

PENGHEMATAN AIR DAN PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA PERLAKUAN ALTERNATE WETTING AND DRYING DI LAHAN SAWAH

THE WATER SAVING AND GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION OF ALTERNATE WETTING AND DRYING ON RICE FIELD

Ali Pramono¹⁾, Jumari¹⁾ dan Terry Ayu Adriany¹⁾

Diterima tanggal 6 Desember 2017, Disetujui tanggal 6 Maret 2018

ABSTRAK

Perubahan iklim dan kelangkaan sumberdaya air irigasi merupakan ancaman keberlanjutan sistem produksi pertanian. Salah satu penyebab perubahan iklim adalah peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Budidaya padi di lahan sawah merupakan salah satu sumber emisi GRK, terutama metana (CH₄) yang pada saat ini meningkat lebih dari dua kali lipat dibandingkan pada era pra industri. Untuk itu, diperlukan strategi mitigasi GRK tanpa mengorbankan hasil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *alternate wetting and drying* (AWD) terhadap penghematan air, GRK dan hasil padi. Penelitian ini dilakukan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian di Pati, Jawa Tengah pada tahun 2014-2015. Perlakuan disusun dengan menggunakan rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Perlakuanannya adalah sebagai berikut 1) Pengairan tergenang secara terus menerus (*continuous flooding/ CF*), 2) *Safe-Alternate Wetting and Drying* (AWD-15 cm), 3) *Site Specific-Alternate Wetting and Drying* (AWD-25 cm). Varietas padi yang digunakan adalah Cisadane dan plot percobaan berukuran 5 m x 7 m yang dilapisi dengan plastik sedalam 40 cm untuk mengurangi rembesan ke samping. Tanah di lokasi penelitian berjenis *Aeric Endoaquepts* dengan kandungan hara relatif yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan AWD dapat menghemat air irigasi dan menurunkan emisi gas rumah kaca tanpa mengurangi hasil padi di lahan sawah. AWD-15 cm dan AWD-25 cm masing-masing dapat menghemat air irigasi sebesar 23 % dan 27 % dibandingkan kondisi tergenang. Perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm secara signifikan menurunkan nilai *global warming potential* (GWP) dibandingkan dengan perlakuan tergenang. Perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm menurunkan emisi GRK masing-masing sebesar 33 % dan 41 % dibandingkan kondisi tergenang tanpa kehilangan hasil yang signifikan. Hasil gabah kering giling (GKG) tertinggi diperoleh dengan perlakuan AWD-15 cm yaitu sebesar 5,90 ton ha⁻¹ dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan tergenang dan AWD-25 cm. Teknik AWD-15cm merupakan salah satu opsi penurunan emisi GRK dari lahan sawah untuk mendukung pertanian yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: *alternate wetting and drying*, emisi gas rumah kaca, hasil, lahan sawah

ABSTRACT

Climate change and water scarcity are threats of sustainability of the agricultural production systems. One of the causes of climate change is the increasing of greenhouse gas (GHG) emissions in the atmosphere. Rice cultivation is one of the sources of greenhouse gas (GHG) emissions, particularly methane (CH₄) that exists more than doubled compared to the pre-industrial era. Therefore, GHG mitigation strategy is needed without compromising yields. This study aims to determine the effect of alternate wetting and drying (AWD) treatment on water saving, GHG emissions and rice yield. This research was conducted in Indonesian Agricultural Environment Research Institute located Pati District, Central Java in 2014-2015. This experiment was prepared using a randomized block design with 3 replications. The treatments were 1) Continuous flooding (control/CF), 2) Safe-Alternate Wetting and Drying (AWD-15 cm), 3) Site Specific -Alternate Wetting and Drying (AWD-25 cm). We used Cisadane as rice cultivar and experimental plot measuring 5 m x 7 m lined with plastic 40 cm depth to minimize seepage. The soil type is *Aeric Endoaquepts* with relatively low nutrients content. The results showed that AWD treatments could save irrigation water and reduce GHG emission without reducing grain yield. The AWD-15 cm and AWD-25 cm treatments saved irrigation water by 23 % and 27%, respectively, compared to CF and also reduced GHG emissions by 33 % and 41 %, respectively, without significant yield loss. The highest grain yield was obtained by treatment of AWD-15 cm by

1) PBalai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jln Raya Jakenan-Jaken Km 5 Pati, Jawa Tengah. email: ali_pramono@yahoo.com.

5.90 ton ha⁻¹ and not significantly different with the flood treatment and AWD-25 cm. The safe-AWD technique is one of the options for reducing GHG emissions from paddy fields to support environmentally friendly agriculture.

