

**POTENSI PEMANASAN GLOBAL DARI PADI SAWAH
SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION (SRI)
DENGAN BERBAGAI KETINGGIAN MUKA AIR TANAH**

*GLOBAL WARMING POTENTIAL
FROM SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION PADDY FIELDS
WITH VARIES WATER LEVELS*

Oleh:

Chusnul Arif¹⁾, Budi Indra Setiawan¹⁾, Deka Trisnardi Munarso¹⁾, Muhammad Didik Nugraha¹⁾, Paradha Wihandi Simarmata¹⁾, Ardiansyah²⁾, Masaru Mizoguchi³⁾

¹⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB, Bogor, Indonesia

²⁾Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia

³⁾Department of Global Agricultural Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Naskah ini diterima pada 22 November 2016; revisi pada 10 Januari 2017

Disetujui untuk dipublikasikan pada 21 April 2017

ABSTRACT

System of Rice Intensification (SRI) is known as alternative rice farming for the mitigation of greenhouse gas (GHG) emissions. There are two main gasses emitted from paddy fields, i.e., methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Both of these gases have different characteristics as response on water availability in the fields which is represented by groundwater levels. Global Warming Potential (GWP) is used as an index that allowed comparisons of the global warming impacts of different gases at specific time period to warm the earth and it is equivalent to the value of the potential of CO₂. This study aimed to analysis the global warming potential from different water regimes with SRI practices. Achieving the objective, rice cultivation with three water regimes was carried out during one planting season (14 April until 5 August 2016) in experimental plots of Department of Civil and Environmental Engineering IPB, Bogor, Java West. The regimes were continous flooding, moderate and dry regimes, respectively. The results showed that dry regime has the lowest global warming potential than those others regimes. Its potential was 34% and 41% lower than those for flooding and moderate regimes, respectively. In addition, dry regime produced more grain yield. Its productivity was 21% greater than that flooding regime. These results were obtained from specific climate and location. To corroborate the results, further research is needed under different weather conditions and multi-locations.

Keywords: *greenhouse gasses, global warming potential, SRI, water levels, water regime*

ABSTRAK

System of Rice Intensification (SRI) merupakan budidaya alternatif padi sawah untuk mitigasi Gas Rumah Kaca (GRK). Dua jenis GRK utama yang diemisikan dari padi sawah adalah gas metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Gas tersebut memiliki respon berbeda terhadap keragaman ketersediaan air di lahan yang direpresentasikan dengan tinggi muka air tanah. Global Warming Potential (GWP) atau potensi pemanasan global digunakan untuk membandingkan potensi GRK dalam memanaskan bumi pada periode tertentu, dan disetarakan dengan nilai potensi gas CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan potensi pemanasan global pada berbagai rezim air dengan ketinggian muka air yang berbeda di lahan sawah yang menerapkan SRI. Penelitian dilakukan pada budidaya padi sawah dengan tiga perlakuan rezim air selama satu musim tanam (14 April hingga 5 Agustus 2016) di plot percobaan laboratorium lapang Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, Bogor, Jawa Barat. Ketiga perlakuan rezim air tersebut adalah rezim tergenang, moderate dan kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rezim air kering menghasilkan potensi pemanasan global terendah dibandingkan kedua rezim yang lain. Nilai potensi pemanasan global yang dihasilkan adalah 34% dan 41% lebih rendah dibandingkan rezim air tergenang dan moderate. Rezim kering mampu meningkatkan produktivitas tanaman 21% lebih besar dibandingkan rezim air tergenang. Untuk memperkuat hasil yang diperoleh ini, maka penelitian lanjutan diperlukan dengan kondisi cuaca yang berbeda dan lokasi yang beragam.

Kata kunci: *gas rumah kaca, potensi pemanasan global, SRI, tinggi muka air tanah, rezim air*

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang terjadi saat ini sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat di berbagai sektor. Indikasi perubahan iklim adalah kejadian El-Nino dan La-Nina yang berulang ditandai dengan pergeseran musim. El-Nino menyebabkan musim kemarau terjadi lebih panjang dengan peningkatan suhu rata-rata yang mengakibatkan kekeringan dan musim basah yang lebih pendek tetapi dengan intensitas hujan yang lebih tinggi yang berakibat banjir di berbagai daerah sebagai akibat dari dampak La-Nina.

Perubahan iklim tersebut disebabkan oleh pemanasan global yang dipicu oleh peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Peningkatan GRK terjadi akibat aktivitas manusia diberbagai sektor seperti industri, transportasi, pertambangan, dan pertanian. Di sektor pertanian, GRK antara lain dilepaskan dari lahan padi sawah. Lahan padi sawah merupakan sumber emisi karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) (Setyanto, 2008). Akan tetapi, karena gas CO₂ digunakan kembali oleh tanaman untuk proses fotosintesis, maka hanya dua GRK yang menjadi perhatian.

Besarnya emisi yang dilepaskan, baik gas CH₄ dan N₂O, sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah sistem irigasi, jenis varietas padi, dan penggunaan pupuk (Cai, Xing, Yan, Xu, Tsuruta, Yagi, & Minami, 1997; Setyanto, Makarim, Fagi, Wassman, & Buendia, 2000; Setyanto, Rosenani, Boer, Fauziah, & Khanif, 2004; Setyanto & Bakar, 2005). Sistem irigasi yang digunakan akan mempengaruhi parameter lingkungan biofisik dalam tanah yang berakibat terhadap perubahan aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Kondisi tersebut akan mempengaruhi besarnya GRK yang akan dilepaskan ke atmosfer.

System of Rice Intensification (SRI) merupakan salah satu alternatif strategi mitigasi GRK dari lahan sawah. Beberapa penelitian terakhir menunjukkan, bahwa SRI mampu menurunkan emisi GRK antara 21-28% (Ly, Jensen, Bruun, & de Neegaard, 2013; Jain, Dubey, Dubey, Singh, Khanna, Pathak, & Bhatia, 2014). Karakteristik emisi dari gas CH₄ berbeda dengan N₂O. Emisi gas CH₄ meningkat nyata pada kondisi lahan tergenang atau dalam kondisi anaerob, sebaliknya emisi gas N₂O meningkat ketika lahan dikeringkan. Hal ini terjadi juga pada budidaya SRI, ketika irigasi *intermittent* (berselang) diterapkan mampu menurunkan emisi gas CH₄ sebesar 32% (Rajkishore, Doraisamy, Subramanian & Maheswari, 2013), dan sebaliknya meningkatkan emisi gas N₂O sebesar 1,5% (Dill, Deichert, & Thu, 2013).

