



ESTIMASI GAS RUMAH KACA PADA BERBAGAI MACAM PENGELOLAAN AIR MENGUNAKAN MODEL DENITRIFIKASI-DEKOMPOSISI (DNDC)

GREENHOUSE GAS ESTIMATION IN VARIOUS WATER MANAGEMENT USING DENITRIFICATION-DECOMPOSITION MODEL (DNDC)

Oleh:

Arif Rahmat¹⁾, Chusnul Arif¹⁾, Yudi Chadirin¹⁾

¹⁾ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor
Jalan Raya Dramaga, Bogor, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: arf.improve@gmail.com

Naskah ini diterima pada 24 Agustus 2018; revisi pada 19 September 2018;
disetujui untuk dipublikasikan pada 11 November 2018

ABSTRACT

Escalation of the scarcity in water resources has stimulated the development of a different method to preserve water in the paddy field. Several studies have been carried out simultaneously to observed the effectiveness of various water regimes on sustaining water, mitigating greenhouse gases (GHG), and maintaining rice yields. Irrigation management is a critical factor in controlling Methane (CH₄) and Nitrous oxide (N₂O) emission in the paddy field. The aim of this research is to evaluate the Denitrification-Decomposition (DNDC) Model in estimated greenhouse gas from various water regime management. This research conducted from January until May 2018, in plot experiment used SRI method under three different water regimes: flooding regime (RT), wet regime (RB), and dry regime (RK). DNDC Model was created to predicted CH₄ and N₂O emission in the agricultural ecosystem. This model already used and evaluated in subtropical land, but the ability of this model still needs to evaluate for soil in the tropical area such as Indonesia. The emission result showed a different pattern between the simulation model and observation model. The coefficient of determination (R²) from CH₄ and N₂O emission simulation with actual fluxes are 0.123 and -0.237. The finding in this study indicated that the simulation model needed improvement to be able to estimate the CH₄ and N₂O emissions from Indonesia's environmental condition.

Keywords: *DNDC, emission, estimation, greenhouse gas, water regime*

ABSTRAK

Peningkatan kelangkaan sumber daya air menstimulasi pengembangan berbagai metode untuk menjaga air pada lahan padi. Beberapa penelitian telah dilakukan secara berkelanjutan dalam mengamati efektivitas berbagai rejim air dalam menjaga air, mengurangi fluks gas rumah kaca (GRK), dan mempertahankan hasil panen padi. Pengelolaan irigasi merupakan faktor penting dalam mengendalikan emisi metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) di lahan sawah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi Model Denitrifikasi-Dekomposisi (DNDC) dalam mengestimasi emisi gas rumah kaca dari berbagai macam pengelolaan rejim air. Penelitian dilakukan dari Januari hingga Mei 2018. Metode SRI digunakan dalam percobaan plot dengan perlakuan tiga rejim air yang berbeda: rejim tergenang (RT), rejim basah (RB), dan rejim kering (RK). Model DNDC dibuat untuk memprediksi emisi CH₄ dan N₂O dalam ekosistem pertanian. Model ini telah digunakan dan dievaluasi di tanah subtropis, tetapi model ini masih perlu dievaluasi kemampuannya untuk tanah di iklim tropis seperti Indonesia. Emisi yang dihasilkan menunjukkan pola berbeda antara model simulasi dan model observasi. Nilai R² dari simulasi emisi CH₄ dan N₂O dengan fluks aktual masing-masing adalah 0,123 dan -0,237. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa model simulasi memerlukan pengembangan untuk mampu memperkirakan emisi CH₄ dan N₂O pada kondisi lingkungan Indonesia.

Kata kunci: *DNDC, emisi, estimasi, gas rumah kaca, rejim air*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang terus menerus di atmosfer menyebabkan pemanasan global (IPCC, 2013). Sejak tahun 1975 sampai 2011, konsentrasi dari karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) mengalami peningkatan masing-masing secara berturut-turut 278 ppm menjadi 290,5 ppm, 722 ppb menjadi 1803 ppb, dan 271 ppb menjadi 324 ppb (IPCC, 2013). Sehingga perlu mitigasi dalam mengubah tren peningkatan gas rumah kaca (GRK).