Keywords: *alternate wetting and drying, GHG emissions, grain yield, rice field*

PENDAHULUAN

Tantangan pertanian ke depan dalam memenuhi kebutuhan pangan semakin besar karena peningkatan jumlah penduduk dan ancaman perubahan iklim. Sumberdaya air untuk pertanian juga semakin langka pada saat terjadi kekeringan akibat dampak perubahan iklim. Ketersediaan air menjadi kendala pembatas dalam budidaya pertanian dan keamanan pangan [1]. Pada tahun 2025 sekitar 2 juta ha lahan kering teririgasi dan 13 juta ha lahan irigasi di Asia akan mengalami kekurangan air [2]. Di sisi lain, karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) merupakan contributor emisi gas rumah kaca terbesar dari sektor pertanian [3]. Ketiga gas tersebut dikonversi menjadi CO₂ ekuivalen (CO₂-e) yang menyatakan kontribusi relatif gas terhadap efek rumah kaca (potensi pemanasan global) dibandingkan gas CO₂ [4]. Tanaman padi memegang peran penting dalam pelepasan gas CH₄ dari lahan sawah. Kurang lebih 90% CH₄ yang dilepas dari lahan sawah ke atmosfer dipancarkan melalui tanaman dan sisanya melalui gelembung air (*ebullition*). Ruang udara pada pembuluh *aerenkima* yang terdapat pada daun, batang dan akar yang berkembang dengan baik menyebabkan pertukaran gas pada tanah tergenang (*anaerobik*) berlangsung cepat. Pembuluh *aerenkima* bertindak sebagai cerobong (*chimney*) untuk lepasnya CH₄ ke atmosfer [5].

Upaya untuk menurunkan emisi GRK terutama CH₄, diantaranya adalah dengan pengaturan

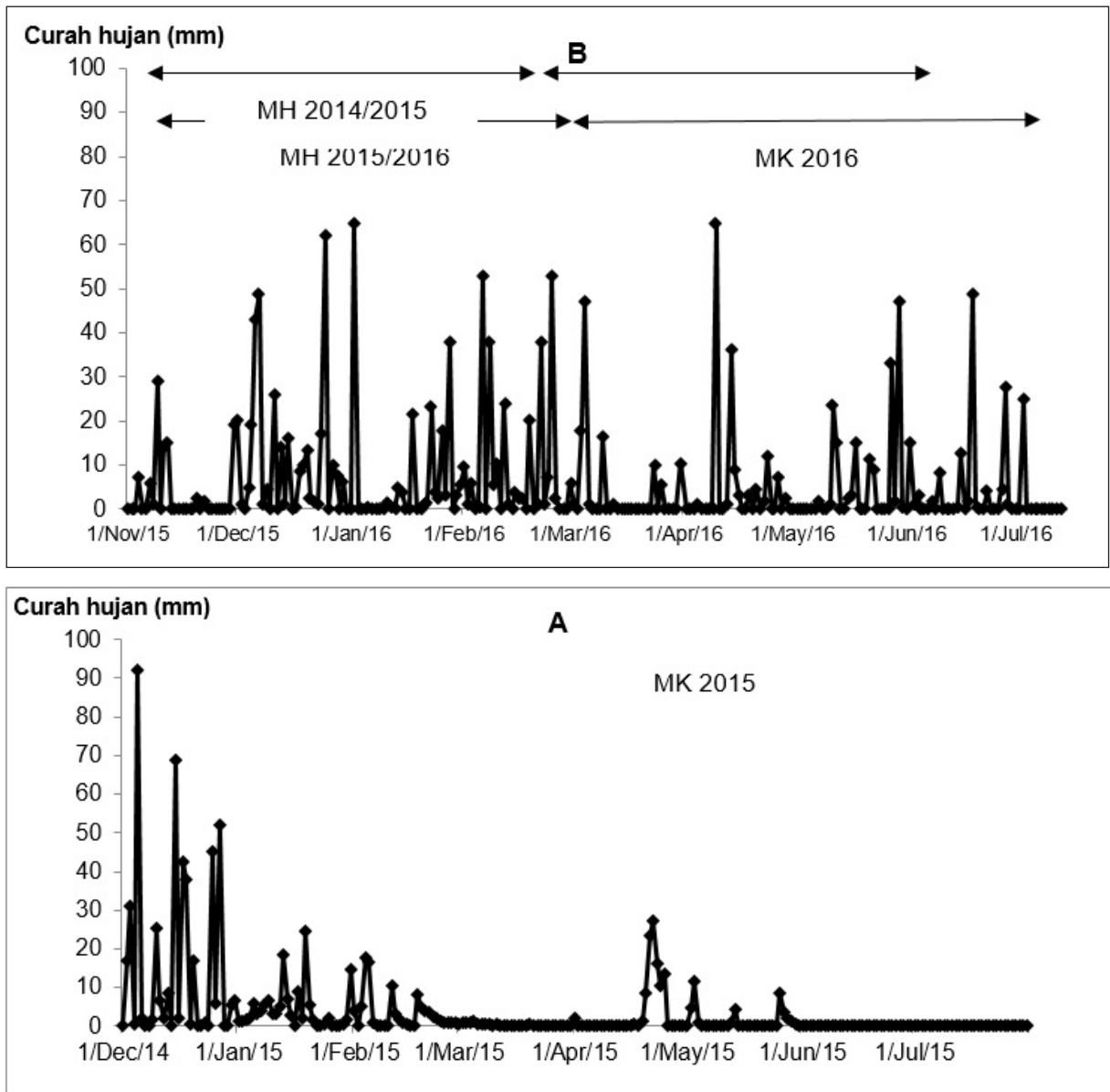
air. Air merupakan kebutuhan utama dalam budidaya tanaman padi, namun tidak semua fase pertumbuhan padi membutuhkan air yang berlimpah. Adakalanya padi membutuhkan air dalam jumlah yang banyak, yaitu pada saat fase pembentukan anakan dan pengisian bulir malai, dan pada saat tertentu tanah dibiarkan dalam kondisi macak-macak untuk menciptakan kondisi kaya oksigen sehingga akar dapat berespirasi dan makroorganisme penyubur tanah dapat beraktivitas meningkatkan kesuburan tanah. Teknik pengaturan air sudah diimplementasikan di beberapa negara, diantaranya adalah Cina, India dan Jepang untuk menurunkan emisi CH₄ [6]. Pengeringan di pertengahan musim (*mid season drainage*) dapat mengurangi emisi CH₄ sebesar 69,5% pada lahan sawah di Jepang [7]. Sementara itu pengeringan lahan sebanyak 2 kali di Thailand bagian tengah dapat menurunkan emisi sebesar 35 % [8]. Teknik *alternate wetting and drying* (AWD, atau pengairan basah dan kering) adalah teknik hemat air yang diterapkan pada lahan irigasi. Pada permulaan perlakuan, lahan digenangi dan kemudian air dibiarkan menurun hingga beberapa hari (1 sampai 10 hari) atau mencapai level tertentu di bawah permukaan tanah (biasanya 15 cm). Teknik AWD dalam produksi padi dapat menurunkan emisi CH₄ [9], selain itu juga menghemat air [10], dan menurunkan konsentrasi arsenik pada gabah [11-12]. Penurunan emisi CH₄ dengan teknik AWD sebesar 11-97% namun disertai penurunan hasil sebesar 13 % - 33 % [13].

