4b
A2V3	3.0a	27.7a	58.3b	19.7a	5.7a

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

1. Hasil padi tertinggi terdapat pada perlakuan A2V1 (AWD dengan varietas Ciherang) sebesar 3,26 ton GKG/ha.
2. Emisi CH_4 terendah dihasilkan pada perla-

kuan A2V1 (AWD dengan varietas padi Ciherang).

3. Emisi N_2O terendah dihasilkan pada perlakuan A2V3 (AWD dengan varietas IPB3S).
4. Emisi GRK tertinggi terdapat pada perlakuan A1V3 (tergenang dengan varietas IPB3S). Emisi GRK terendah terdapat pada A2V1 (perlakuan AWD dengan varietas Ciherang).

5. Indeks emisi terendah terdapat pada perlakuan A2V2 (perlakuan AWD dengan varietas Inpari 30).
6. Perlakuan AWD dapat menurunkan emisi GRK pada varietas padi Ciherang, Inpari 30 dan IPB3S masing-masing sebesar 42%, 46%, dan 30% dibandingkan dengan kondisi tergenang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulakh, M.S., Bodenmender, J., Wassmann, R., Rennenberg, H., 2000. Methane transport capacity of rice plants. Part II. Variations among different rice cultivars and relationship with morphological characteristics. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 58, 367–375
- Aulakh MS, Wassmann R, Bueno C, Kreuzwieser J and Rennenberg, H. 2001. Characterization of root exudates at different growth stages of ten rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Plant Biology* 3: 139–149.
- Bodelier, P.L., Roslev, P., Henckel, T., Frenzel, P., 2000. Stimulation by ammonium based fertilizers of methane oxidation in soil around roots. *Nature* 403, 421–424. Butterbach - Bahl, K., Papen, H., Rennenberg, H., 1997. Impact of gas transport through rice cultivars on methane emission in rice paddy fields. *Plant Cell Environ.* 20, 1175–1183.
- Bouman, B.A.M. and Tuong, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated low land rice. *Agricultural Water Management* 49: 11-30.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.C., Wofsy, S.C., Zhang, X., 2007. Coupling between changes in the climate system and biogeochemistry. *Climate change 2007: The physical science basis*. In: Soloma, S., Ainsworth, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H. L. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, pp. 499–587.
- Dubey, S.K. 2005. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: a review. *Applied Ecology and Environmental Research* 3(2), 1-27.
- IPCC, 2007. Summary for policymakers. In: *Climate change 2007: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kerdchoechuen, O., 2005. Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 155–163
- Lee DB, Jung SC, So KH, Jeong JW, Jung HC, Kim GY, Shim KM. 2012. Evaluation of mitigation technologies and footprint of carbon in unhulled rice production. *Climate Change Res.* 3: 129-142
- Lu L, Wassmann R, Neue HU, Huang C and Bueno CS. 2000. Methanogenic responses to exogenous substrates in anaerobic rice. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1 683–1 690.
- Christensen TR, Panikov N, Mastepanov M, Joabsson A, Steward A, Öquist M, Sommerkorn M, Reynaud S and Svensson B. 2003. Biotic controls on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands – a closed environment study. *Biogeochemistry* 64: 337–354.
- Mishra SN, S Mitra, L Rangan, S Dutta and P Singh. 2012. Exploration of 'hot-spots' of methane and nitrous oxide emission from the agriculture fields of Assam, India. *Agriculture & Food Security* 1:16
- Wang, Z., Delaune, R.D., Lindau, C.W. W.H. Patrick Jr. 1992. Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers. *Fertilizer Research* 33: 115. doi:10.1007/BF01051166
- Yao, F., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Xiang, J., Liu, X., Wu, W., Chen, M. and Peng, S. 2012. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field Crops Research* 126:16-22