Sektor pertanian merupakan sumber antropogenik utama penghasil CH₄ dan N₂O (Cai, Shan, & Xu, 2007; Datta, Nayak, Sinhababu, & Adhya, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Emisi dari aktivitas pertanian diperkirakan sebesar 52% untuk CH₄ dan 84% untuk N₂O (Smith *et al.*, 2008).

Indonesia sebagai salah satu negara penghasil beras terbesar di dunia (FAO, 2016) mengandalkan luas area sawah lebih dari 8 juta hektar (Badan Pusat Statistik, 2015). Hal tersebut tentunya akan berkorelasi positif dengan kebutuhan air yang digunakan untuk budidaya tanaman pertanian. Kebutuhan air tawar untuk pertanian diproyeksikan meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade ke depan dikarenakan beberapa faktor, tetapi yang paling utama adalah pertumbuhan populasi (Hoff, 2011). Sementara itu, konsumsi air tawar pada sektor pertanian cukup tinggi sekitar 85% dari air tawar dunia (Hoekstra & Chapagain, 2007).

Kekeringan bersamaan dengan penggunaan air yang tinggi menjadikan cadangan air semakin berkurang dan permasalahan kelangkaan air akan bertambah disebabkan oleh perubahan iklim (Schewe *et al.*, 2014). Oleh karena itu, strategi diperlukan untuk mengefisiensikan penggunaan air. Arif *et al.*, (2017) mengemukakan pengelolaan air berselang selama proses budidaya padi sawah akan mampu memitigasi gas rumah kaca dan mampu mengoptimalkan konsumsi air jika dibandingkan dengan pengelolaan air tergenang. Pengelolaan air tersebut mampu menghemat 25%–50% penggunaan air (Uphoff, 2008) dan mengurangi produksi GRK sebesar 32% terutama gas CH₄ (Rajkishore, Doraisamy, Subramanian, & Maheswari, 2013).

Penelitian mengenai hubungan antara emisi CH₄ dan N₂O terhadap pengelolaan air telah banyak dilakukan. Pengelolaan air dengan cara dibasahkan dan dikeringkan akan mampu memitigasi gas CH₄, tetapi pengelolaan tersebut akan menjadi pemicu emisi gas N₂O. Hal ini berbeda jika menerapkan sistem pengairan

tergenang. Ahn *et al.* (2014) menyatakan bahwa irigasi hemat air menurunkan emisi CH₄ sebesar 78% dan meningkatkan emisi N₂O sebesar 533%, menghasilkan 78% penurunan GWP jika dibandingkan dengan sistem penggenangan.

Observasi langsung emisi GRK dalam jangka waktu panjang tidaklah mudah karena perbedaan manajemen lahan, faktor lingkungan, terbatasnya waktu dan biaya (Cha-un, Chidthaisong, & Towprayoon, 2017). Oleh karena itu, sangatlah penting penggunaan alat bantu untuk menduga emisi GRK dari berbagai sistem pengelolaan air tersebut baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. Pendugaan emisi GRK dalam jangka panjang ke depan akan sangat bermanfaat terhadap strategi mitigasinya (Katayanagi *et al.*, 2016).

Model Denitrifikasi-Dekomposisi (DNDC) merupakan simulasi model komputer yang kompleks berdasar pada proses biogeokimia karbon (C) dan nitrogen (N) dalam ekosistem pertanian (Li, 2000). Model DNDC pertama kali dikembangkan oleh Li, Frolking, & Frolking (1992) untuk menyimulasikan emisi N₂O dari tanah pertanian dan terus dikembangkan hingga saat ini. Pengembangan Model DNDC yang dilakukan berupa prediksi fluks dan emisi GRK (Giltrap, Li, & Saggar, 2010).