Upaya mitigasi GRK dimaksudkan untuk menurunkan emisi, namun juga harus dapat mempertahankan bahkan meningkatkan hasil agar diminati petani. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengaturan air terhadap penghematan air, emisi GRK, dan hasil padi.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati-Jawa Tengah ($6^{\circ}46'39,7''S$ dan $111^{\circ}11'53,0''E$) pada 4 musim tanam berturut-turut yaitu musim hujan (MH) 2014/2015, musim kering (MK) 2015, MH 2015/2016 dan MK 2016. Musim tanam MH dimulai pada bulan Oktober, setelah panen dilanjutkan musim tanam MK. Kondisi curah hujan terdapat pada Gambar 1. Berdasarkan klasifikasi tanah, lokasi penelitian berjenis tanah *Aeric Endoaquepts*, dengan karakteristik lapisan olah mempunyai pH 5,7, tekstur pasir 34 %, debu 56 %, liat 10 %, C organik 0,18 %, N total 0,05 %, rasio C/N 3,39, P total 108,3 ppm, K total 319,1 ppm, KTK 8,69 cmol kg^{-1} , Mikro elemen Fe 0,06 %, Ca 0,51 % dan Mg 0,04 %. Perlakuan yang diujikan adalah 1) Pengairan tergenang secara terus menerus (*continuous flooding/ CF*), 2) *Safe-Alternate Wetting and Drying (AWD-15 cm)*, 3) *Site Specific-Alternate Wetting and Drying (AWD-25 cm)*. Pada semua perlakuan, tanaman diiri macak-macak hingga 10 hari setelah tanam (HST). Pada 11 HST ketinggian air permukaan semua

plot diatur 5 cm dan kemudian diberikan pengairan sesuai perlakuan. Perlakuan tergenang diatur tinggi air permukaannya setiap hari 5 cm hingga panen. Perlakuan AWD-15 cm diiri kembali 5 cm apabila tinggi airnya mencapai 15 cm di bawah permukaan tanah. Demikian juga perlakuan AWD-25 cm, diiri kembali 5 cm apabila tinggi airnya mencapai 25 cm di bawah permukaan tanah. Varietas padi yang digunakan adalah Cisadane, yang termasuk padi berumur panjang. Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Plot percobaan berukuran 5 m x 7 m (Gambar 2). Pematang plot dilapisi dengan plastik sedalam 40 cm. Pengolahan tanah dilakukan secara sempurna. Penanaman dilakukan dengan cara tanam tugal (tanam benih langsung) dengan 5-10 benih per lubang. Jarak tanam yang digunakan 20 cm x 20 cm. Pupuk organik diberikan dengan takaran 5 ton ha^{-1} diaplikasikan pada saat atau setelah pengolahan tanah. Dosis pupuk anorganik yang digunakan adalah 120 kg N ha^{-1} , 60 kg P_2O_5 ha^{-1} , dan 90 kg K_2O ha^{-1} . Pemupukan dilakukan 3 kali yaitu pertama pada 21 HST ($\frac{1}{4}$ N, seluruh P, dan $\frac{1}{2}$ K), pemupukan kedua pada 41 HST ($\frac{1}{2}$ N dan $\frac{1}{2}$ K), dan ketiga pada 56 HST ($\frac{1}{4}$ N). Pengairan dilakukan dengan menggunakan air *embung* yang disalurkan melalui pipa PVC. Pencegahan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) dilakukan dengan penyemprotan pestisida apabila ada serangan hama dan penyakit tanaman yang masif.