Oleh sebab itu, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menggunakan istilah *Global Warming Potential* (GWP) untuk melihat potensi pemanasan global dari masing-masing GRK termasuk gas CH₄ dan N₂O. GWP merupakan indeks yang membandingkan potensi GRK dalam memanaskan bumi pada periode waktu tertentu yang disetarakan dengan nilai potensi gas CO₂. Gas CH₄ dan N₂O berturut-turut memiliki potensi 25 dan 298 kali lebih besar dibandingkan CO₂ untuk periode waktu 100 tahun (IPCC, 2007).

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membandingkan potensi pemanasan global yang dihasilkan dari berbagai rezim air dengan ketinggian muka air yang berbeda pada lahan sawah SRI. Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah 1) menganalisis pengaruh tinggi muka air terhadap produksi tanaman, 2) menganalisis pengaruh tinggi muka air terhadap emisi gas CH₄ dan N₂O, dan 3) mengukur potensi pemanasan global yang dihasilkan pada setiap rezim air.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *System of Rice Intensification* (SRI)

SRI merupakan budidaya alternatif padi sawah yang memiliki seperangkat cara yang berbeda dengan sistem konvensional baik pada manajemen tanaman, tanah, air, dan pupuk/nutrisi. Sejak diperkenalkan tahun 1980-an di Madagaskar sampai saat ini SRI telah berkembang di lebih 52 negara termasuk Indonesia.

Beberapa kelebihan SRI yang dilaporkan dari beberapa hasil penelitian antara lain: peningkatan produktivitas lahan (Sinha & Talati, 2007; Sato, Yamaji, & Kuroda 2011), peningkatan efisiensi penggunaan air (Hidayah, Agustina, Joubert & Soekrasno, 2010; Arif, Setiawan, Widodo, Rudiyanto, Hasanah, & Mizoguchi, 2015), dan penurunan emisi gas rumah kaca (Ly *et al.*, 2013; Jain *et al.*, 2014). Meskipun demikian, tidak mudah mengaplikasikan SRI di lapangan tanpa pengetahuan yang memadai. Dengan menerapkan irigasi *intermittent* (berselang), memungkinkan gulma tumbuh lebih cepat dibandingkan sistem konvensional, sehingga perlu penanganan yang baik karena dapat menurunkan produktivitas tanaman (Sheehy, Peng, Dobermann, Mitchell, Ferrer, Yang, Zou, Zhong, & Huang, 2004).

Secara umum, terdapat 6 komponen prinsip budidaya SRI yang membedakan dengan budidaya sistem konvensional maupun sistem lainnya (Uphoff, Kassam, & Harwood, 2011). Keenam prinsip tersebut adalah tanam bibit muda dengan usia bibit antara 7-14 hari ketika bibit memiliki 2-3 helai daun, tanam satu bibit satu lubang dengan

jarak tanam lebih lebar, tanam bibit sesegera mungkin dan berhati-hati, menerapkan irigasi berselang tanpa penggenangan terus menerus, penyiangan secara regular setiap 10 hari sekali sebanyak 3-4 kali dan sedapat mungkin menggunakan pupuk kompos untuk memperkaya bahan organik di dalam tanah.

Untuk strategi mitigasi GRK, SRI secara signifikan mampu mereduksi emisi gas CH₄ (Rajkishore *et al.*, 2013). Penurunan tersebut disebabkan oleh pengurangan penggunaan air irigasi melalui irigasi berselang tanpa penggenangan terus menerus. Namun sebaliknya, cara tersebut justru meningkatkan emisi gas N₂O (Dill *et al.*, 2013).

2.2. Emisi Gas Metana (CH₄) dari Padi Sawah

Gas metana (CH₄) merupakan salah satu GRK yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Tingkat efek yang dihasilkan untuk periode waktu 20, 100, dan 500 tahun berturut-turut adalah 72, 25, dan 7,6 lebih besar dibandingkan gas CO₂ (IPCC, 2007). Konsentrasi gas CH₄ di atmosfer naik sebesar 150% dari tahun 1750 sampai 2011 (IPCC, 2013). Salah satu penyumbang terbesar emisi gas CH₄ adalah padi sawah.

Gas CH₄ dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dimana jumlah oksigen terbatas. Jumlah gas CH₄ yang diemisikan ke atmosfer sangat dipengaruhi oleh aktivitas bakteri metanogenik, yaitu mikroorganisme anaerobik yang mampu mereduksi CO₂ menjadi CH₄ (Setyanto, 2008). Semakin berkurang oksidan dalam tanah tergenang, semakin banyak, dan cepat gas CH₄ terbentuk. Oleh sebab itu, untuk menekan terbentuknya gas CH₄ dalam tanah, maka kandungan oksigen dalam tanah harus tetap terjaga, agar oksidan-oksidan tersebut juga terjaga dalam tanah. Terdapat bakteri metanotropik yang mampu menghambat pembentukan gas CH₄ dalam tanah ketika oksigen tersedia cukup untuk aktivitasnya.

Oleh sebab itu, peran sistem irigasi sangat penting dalam upaya mereduksi pembentukan gas CH₄ dalam tanah. SRI memungkinkan lahan tidak selalu tergenang selama pertumbuhan tanaman mampu menurunkan emisi gas CH₄ sebesar 32% (Rajkishore *et al.*, 2013).

2.3. Emisi Gas Dinitrogen Oksida (N₂O) dari Padi Sawah

Gas dinitrogen oksida (N₂O) juga merupakan salah satu GRK yang memicu terjadinya efek rumah kaca. Menurut IPCC (2007), potensi pemanasan global yang dihasilkan dari gas N₂O pada periode 20, 100, dan 500 tahun adalah berturut-turut

sebesar 289, 298, dan 153 lebih besar dibandingkan gas CO₂.