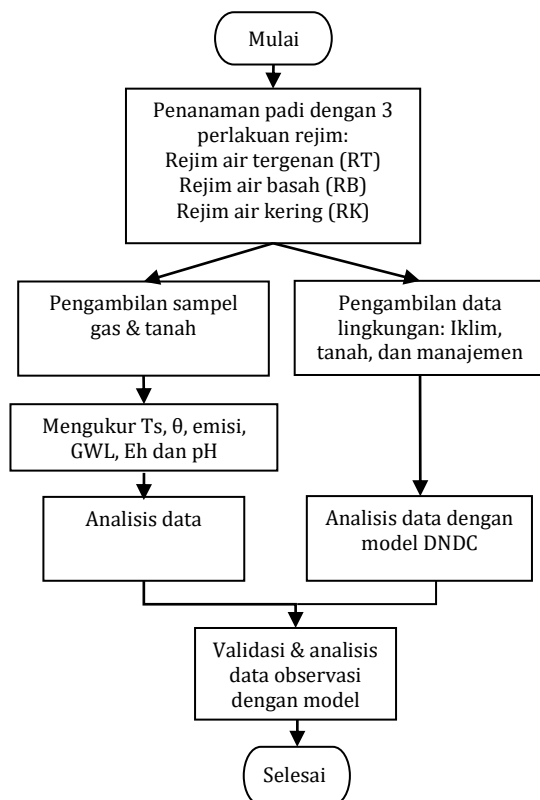
Li (2009) menjelaskan bahwa, Model DNDC tersusun atas dua komponen utama. Komponen pertama terdiri dari iklim tanah, pertumbuhan tanaman dan sub-model dekomposisi, perkiraan suhu tanah, kelembaban, pH, potensial redoks (Eh) dan keadaan konsentrasi substrat yang terjadi akibat pengaruh ekologi seperti iklim, tanah, vegetasi dan aktivitas antropogenik. Komponen kedua tersusun atas sub-model nitrifikasi, denitrifikasi dan fermentasi, perkiraan emisi dari CO₂, CH₄, amonia (NH₃), nitrit oksida (NO), N₂O dan dinitrogen (N₂) dari sistem tanah-tanaman.

Chun, Shim, Min, & Wang (2016) menyatakan bahwa, Model DNDC cocok digunakan untuk mengestimasi pola emisi GRK pada periode pertumbuhan tanaman. Meskipun model DNDC sudah banyak digunakan dalam memprediksi pola emisi GRK pada daerah beriklim subtropis, namun penggunaan Model DNDC dalam memprediksi emisi GRK di daerah beriklim tropis seperti Indonesia masih perlu dikaji lebih lanjut. Kajian mengenai kehandalan Model DNDC dengan kondisi lingkungan yang ada di Indonesia perlu dilakukan mengingat penggunaan sistem manajemen pertanian yang bermacam-macam.

Penelitian ini bertujuan untuk: (i) mengkaji produksi emisi GRK selama masa budidaya pada 3 jenis rejim air; (ii) menganalisis antara fluks gas hasil observasi lapang dengan simulasi Model DNDC; (iii) menilai kemampuan Model DNDC dalam mengestimasi emisi GRK dari sawah dengan berbagai rejim air. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menjadi referensi dalam menduga emisi GRK menggunakan alat bantu (simulasi model).

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan plot percobaan di Laboratorium Lapang Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB. Pengujian fluks GRK dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan-Pati, Jawa Tengah. Analisis uji tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian Balai Penelitian Tanah Bogor. Penelitian dilaksanakan selama satu musim tanam pada Januari - Mei 2018. Tahapan penelitian adalah seperti pada Gambar 1.



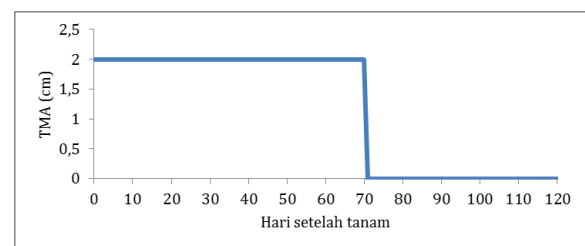
Gambar 1 Tahapan Penelitian

Pengumpulan data dan informasi dilakukan dengan melakukan pengamatan selama 1 musim tanam pada plot percobaan. Plot percobaan terbuat dari campuran semen dan dilapisi oleh tanah sebagai media tanam dengan dimensi plot 2 m x 2 m. Parameter yang diamati adalah tinggi muka air, konsentrasi gas CH₄ dan N₂O, hasil