Gambar 1. Kondisi curah hujan selama 4 musim tanam (A=MH 2014/2015 dan MK 2015, B=MH 2015/2016 dan MK 2016) - Sumber data: [17]



Gambar 2. Penyiapan plot percobaan (atas) dan sistem tanam benih langsung pada musim hujan (bawah)
Sumber data: penelitian primer

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{Vch}{Ach} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2 + T}$$

Keterangan :

- E : Fluks gas CH₄/N₂O (mgm⁻² hari⁻¹)
 dc/dt : Perbedaan konsentrasi CH₄/N₂O per waktu (ppm menit⁻¹)
 Vch : Volume boks (m³)
 Ach : Luas boks (m²)
 mW : Berat molekul CH₄/N₂O (g)
 mV : Volume molekul CH₄/N₂O (22,4 l)
 T : Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh gas (°C)

Parameter yang diamati meliputi tinggi air permukaan, fluks GRK (CH₄ dan N₂O), dan hasil padi. Pengukuran tinggi air permukaan dilakukan dengan menggunakan piezometer yang terbuat dari pipa PVC yang dilubangi pada semua sisi bagian yang dibenam dan diamati setiap hari. Pengukuran fluks GRK pada lahan sawah dilakukan seminggu sekali, dan 5 hari berturut-turut setelah pemupukan. Pengambilan sampel gas CH₄ dan N₂O dilakukan secara manual menggunakan metode *close chamber*, berukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm. Sampel diambil dengan menggunakan jarum suntik volume 10 ml dengan interval waktu pengambilan setiap menit ke-5, 10, 15, 20 dan 25. Hasil analisa gas dihitung menjadi fluks atau emisi GRK dengan menggunakan rumus perhitungan International Atomic Energy Agency (IAEA) [14].

HASIL DAN PEMBAHASAN

KEBUTUHAN AIR

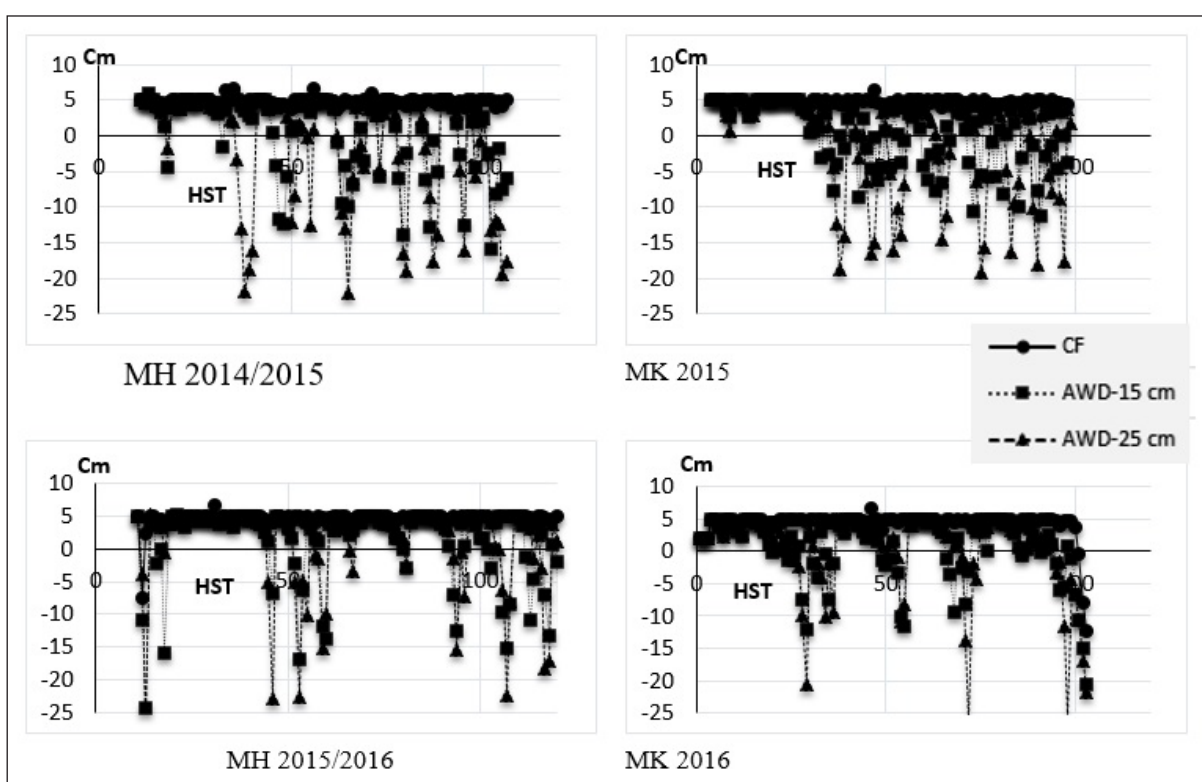
Pada perlakuan AWD terdapat siklus basah dan kering selama pertumbuhan tanaman. Tinggi permukaan air pada perlakuan AWD akan turun bila tidak terjadi hujan sampai pada level tertentu (Gambar 3). Tabel 1 menunjukkan jumlah hari kering

(tinggi air permukaan kurang dari 0 cm), dimana perlakuan AWD menentukan saat pengairan dan berapa lama kondisi basah atau tergenang. Jumlah hari kering bervariasi dari musim ke musim tanam tergantung kondisi iklim (curah hujan, suhu tanah dan udara, evaporasi). Jumlah hari kering pada perlakuan AWD-15 cm berkisar 25-41 hari, sedangkan pada AWD-25 cm berkisar 24-38 hari (Tabel 1). Rata-rata jumlah hari kering tersebut adalah 33 hari, baik pada perlakuan AWD-15 cm maupun AWD-25 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa AWD sangat menguntungkan karena dapat menurunkan kebutuhan air irigasi apabila dibandingkan dengan perlakuan tergenang secara terus menerus. Jumlah hari kering pada perlakuan AWD dalam musim tanam MH 2015/2016 dan MK 2016 lebih sedikit karena jumlah curah hujan yang cukup selama musim tanam tersebut (Gambar 1). Jumlah air yang dapat dihemat rata-rata empat musim adalah 23 % dan 27 % masing-masing pada perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm. Hasil yang hampir sama ditemukan oleh peneliti lain yang menyatakan bahwa input air lebih rendah pada perlakuan AWD-15 cm dan AWD-30 cm yaitu sebesar 19 % dan 30 % dibandingkan perlakuan tergenang [15].