Gas N₂O terbentuk dalam tanah dari dua proses mikrobiologi, yaitu denitrifikasi dan nitrifikasi (Setyanto, 2008). Pada proses denitrifikasi (bagian akhir dari siklus N), gas N₂O terbentuk sebagai hasil samping proses tersebut ketika nitrat (NO₃⁻) terurai oleh mikroorganisme pada kondisi anaerobik. Oleh sebab itu, kondisi tanah anaerobik dapat menstimulasi terbentuknya gas N₂O dan CH₄.

Gas N₂O juga dihasilkan dari proses nitrifikasi yang mengubah ammonium (NH₄⁺) menjadi nitrat pada lingkungan aerobik. Selain itu, laju dekomposisi bahan organik tanah pada kondisi aerob umumnya berlangsung lebih cepat sehingga jumlah NO₃⁻ berkurang dan kebutuhan akseptor elektron meningkat selama mineralisasi intensif yang menyebabkan reduksi NO₃⁻ menjadi gas N₂O (Gardini, Antisari, Guerzoni, & Sequi, 1991). Oleh sebab itu, gas N₂O yang dilepaskan dari tanah sawah kemungkinan kecil ketika tanah sawah tergenang, sebaliknya gas N₂O mencapai puncak ketika tidak ada genangan di sawah (Snyder, Bruulsema, & Jensen, 2007).

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian dan Desain Percobaan

Penelitian ini dilaksanakan selama 1 musim tanam, dari tanggal 14 April 2016 (tanam), sampai 5 Agustus 2016 (panen) di plot percobaan laboratorium lapang Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, Bogor Jawa Barat.

Pada percobaan ini, didesain 3 perlakuan rezim air dengan dua pengulangan dengan 6 plot percobaan dimana masing-masing plot berukuran 2 x 2 m². Pengulangan dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman pada masing-masing rezim air. Adapun budidaya SRI yang dilakukan terdiri dari beberapa komponen, yaitu umur benih muda dengan varietas padi Pertiwi (10 hari), dengan tanam dangkal dan jarak tanam 30 x 30 cm², tanam dilakukan sesegera mungkin untuk menghindari *stress* pada tanaman, penyiangan dilakukan secara rutin. Tanah yang digunakan terdiri dari campuran tanah liat (yang ada di lokasi penelitian), pasir dan kompos dengan komposisi perbandingan berturut-turut 1:1:1.

Pertumbuhan tanaman diamati seminggu sekali mulai 7 hari setelah tanam (HST). Parameter pertumbuhan tanaman terdiri dari tinggi tanaman (cm), jumlah anakan/rumpun, dan jumlah malai/rumpun. Produksi padi yang dihasilkan

dihitung dengan sistem ubinan (ton/ha) dengan kondisi kering panen (GKP).

3.2. Perlakuan Sistem Irigasi

Untuk sistem irigasi yang digunakan didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya (Arif *et al.*, 2014). Kelembaban tanah yang optimal untuk budidaya SRI pada awal pertumbuhan adalah jenuh, dengan tinggi muka air pada umur 0-20 HST adalah 1-2 cm di atas permukaan tanah. Setelah itu, perlakuan rezim air dibedakan menjadi 3, yaitu rezim tergenang (FL), *moderate* (MD), dan kering (DR) seperti pada Gambar 1.

Pada perlakuan FL, tinggi muka air selalu dijaga dengan ketinggian 1-2 cm di atas permukaan tanah sampai tanaman berumur 70 HST, kemudian diturunkan sampai tinggi muka air di permukaan tanah. Untuk perlakuan MD, tinggi muka air selalu dijaga berada di permukaan tanah sampai panen. Sedangkan untuk perlakuan DR, pada umur 20-30 HST, tinggi muka air dijaga pada permukaan tanah, dan kemudian sampai panen diturunkan sampai 5 cm di bawah permukaan tanah (Gambar 1).

Meskipun perlakuan difokuskan pada penggunaan air, tetapi pembahasan hanya dibatasi pada emisi gas rumah kaca yang dihasilkan yang berimplikasi pada potensi pemanasan global yang terjadi. Selain itu, produktivitas lahan juga dibahas sebagai respon dari perlakuan irigasi.

3.3. Pengukuran Parameter Lingkungan dan Emisi GRK

Beberapa parameter lingkungan seperti radiasi matahari, hujan, suhu dan kelembaban udara, kelembaban tanah, suhu tanah, daya hantar listrik tanah, dan tinggi muka air tanah diukur secara kontinu dengan menggunakan sensor dan data logger. Sedangkan parameter lingkungan berupa pH tanah, redoks potensial tanah, gas CH₄ dan N₂O diukur secara manual setiap seminggu sekali (Gambar 2).

Data radiasi matahari dan suhu udara digunakan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi potensial model *Hargreaves* dengan persamaan berikut ini (Wu, 1997; Chapagain & Yamaji, 2010):

$$ET_p = 0,0135 (T_{mean} + 17,78)R_s \frac{2388}{595,5 + 0,55T_{mean}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- ET_p = evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- T_{mean} = suhu udara rata-rata (°C)
- R_s = radiasi matahari (MJ/m²/hari)

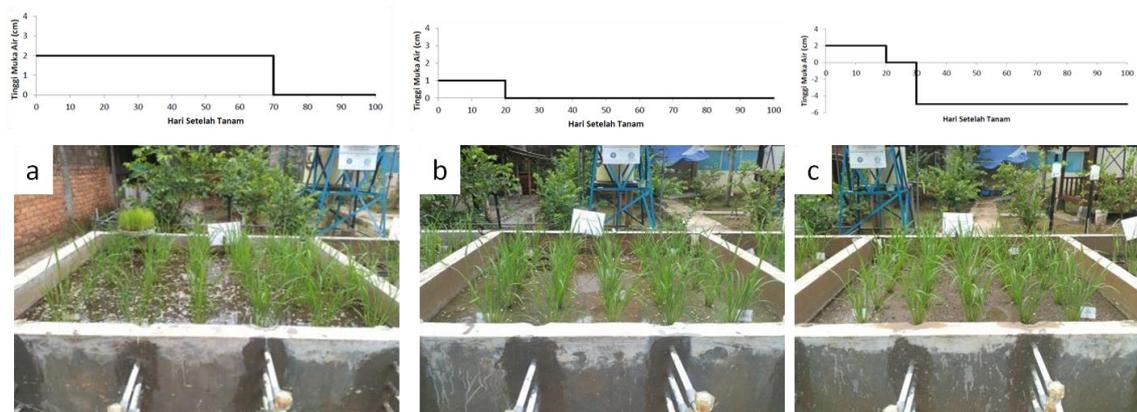
Untuk pengukuran emisi gas CH₄ dan N₂O, sampel gas diambil dari *chamber* tertutup dengan ukuran panjang x lebar x tinggi sebesar 30 x 30 x 120 cm³ dan dilengkapi dengan kipas angin di dalamnya untuk menyeragamkan aliran udara dalam *chamber*. Pengambilan sampel dilakukan di siang hari pada pukul 12.00 ketika suhu udara mencapai nilai tertinggi hariannya. Ketika pengambilan sampel gas, *chamber* tersebut diletakkan pada *chamber base* yang di tengahnya terdapat satu rumpun tanaman padi.

Pengambilan gas dilakukan sebanyak 4 kali dengan interval waktu 10 menit. Sampel gas dianalisis konsentrasinya dengan menggunakan khromatografi gas di Laboratorium Gas Rumah Kaca milik Balai Penelitian Lingkungan Pertanian di Jakenan Pati Jawa Tengah. Nilai fluks dari gas tersebut ditentukan berdasarkan laju perubahan konsentrasi gas per satuan waktu dengan persamaan berikut ini (IAEA, 1993):

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

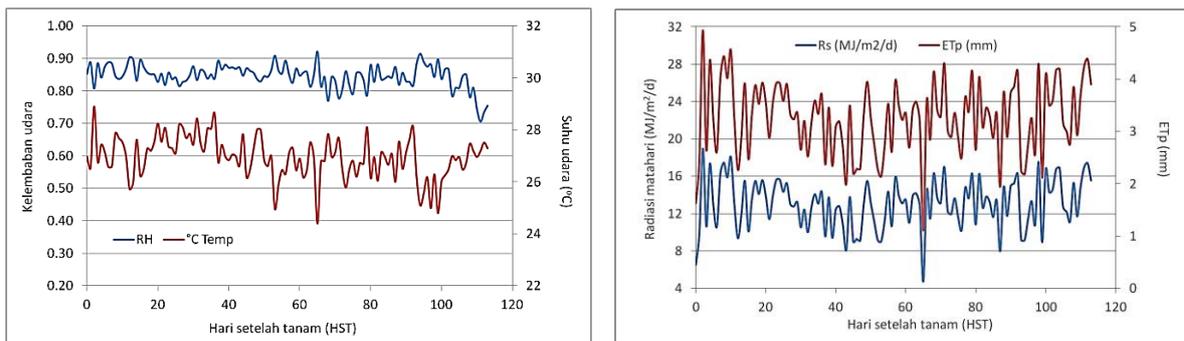
- E = fluks GRK CH₄/N₂O (mg/m²/menit)
- $\frac{\delta C}{\delta t}$ = perbedaan konsentrasi gas per waktu
- V = volume chamber box (m³)
- A = luas chamber box (m²)
- mW = berat molekul GRK
- mV = volume molekul GRK
- T = suhu dalam chamber (°C)



Gambar 1 Plot Percobaan untuk Tiga Rezim Air: a) Tergenang (FL), b) Moderate (MD), dan c) Kering (DR)



Gambar 2 Peralatan Pengukuran Parameter Lingkungan: a) Alat Ukur Cuaca, b) Pengambilan Sampel GRK



Gambar 3 Kelembaban Udara dan Radiasi Matahari Selama Satu Musim Tanam

Kemudian total fluks dalam satu musim tanam dihitung dengan mengintegrasikan nilai fluks tersebut. Persamaan integral mengacu metode numerik model Simpson (Arif, Toriyama, Nugroho, & Mizoguchi, 2015).

Adapun GWP dihitung untuk periode waktu 100 tahun dengan persamaan berikut ini (IPCC, 2007):

$$GWP = 25CH_4 + 298N_2O \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

GWP= *Global Warming Potential*

CH₄ = total fluks gas metana dalam satu musim tanam (kg/ha/musim).

N₂O = total fluks dinitrogen oksida dalam satu musim tanam (kg/ha/musim)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Cuaca Selama Satu Musim Tanam

Gambar 3 menunjukkan perubahan dinamis kelembaban udara, suhu udara, radiasi matahari, dan evapotranspirasi potensial yang terjadi dalam satu musim tanam. Suhu udara dan kelembaban udara berfluktuatif dan memiliki *trend* yang berbanding terbalik. Nilai suhu udara rata-rata berkisar antara 24,39–28,90°C, sedangkan kelembaban udara berkisar antara 0,71–0,92 (atau sekitar 71–92%). Suhu udara terendah

terjadi pada 65 HST (tanggal 18 Juni 2016) sebesar 24,39°C. Pada hari tersebut, kelembaban udara mencapai nilai tertinggi sebesar 0,92 (92%) yang berarti kandungan uap air mencapai puncak ketika suhu udara minimum. Begitu juga sebaliknya, ketika suhu udara meningkat, kelembaban udara memiliki kecenderungan menurun sebagaimana terlihat pada Gambar 3 tersebut.

Hal yang sama juga terjadi pada radiasi matahari dan evapotranspirasi potensial. Kedua parameter tersebut berfluktuasi dan memiliki kecenderungan yang hampir sama (Gambar 3b). Nilai radiasi matahari selama satu musim tanam berkisar antara 4,7 – 19,0 MJ/m²/hari, sedangkan nilai evapotranspirasi potensial berkisar antara 1,10–4,93 mm/hari. Nilai evapotranspirasi potensial terkecil terjadi ketika radiasi matahari dan suhu udara mencapai nilai terendah pada tanggal 18 Juni 2016. Hal ini menandakan bahwa pada hari tersebut radiasi matahari tertutup oleh awan hampir seharian dan terjadi hari hujan sebesar 72,8 mm dengan intensitas yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa evapotranspirasi sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari. Hupet & Vanclooster (2001) menyebutkan bahwa radiasi matahari merupakan parameter yang paling sensitif mempengaruhi evapotranspirasi.