Teknologi hemat air pada budidaya padi diperlukan untuk mengantisipasi kekeringan akibat dampak perubahan iklim. Secara global, jumlah air yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kg gabah dalam budidaya padi adalah 3400 liter [16]. Teknik AWD dapat diterapkan untuk mengairi lahan ketika air benar-benar diperlukan oleh perakaran tanaman untuk tumbuh dan berkembang lebih baik.

Emisi GRK

Perlakuan AWD dapat menyebabkan terjadinya kondisi aerob yang berpengaruh terhadap emisi CH_4 . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknik AWD pada lahan sawah dapat menurunkan emisi CH_4 (Tabel 1). Penurunan emisi CH_4 terbesar terjadi pada musim tanam MH 2014/2015 yaitu sebesar 46 % dan 63 % masing-masing dari perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm dibandingkan perlakuan

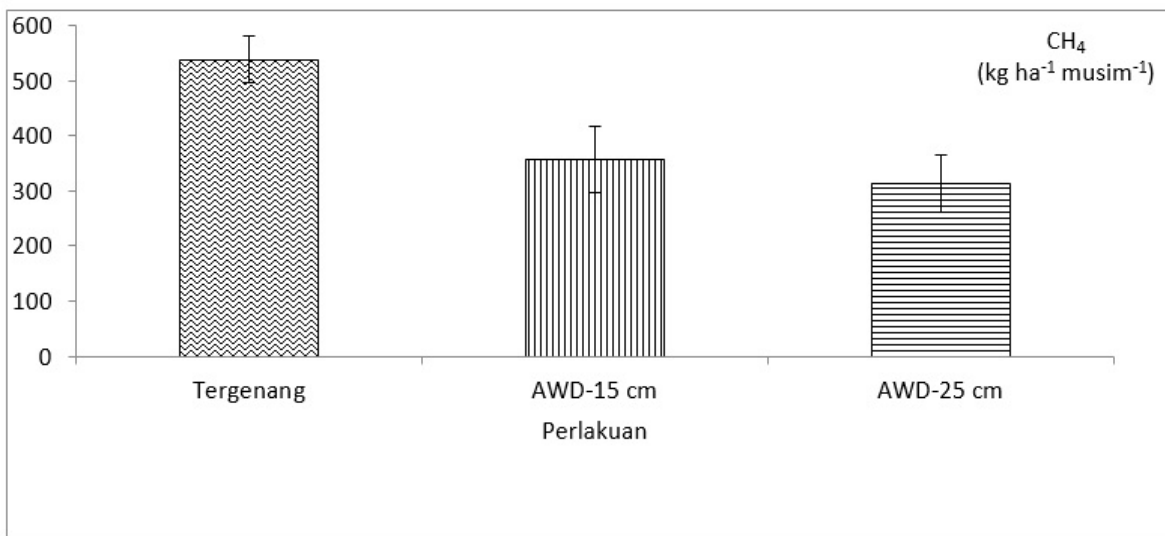


Gambar 3. Tinggi air permukaan pada berbagai perlakuan air selama 4 musim tanam
Sumber data: [17]

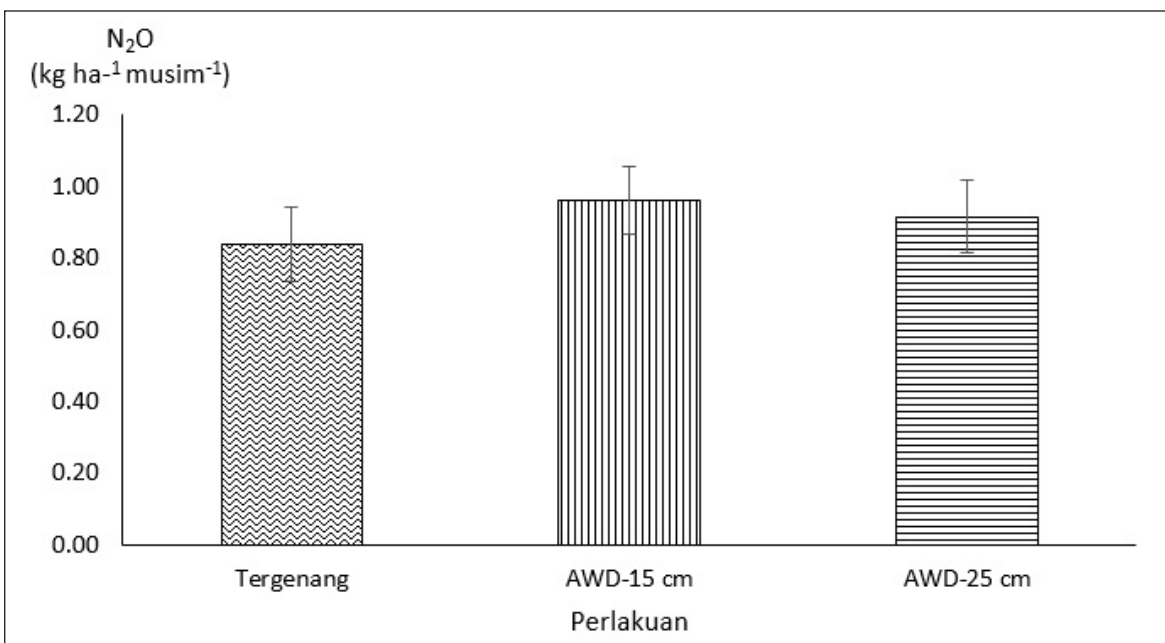
Tabel 1. Jumlah hari kering dan penurunan emisi CH_4 pada berbagai perlakuan air selama 4 musim tanam

Parameter	MH 2014			MK 2015			MH 2015			MK 2016		
	CF	AWD-15 cm	AWD-25 cm	CF	AWD-15 cm	AWD-25 cm	CF	AWD-15 cm	AWD-25 cm	CF	AWD-15 cm	AWD-25 cm
Jumlah hari kering (tinggi air permukaan < 0 cm)	0	38	44	0	41	38	0	25	27	0	29	24
Air yang ditambahkan (ton ha ⁻¹)	2360	2210	2134	2882	2819	2867	4076	2606	2366	2182	1234	1054
% penurunan emisi CH_4		46	63		30	45		23	21		35	38

Sumber data: penelitian primer



Gambar 4. Rata-rata emisi CH₄ pada berbagai perlakuan air selama 4 musim tanam
 Sumber data: penelitian primer



Gambar 5. Rata-rata Emisi N₂O pada berbagai perlakuan air selama 4 musim tanam
 Sumber data: penelitian primer

tergenang. Rata-rata emisi CH₄ selama 4 musim tanam dapat dilihat pada Gambar 4. Perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm menurunkan emisi CH₄ sebesar 34 % dan 42 % dibandingkan kondisi tergenang secara terus-menerus. Rata-rata emisi CH₄ tertinggi terdapat pada perlakuan tergenang yaitu sebesar 538,9 kg ha⁻¹ musim⁻¹, sedangkan perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm masing-masing sebesar 356 kg ha⁻¹ musim⁻¹

dan 313 kg ha⁻¹ musim⁻¹. Hal ini berarti bahwa pengaturan air irigasi pada lahan sawah sangat mempengaruhi emisi CH₄. Dengan adanya periode kering pada fase anakan aktif dan sebelum fase primordia, kondisi oksidatif di sekitar perakaran menyebabkan pembentukan CH₄ relatif sedikit dibandingkan pada kondisi reduktif [18]. Pada kondisi tergenang emisi gas CH₄ lebih tinggi daripada kondisi kering. Hal ini disebabkan kondisi

tergenang merupakan kondisi yang ideal untuk mikroorganisme pembentuk CH_4 (metanogen) dalam melakukan aktivitas metabolismenya untuk menghasilkan gas CH_4 . Pembentukan CH_4 didalam tanah merupakan proses mikrobiologi yang dikendalikan oleh beberapa faktor fisika dan biokimia, dan potensial redoks merupakan faktor kuncinya. Kondisi tergenang akan menurunkan potensial redoks dan menyediakan lingkungan yang cocok bagi pertumbuhan metanogen. Perubahan dalam struktur komunitas dan aktivitas metabolik metanogen berpengaruh terhadap emisi CH_4 pada kondisi yang lebih oksidatif dengan teknik AWD [19].

Penggenangan sawah secara terus-menerus biasa dilakukan oleh petani. Padahal tanaman padi tidak selamanya membutuhkan air pada kondisi tergenang selama proses pertumbuhannya. Upaya menekan besarnya emisi gas CH_4 dari sistem pengairan selain dapat menurunkan emisi gas CH_4 juga dapat menghemat penggunaan air yang berlebihan. Hasil perhitungan rata-rata emisi N_2O menunjukkan bahwa ketiga perlakuan mengemisi N_2O yang hampir sama, hal ini berdasarkan baik dari pola fluks maupun besarnya emisi [17]. Perlakuan tergenang memberikan nilai emisi N_2O sebesar $0,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$, sedangkan perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm masing-masing sebesar $1,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ dan $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ (Gambar 5). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada lahan sawah terjadi *trade off* antara emisi CH_4 dan N_2O .