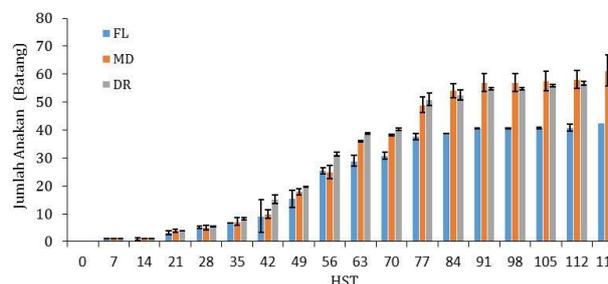
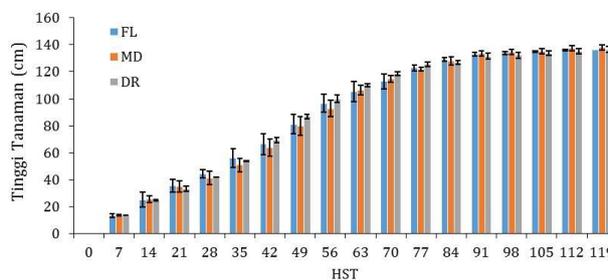
4.2. Pertumbuhan Tanaman pada Rezim Air Berbeda

Pertumbuhan tanaman pada setiap rezim air dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa tinggi tanaman untuk masing-masing rezim air tidak berbeda nyata. Rata-rata tinggi tanaman diakhir periode budidaya pada perlakuan FL, MD, dan DR adalah berturut-turut 136,5 cm, 138,2 cm, 136,6 cm. Berbeda halnya dengan tinggi tanaman, jumlah anakan/rumpun pada perlakuan FL justru paling sedikit dibandingkan dengan perlakuan MD dan DR. Rata-rata jumlah anakan/rumpun pada perlakuan FL hanya 43, sedangkan pada MD dan DR berturut-turut adalah 58 dan 59. Jumlah anakan/rumpun yang sedikit bisa disebabkan oleh jumlah oksigen yang terbatas didalam tanah ketika lahan terus tergenang. Hal ini bisa berakibat pada rendahnya proses penyerapan nutrisi oleh tanaman. Sebaliknya pada perlakuan MD dan DR, oksigen tersedia cukup untuk proses penyerapan nutrisi oleh tanaman. Kecukupan jumlah oksigen ditandai dengan kondisi aerobik yang dihasilkan dari penerapan irigasi pada kedua rezim tersebut. Hal ini didukung oleh penelitian Barison (2003) yang menyatakan bahwa efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman meningkat melalui SRI dengan irigasi berselang yang direpresentasikan dengan penetrasi akar yang lebih dalam dibandingkan dengan sistem konvensional. Keunggulan SRI adalah dalam penetrasi akar ke dalam tanah, dengan irigasi berselang mampu membentuk akar yang lebih kuat dan tahan dari terpaan angin sehingga jumlah tanaman yang roboh lebih sedikit (Chapagain & Yamaji, 2010).

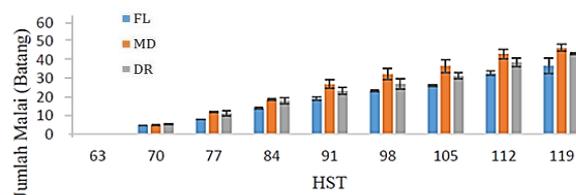
Tinggi rendahnya jumlah anakan/rumpun berimplikasi pada jumlah malai/rumpun seperti terlihat pada Gambar 5. Perlakuan FL juga menghasilkan jumlah malai/rumpun paling sedikit dibandingkan dengan perlakuan MD dan DR. Pada perlakuan FL, rata-rata jumlah malai/rumpun adalah sebanyak 37 menjelang dipanen, sedangkan pada perlakuan MD dan DR, jumlah malai/rumpun sebesar berturut-turut 47 dan 44.

Meskipun perlakuan MD memiliki jumlah anakan/rumpun dan malai/rumpun lebih banyak daripada DR, akan tetapi Gabah Kering Panen (GKP) yang dihasilkan lebih rendah daripada perlakuan MD meskipun perbedaannya tidak signifikan seperti terlihat pada Tabel 1. Perlakuan MD hanya menghasilkan biomassa tertinggi dibandingkan dengan perlakuan rezim air yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan DR lebih produktif dalam menghasilkan gabah

dibandingkan dengan perlakuan rezim air yang lain meskipun perbedaannya tidak signifikan dibandingkan perlakuan MD. Hasil ini cukup menarik mengingat perlakuan DR adalah perlakuan rezim air yang paling sedikit membutuhkan air irigasi dibandingkan dengan rezim air yang lain. Meskipun demikian mampu menghasilkan GKP yang paling tinggi dibandingkan dengan yang lain. Kemungkinan kunci utama pada rezim air ini adalah 30 awal setelah tanam dimana kondisi lahan adalah tergenang secara dangkal dan macak-macak. Pada kondisi ini, kondisi kelembaban tanah adalah jenuh atau basah yang sangat diperlukan tanaman di fase awal dan vegetatif untuk pembentukan akar, batang, dan daun (Arif, Setiawan, & Mizoguchi, 2014; Uphoff *et al.*, 2011). Fase awal ini sangat penting yang menentukan kondisi pada fase berikutnya. Apabila kondisi kering sudah terjadi pada awal fase pertumbuhan tanaman, maka tanaman akan stress dan kekurangan air untuk proses pembentukan akar, batang, dan daun.