Gas N_2O dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi [20] dan dipengaruhi oleh pH, kelembaban tanah, dan ketersediaan

substrat karbon dan nitrogen [21]. Kedua proses nitrifikasi dan denitrifikasi dapat terjadi secara bersamaan dalam tanah secara *aerobik* dan *anaerobik* dengan kadar air tanah antara 60-80% ruang pori terisi air (*water-filled pore space/WFPS*), dan denitrifikasi meningkat ketika WFPS melebihi 80% [19]. Emisi N_2O dapat dirangsang oleh aplikasi pupuk N dan amandemen tanah organik [22-23]. Dekomposisi bahan organik menghasilkan senyawa C yang labil [24] yang meningkatkan denitrifikasi dalam tanah dan menghasilkan gas N_2O [25]. Hasil studi menunjukkan bahwa pada *aerobik*, teknik AWD dan pengeringan di tengah musim dapat menyebabkan kenaikan emisi N_2O [26], namun penurunan GWP lebih besar karena adanya penurunan CH_4 yang cukup signifikan dibandingkan dengan pengairan tergenang dalam penelitian ini

Hasil Gabah dan Indeks Emisi GRK

Rata-rata hasil GKG tertinggi selama 4 musim diperoleh dengan pengairan AWD-15 cm yaitu sebesar $5,90 \text{ ton ha}^{-1}$, diikuti oleh pengairan tergenang dan AWD-25 cm masing-masing sebesar $5,87 \text{ ton ha}^{-1}$ dan $5,73 \text{ ton ha}^{-1}$, namun tidak berbeda nyata (Tabel 2). Ketiga perlakuan memberikan komponen hasil (jumlah malai per rumpun, jumlah gabah isi, jumlah gabah per malai, berat 1000 butir) dan penampilan tanaman yang hampir seragam (tinggi tanaman dan jumlah anakan) [17]. Meskipun penelitian AWD telah banyak dilakukan secara intensif dan diadopsi oleh petani di beberapa negara, namun pengaruhnya terhadap hasil padi masih cukup beragam. Di India dan Filipina, pengujian AWD seringkali menurunkan hasil dibandingkan dengan perlakuan tergenang [27-28].

Hasil perhitungan GWP menunjukkan bahwa perlakuan pengairan tergenang menghasilkan potensi pemanasan global (GWP) tertinggi yaitu sebesar 13.709 kg ha⁻¹, diikuti oleh perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm masing-masing sebesar 9.192 kg ha⁻¹ dan 8.106 kg ha⁻¹ (Tabel 2). Penurunan GWP dengan perlakuan AWD-15 cm sebesar 33%, sedangkan perlakuan AWD-25 cm menurunkan GWP sebesar 41% dibandingkan dengan perlakuan pengairan tergenang. Indeks emisi menunjukkan besar ton emisi gas rumah kaca yang dilepaskan dalam menghasilkan 1 ton gabah. Indeks emisi terendah dicapai dengan perlakuan AWD-15 cm, diikuti perlakuan AWD-25 cm dan paling tinggi terdapat pada perlakuan tergenang. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan AWD-15 cm paling rendah dalam mengemisikan GRK namun tertinggi perolehan hasil gabahnya. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh teknik AWD yang dikombinasikan dengan pengelolaan pupuk terhadap penurunan emisi CH₄ dan N₂O secara simultan perlu dilakukan untuk mewujudkan pertanian yang ramah lingkungan di Indonesia.

SIMPULAN

Perlakuan AWD dapat menghemat air irigasi dan menurunkan emisi gas rumah kaca

tanpa mengurangi hasil padi di lahan sawah. Perlakuan AWD-15 cm dan AWD-25 cm secara signifikan menurunkan emisi CH₄ namun meningkatkan emisi N₂O dibandingkan dengan perlakuan tergenang. Perlakuan AWD-25 cm signifikan menurunkan emisi CH₄ terbesar namun tidak signifikan menurunkan hasil GKG. Hasil gabah tertinggi diperoleh dengan perlakuan AWD-15 cm yaitu sebesar 5,90 ton GKG ha⁻¹ dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan tergenang dan AWD-25 cm. Perlakuan AWD-15 cm merupakan teknik yang aman untuk menurunkan emisi GRK dari lahan sawah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan melalui proyek penelitian internasional “Technology development for circulatory food production systems responsive to climate change: Development of mitigation option for greenhouse gas emissions from agricultural lands in Asia (MIRSA-2)”. Terima kasih disampaikan kepada tim peneliti dan teknisi (Titi Sopiawati, Sri Wahyuni, dan Yono) Laboratorium Gas Rumah Kaca, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian atas bantuannya baik di lapangan maupun laboratorium.

Tabel 2. GWP pada berbagai perlakuan pengaturan air selama 4 musim tanam

Perlakuan	CH ₄	N ₂ O	GWP (CO ₂ -e) kg/ha	Hasil GKG	Indeks Emisi
CF	538a	0,8b	13.709a	5.866a	2,34
AWD-15 cm	356b	1,0a	9.192b	5.901a	1,56
AWD-25 cm	313b	0,9a	8.106b	5.731a	1,41

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%. - Sumber data: penelitian primer

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Fujihara Y, Tanaka K, Watanabe T. 2008. Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. *J. Hydrol.* 353:33–48.
- (2) Tuong, TP and Bouman, BAM. 2003. Rice production in water-scarce environments. In: Kijne, J.W., Barker, R. and Molden, D., Ed., *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CABI Publishing, Wallingford, 53-67.
- (3) Snyder CS, Bruulsema TW, Jensen TL, Fixen PE. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133:247-266
- (4) Flessa H, Ruser R, Dorsch P, Kampb T, Jimenez MA, Munch JC, Beese F, 2002. Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 91:175-189.
- (5) Jayadeva HM, Prabhakara Setty TK, Gowda RC, Devendra R, Mallikarjun GB, Bandi AG. 2009. Methane emission as influenced by different crop establishment techniques and organic manures. – *Agricultural Science Digest* 29(4): 241-245.
- (6) Richards M and Sander BO. 2014. Alternate wetting and drying in irrigated rice. *Climate-Smart Agriculture Practice Brief*. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- (7) Itoh M, Sudo S, Mori S, Saito H, Yoshida T, Shiratori Y, Suga S, Yoshikawa N, Suzue Y, Mizukami H, Mochida T, Yagi K. 2011. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agr Ecosyst Environ.* 141:359–372.
- (8) Towprayoon S, Smakgahn K, Poonkaew S. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. *Chemosphere.* 59: 1547–1556.
- (9) FAO (Food and Agriculture Organization). 2010. *Climate-Smart Agriculture: Policies, Practice and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation*. FAO, Rome.
- (10) Rejesus R M, Palis F G, Rodriguez D G P, Lampayan R M, Bas A M, Bouman B A M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy.* 36: 280–288.
- (11) Price A H, Norton G J, Salt D E, Ebenhoeh O, Meharg AA, Meharg C, Islam M R, Sarma R N, Dasgupta T, Ismail A M, Mc Nally K L, Zhang H, Dodd I C, Davies W J. 2013. Alternate wetting and drying irrigation for rice in Bangladesh: Is it sustainable and has plant breeding something to offer? *Food Energ Secur.* 2: 120–129.
- (12) Linquist BA, Anders MM, Adviento-Borbe MAA, Chaney RL, Nalley LL, da Rosa EFF, van Kessel C 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Glob Change Biol.*, 21, 407–417. doi:10.1111/gcb.12701

- (13) Lagomarsino A, Agnelli A E, Linqvist B, Adviento-Borbe M A, Agnelli A, Gavina G, Ravaglia S, Ferrara R M. 2016. Alternate wetting and drying of rice reduced CH₄ emissions but triggered N₂O peaks in a clayey soil of central Italy. *Pedosphere*.26(4): 533–548.
- (14) IAEA (International Atomic Energy Agency). 1993. Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agricultural, Vienna, Austria.
- (15) Liang K, Zhong X, Huang N, Lampayan RB, Pan J, Tian K, Liu Y. 2016. Grain yield, water productivity and CH₄ emission on irrigated rice in response to water management in South China. *Agric. Water Manage.*, 163, 319-331.
- (16) Hoekstra AY. 2008. The water footprint of food. In: Fbrare, J (ed.) *Water for Food. The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (Formas)*. Stockholm. <http://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>
- (17) Setyanto P, A Pramono, TA Adriany, HL Susilawati, T Tokida, AT Padre, K Minamikawa. 2017. Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss. *Soil Science and Plant Nutrition Jurnal*. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1409600>
- (18) Pramono A, Jumari dan TA Adriany. 2017. Hasil padi, emisi gas rumah kaca dan produktivitas air dari perlakuan pengelolaan air di lahan sawah. *Prosiding Seminar Nasional 30 Maret 2017*. PS Peternakan Faperta UNS. Surakarta. Hal 322-328.
- (19) Watanabe T, Hosen Y, Agbisit R, Lliorca L, Fujita D, Asakwa, S and Kimura M. 2010. Changes in community structure and transcriptional activity of methanogenic archaea in a paddy field soil brought about by a water-saving practice-estimation by PCR-DDGE and qPCR of 16S rDNA and 16S rRNA. In: *19th World Congress of Soil Science, Soil solutions for a changing world*, August 2010, Brisbane, Australia, pp. 1-6.
- (20) Davidson EA, Swank WT, Perry TO. 1986. Distinguishing between nitrification and denitrification sources of gaseous nitrogen-production in soil. *Appl. Environ Microbiol*. 52:1280–1286.
- (21) Law Y, Lant P, Yuan Z. 2011. The effect of pH on N₂O production under aerobic conditions in a partial nitrification system. *Water Res* 45:5934–5944.
- (22) Aulakh MS, Rennie DA, Paul EA. 1984. Gaseous nitrogen losses from soil under zero-till as compared with conventional-till management systems. *Environ. Qual*. 13:130–136.
- (23) Wang J, Pan X, Liu Y, Zhang X, Xiong Z. 2012. Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production. *Plant Soil* 360:287–298.
- (24) Chatterjee A, Vance GF, Pendall E, Stahl PD. 2008 Timber harvesting alters soil carbon mineralization and microbial community structure in coniferous forests. *Soil Biol Biochem* 40:1901–1907.
- (25) Perez CA, Carmona MR, Farina JM, Armesto JJ. 2010. Effects of nitrate and labile carbon on denitrification of southern temperate forest soils. *Chil J Agric Res* 70:251–258.

- (26) Johnson-Beebout SE, Angeles OR, Alberto MCR, Buresh RJ. 2009. Simultaneous minimization of nitrous oxide and methane emission from rice paddy soils is improbable due to redox potential changes with depth in a greenhouse experiment without plants. *Geoderma* 149, 45-53.
- (27) Mishra, HS, Rathore, TR, Pant, RC. 1990. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution, irrigation requirements and yield of rice in Mollisols of Tarai region. *Agric. Water Manag.* 18, 231–241.
- (28) Tabbal, DF, Bouman, BAM, Bhuiyan, SI, Sibayan, EB, Sattar, MA, 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agric. Water Manag.* 56 (2), 93–112.