Gambar 4 Tinggi Tanaman dan Jumlah Anakan pada Setiap Rezim Air



Gambar 5 Jumlah Malai/Rumpun pada Masing-masing Rezim Air

Tabel 1 Produktivitas Tanaman setiap Perlakuan

Parameter	Perlakuan		
	FL	MD	DR
GKP (ton/ha)	5,92 ± 0,36	7,42 ± 0,22	7,55 ± 0,64
Biomassa/Jerami (ton/ha)	30,47 ± 4,22	33,51 ± 3,49	30,84 ± 4,74
Panjang Akar (cm)	27	25	28

Setelah fase tersebut, tinggi muka air dapat diturunkan sampai maksimum kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah dengan asumsi kondisi kelembaban tanah pada kondisi agak basah (nilai pF antara 1,6 – 2,54). Tujuan utama adalah untuk menciptakan kondisi aerobik yang menyediakan oksigen cukup dan dapat menghindari serta mengurangi jumlah bulir yang tidak produktif khususnya pada waktu sekitar pembentukan bunga (Bouman, Peng, Castaneda, & Visperas, 2005). Kondisi ini akan memacu akar untuk melakukan penetrasi lebih dalam yang direpresentasikan dengan panjang akar tertinggi dibandingkan rezim air yang lain.

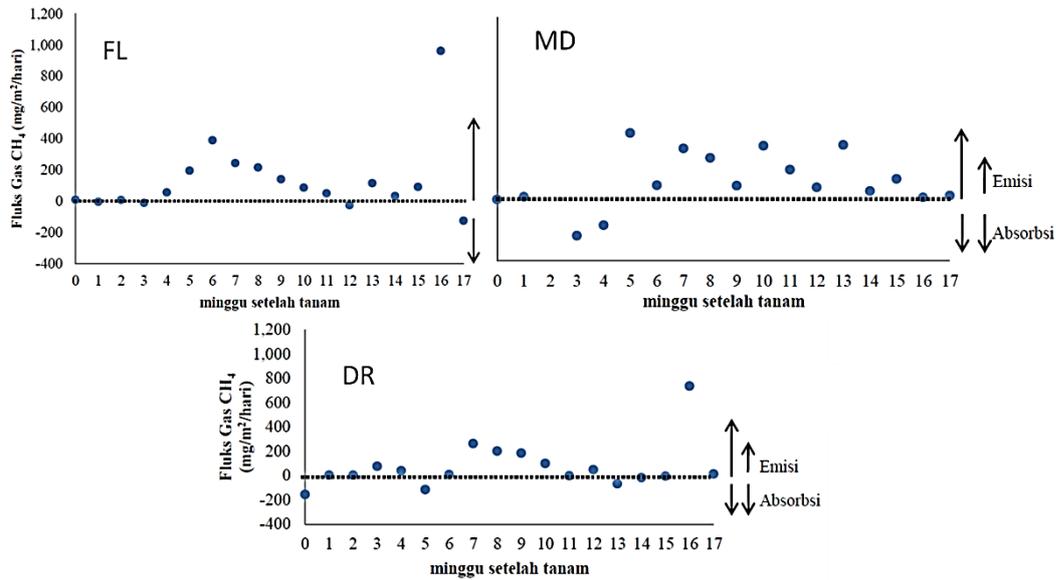
4.3. Potensi Pemanasan Global pada Setiap Rezim Air

Gambar 6 menunjukkan perubahan dinamika fluks gas CH₄ pada masing-masing rezim air. Fluks gas CH₄ cukup kecil pada minggu ke-1 sampai ke-4 bahkan untuk perlakuan MD dan DR bernilai negatif untuk beberapa minggu. Hal ini dimungkinkan karena pada tahap awal tahap pertumbuhan dimana akar belum tumbuh secara sempurna sehingga produksi eksudat akar masih rendah. Eksudat akar merupakan substrat bagi bakteri metanogenik dalam memproduksi gas CH₄ (Setyanto, 2008), sehingga apabila jumlah sedikit, maka gas CH₄ yang dihasilkan juga rendah. Peningkatan fluks gas CH₄ terjadi setelah minggu ke-4 khususnya pada perlakuan FL. Pada perlakuan MD, nilai fluks gas CH₄ sangat berfluktuatif mengalami peningkatan dan penurunan secara periodik setiap 1-3 minggu sekali. Sedangkan pada perlakuan DR, fluks gas CH₄ yang dihasilkan paling rendah dibandingkan kedua rezim yang lain. Tingginya fluks gas CH₄ yang bernilai positif pada perlakuan FL dan MD menandakan emisi gas CH₄ yang dilepaskan cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi lahan tergenang atau paling tidak jenuh selama beberapa minggu (minggu ke-5 sampai 12). Kondisi tergenang memungkinkan aktivitas bakteri metanogenik meningkat pada waktu tersebut sehingga emisi gas CH₄ juga meningkat.

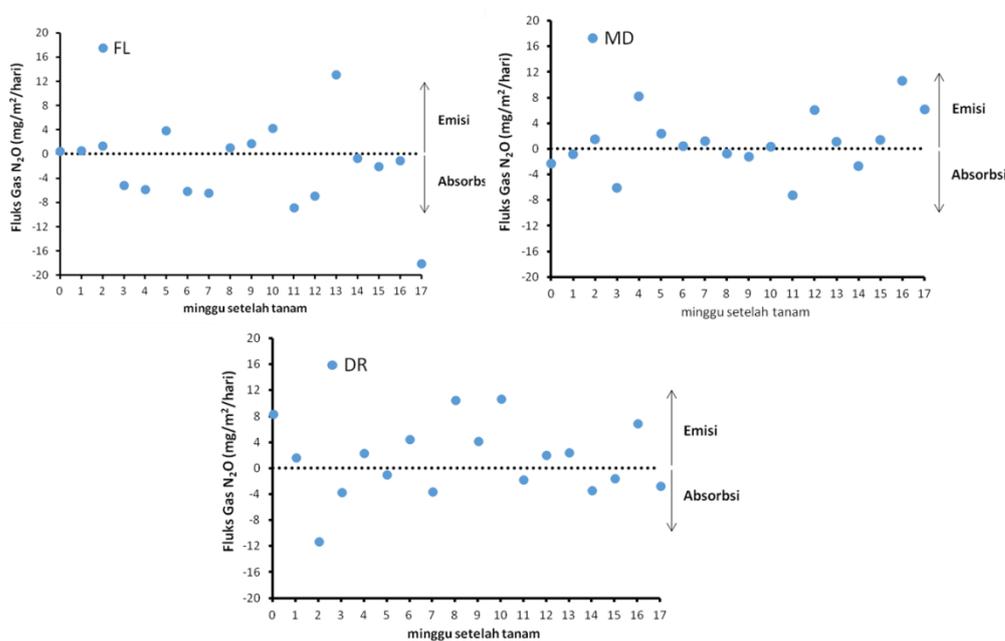
Kondisi sebaliknya terjadi untuk fluks gas N₂O pada masing-masing rezim air seperti terlihat

pada Gambar 7. Fluks gas N₂O pada perlakuan FL mencapai puncak pada minggu ke-13 ketika lahan mulai dikeringkan. Nilai maksimum fluks pada minggu tersebut mencapai 90 mg/m²/hari. Pada perlakuan MD, jumlah fluks gas N₂O yang bernilai positif dan negatif hampir berimbang, yang mengindikasikan bahwa pelepasan gas N₂O juga dibarengi dengan penyerapan gas N₂O dalam satu periode musim tanam. Sedangkan pada perlakuan DR, fluks gas N₂O lebih banyak bernilai positif yang berarti gas N₂O banyak diemisikan pada rezim air ini. Dari perubahan dinamis fluks gas N₂O ini menegaskan bahwa ketika kondisi tanah aerobik (kandungan oksigen lebih banyak), dekomposisi bahan organik dalam tanah lebih cepat yang menyebabkan reduksi nitrat menjadi N₂O. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa emisi gas N₂O mencapai puncak ketika sawah tidak digenangi bahkan dalam kondisi kering (Snyder *et al.*, 2007).

Total fluks gas CH₄ dan N₂O pada masing-masing rezim air dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel tersebut menegaskan bahwa tinggi muka air sangat berpengaruh pada emisi gas rumah kaca yang dihasilkan yang berakibat menghasilkan potensi pemanasan global yang berbeda-beda. Perlakuan FL dengan rezim air tergenang menghasilkan emisi gas CH₄ terbesar dibandingkan perlakuan rezim air yang lain. Akan tetapi, rezim air ini tidak mengemisikan gas N₂O dalam satu periode musim tanam. Sebaliknya, perlakuan DR menghasilkan emisi gas CH₄ terendah dibandingkan dengan perlakuan lain. Akan tetapi, perlakuan rezim air ini mengemisikan gas N₂O terbesar dalam satu musim tanam. Sedangkan perlakuan MD terlihat sebagai rezim air yang berada ditengah dalam mengemisikan baik gas CH₄ dan N₂O. Emisi gas CH₄ yang dihasilkan lebih rendah dari rezim FL, dan emisi gas N₂O yang dihasilkan lebih rendah dari rezim DR. Adapun potensi pemanasan global (GWP) yang dihasilkan menunjukkan bahwa perlakuan DR menghasilkan potensi terendah dibandingkan kedua perlakuan yang lain. Nilai GWP pada perlakuan DR adalah 306,77 kg C-CO₂ eq/ha/musim. Nilai tersebut 34% lebih dibandingkan perlakuan FL dan 41% lebih rendah juga dibandingkan perlakuan MD. Hal ini menandakan bahwa rezim air untuk padi sawah melalui budidaya SRI dapat dikurangi penggunaan air irigasinya ketika akar, batang, dan daun pada fase awal telah terbentuk dengan baik dan adaptif terhadap lingkungan. Cara ini ini dapat mengurangi potensi pemanasan global dan bahkan dapat meningkatkan produktivitas.



Gambar 6 Fluks Gas CH₄ pada Berbagai Rezim Air Selama Satu Musim Tanam



Gambar 7 Fluks Gas N₂O pada Berbagai Rezim Air Selama Satu Musim Tanam

Tabel 2 Potensi Pemanasan Global pada Masing-Masing Rezim Air

Rezim Air	Emisi GRK		GWP* (kg C-CO ₂ eq/ha/musim)
	CH ₄ (kg/ha/musim)**	N ₂ O (kg/ha/musim)**	
Rezim tergenang (FL)	20,64	-0,16	467,13
Rezim Moderate (MD)	19,77	0,09	520,70
Rezim Kering (DR)	9,99	0,19	306,77

*GWP dihitung untuk periode waktu 100 tahun dengan persamaan $GWP = 25CH_4 + 298N_2O$ (IPCC, 2007)

** Emisi GRK merupakan total fluks masing-masing gas dan dihitung dengan metode numerik model Simpson (Arif *et al.*, 2015)

Potensi pemanasan global tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan air di lahan yang direpresentasikan oleh tinggi muka air, tetapi juga faktor lain seperti varietas padi, penggunaan pupuk dan kondisi iklim setempat (Cai, *et al.*, 1997; Setyanto & Bakar, 2005). Oleh sebab itu, perlu percobaan dengan budidaya SRI dengan multiparameter dan multi-lokasi untuk keragaman potensi pemanasan global yang akan dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Potensi pemanasan global dari padi sawah dengan budidaya SRI sangat dipengaruhi oleh tinggi muka air di lahan. Rezim air kering (DR) menghasilkan potensi pemanasan global terendah dibandingkan rezim tergenang (FL) dan moderate (MD). Nilai potensi pemanasan global yang dihasilkan pada rezim DR sebesar 34% dan 41% lebih rendah dibandingkan rezim air FL dan MD. Bahkan rezim DR ini mampu meningkatkan produktivitas tanaman 21% lebih besar dibandingkan rezim air FL. Total emisi GRK pada perlakuan FL, MD, dan DR berturut-turut adalah 467,13, 520,70 dan 306,77 kg C-CO₂ eq/ha/musim.

Mengingat percobaan ini hanya dilakukan satu musim tanam pada akhir musim basah sampai awal musim kering dalam skala laboratorium, maka diperlukan percobaan yang serupa untuk menguji rezim air tersebut pada musim yang berbeda pada skala lapang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi – KEMENRISTEK-DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional pada tahun 2015-2017. Laboratorium Gas Rumah Kaca milik Balai Penelitian Lingkungan Pertanian di Jakenan Pati Jawa Tengah yang telah menganalisis gas rumah kaca.

DAFTAR PUSTAKA

[IAEA] International Atomic Energy Agency. (1993). *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agriculture*. Vienna: IAEA.

Arif, C., Setiawan, B.I., Widodo, S., Rudiyanto, Hasanah, N.A.I., & Mizoguchi, M. (2015). Pengembangan model jaringan saraf tiruan untuk menduga emisi gas rumah kaca dari lahan sawah dengan berbagai rejim air. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 1-10.

Arif, C., Setiawan, B.I., & Mizoguchi, M. (2014). Penentuan kelembaban tanah optimum untuk budidaya padi sawah SRI (System of Rice Intensification) menggunakan algoritma genetika (determining optimal soil moisture for

system of rice intensification paddy field using genetic algorithms). *Jurnal Irigasi*, 9 (1), 1-12.

- Arif, C., Toriyama, K., Nugroho, B.A.D., & Mizoguchi, M. (2015). Crop coefficient and water productivity in conventional and System of Rice Intensification (SRI) irrigation regimes of terrace rice fields in Indonesia. *Jurnal Teknologi*, 75(17), 95-102.
- Barison, J. (2003). *Nutrient-use efficiency and nutrient uptake in conventional and intensive (SRI) rice cultivation systems in Madagascar* (Tesis). Ithaca, New York: Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University.
- Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R., & Visperas, R.M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74(2), 87-105.
- Cai, Z.C., Xing, G.X., Yan, X.Y., Xu, H., Tsuruta, H., Yagi, K., & Minami, K. (1997). Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. *Plant and Soil*, 196(1), 7-14.
- Chapagain, T., & Yamaji, E. (2010). The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and Water Environment*, 8(1), 81-90.
- Dill, J., Deichert, G., & Thu, L.T.N. (2013). *Promoting the System of Rice Intensification: Lessons Learned From Trà Vinh Province, Viet Nam*. Hanoi: German Agency for International Cooperation (GIZ) and International Fund for Agricultural Development (IFAD).
- Gardini, F., Antisari, L.V., Guerzoni, M.E., & Sequi, P. (1991). A simple gas chromatographic approach to evaluate CO₂ release, N₂O evolution, and uptake from soil. *Biology and Fertility of Soils*, 12(1), 1-4.
- Hidayah, S., D.A. Arifianty, M.D. Joubert, & Soekrasno. (2010). Intermittent irrigation in System of Rice Intensification potential as an adaptation and mitigation option of negative impacts of rice cultivation in irrigated paddy field. Dipresentasikan pada *The 6th Asian Regional Conference of ICID of International Commission on Irrigation and Drainage*, Yogyakarta. Diperoleh dari http://www.rid.go.th/thaicid/_6_activity/Technical-Session/SubTheme2/2.10-Susi_H-Dewi_AA-Marasi_DJ-Soekrasno.pdf
- Hupet, F., & Vanclooster, M. (2001). Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 243(3), 192-204.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis, Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel Onclimate Change*. S.

- Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... H. S. Miller, Ed.). Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Alen, A. Boschung, ... P.M. Midgey, Ed.). Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- Jain, N., Dubey, R., Dubey, D.S., Singh, J., Khanna, M., Pathak, H., & Bhatia, A. (2014). Mitigation of greenhouse gas emission with system of rice intensification in the Indo-Gangetic Plains. *Paddy and Water Environment*, 12(3), 355-363.
- Ly, P., Jensen, L.S., Bruun, T.B., & de Neegaard, A. (2013). Methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions from the system of rice intensification (SRI) under a rain-fed lowland rice ecosystem in Cambodia. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 97, 13-27.
- Rajkishore, S.K., Doraisamy, P., Subramanian, K.S., & Maheswari, M. (2013). Methane emission patterns and their associated soil microflora with SRI and conventional systems of rice cultivation in Tamil Nadu, India. *Taiwan Water Conservancy*, 61(4), 126-134.
- Sato, S., Yamaji, E., & Kuroda, T. (2011). Strategies and engineering adaptations to disseminate SRI methods in large-scale irrigation systems in Eastern Indonesia. *Paddy and Water Environment*, 9(1), 79-88.
- Setyanto, P., Rosenani, A.B., Boer, R., Fauziah, C.I., & Khanif, M.J. (2004). The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 5(1), 20-31.
- Setyanto, P. (2008). Teknologi mengurangi emisi gas rumah kaca dari lahan sawah. *Buletin Iptek Tanaman Pangan*, 3(2), 205-214.
- Setyanto, P., & Bakar R.A. (2005). Methane emission from paddy fields as influenced by different water regimes in Central Java. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences*, 6(1), 1-9.
- Setyanto, P., Makarim, A.K., Fagi, A.M., Wassman, R., & Buendia, L.V. (2000). Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia). *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 58, 85-93.
- Sheehy, J.E., Peng, S., Dobermann, A., Mitchell, P.L., Ferrer, A., Yang, J.C., Zou, Y.B., Zhong, X.H., & Huang, J.L. (2004). Fantastic yields in the system of rice intensification: fact or fallacy?. *Field Crop Research*, 88(1), 1-8.
- Sinha, S.K., & Talati, J. (2007). Productivity impacts of the system of rice intensification (SRI): a case study in West Bengal, India. *Agricultural Water Management*, 87(1), 55-60.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., & Jensen, T.L. (2007). Best management practices to minimize greenhouse gas emissions associated with fertilizer use. *Better Crops*, 19, 16-18.
- Uphoff, N., Kassam, A., & Harwood, R. (2011). SRI as a methodology for raising crop and water productivity: productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. *Paddy and Water Environment*, 9(1), 3-11.
- Wu, I.P. (1997). A Simple Evapotranspiration Model for Hawaii: the Hagraeves Model (*CTAHR Sheet Engineer's Notebook*). Diperoleh Oktober 2016, dari <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/EN-106.pdf>