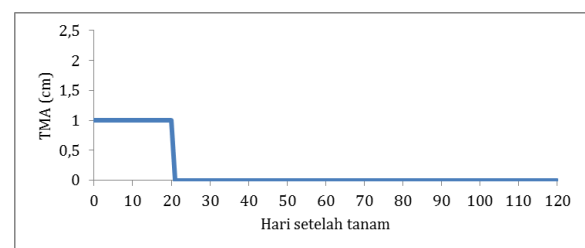
gabah dan bobot biomassa. Ketinggian muka air diukur menggunakan sensor *e-tape water level* yang dipasang di ujung kolam. Sensor *e-tape* dilengkapi dengan *logger* untuk merekam data ketinggian muka air yang diambil setiap hari selama 112 hari pada setiap pukul 14.00 WIB. Contoh gas N₂O diambil dengan menggunakan *gas chamber* berukuran 30 cm x 30 cm x 120 cm yang disertai *chamber base* berukuran 30 cm x 30 cm x 20 cm, kantong Tedlar 250 ml, botol vial coklat 10 ml dilengkapi dengan tutup karet. Contoh gas diambil setiap minggu selama 17 minggu antara pukul 12.00 - 14.00 WIB. Contoh gas dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography (GC)* dengan *electron capture detector* atau *flame ionization detector* masing-masing untuk menetapkan konsentrasi N₂O dan CH₄. Pengujian tanah menggunakan pHmeter (pH 3310 SET 2 incl. SenTix® 41), dan ORPmeter (WTW Sentix).

2.1. Pengelolaan Air

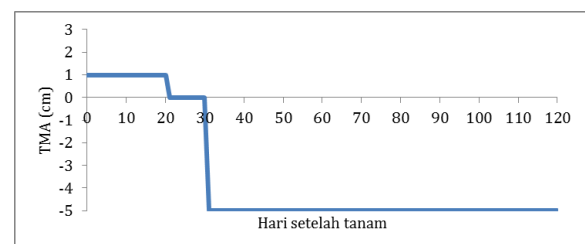
Sistem pengelolaan yang diterapkan berupa pengaturan tinggi muka air (TMA) selama masa budidaya padi. Tinggi muka air yang diterapkan terbagi menjadi tiga rejim air yaitu rejim air basah (RT), rejim air sedang (RB), dan rejim air kering (RK) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2 Pengelolaan Air Selama Masa Budidaya Padi (a) RT, (b) RB, dan (c) RK

2.2. Analisis Contoh Uji tanah

Sifat fisik dan kimia tanah pada plot percobaan diperlihatkan pada Tabel 1 dan 2. Tanah yang digunakan selama penelitian merupakan tanah bertekstur liat berdasarkan segitiga tekstur tanah.

Tabel 1 Sifat Fisik Tanah pada Plot Percobaan

Tekstur (%)			pH	Berat Isi (g/cc)
Pasir	Debu	Liat		
23	34	43	6,7	0,68

Tabel 2 Sifat Kimia Tanah pada Plot Percobaan

Bahan organik (%)		VC/N	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)
C	N			
3,84	0,28	19	77	33

2.3. Analisis Contoh Uji Gas dan Perhitungan Emisi Gas

Analisis contoh gas dilakukan di Laboratorium GRK Jakenan Pati dengan mengacu Setyanto, (2004). Hasil analisis berupa kromatograf menunjukkan konsentrasi gas (ppb). Laju perubahan konsentrasi gas per satuan waktu tersebut digunakan dalam perhitungan besarnya fluks gas. Perhitungan fluks gas dihitung dengan Persamaan 1 (IAEA, 1992).

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- E = Fluks gas (mg/m²/menit)
- $\frac{\delta C}{\delta t}$ = Perbedaan konsentrasi gas per waktu pengambilan (ppm/menit)
- V_{ch} = Volume *chamber* (m³)
- A_{ch} = Luas *chamber* (m²)
- mW = Berat molekul gas (g)
- mV = Volume molekul gas (22,41 liter pada suhu dan tekanan standar (STP))
- T = Temperatur selama *sampling* (°C)

Total fluks gas CH₄ dan N₂O dihitung dengan integral selama periode budidaya padi sawah. Metode perhitungan total emisi gas CH₄ dan N₂O adalah metode Simpson (Arif, Setiawan, Widodo, Hasanah, & Mizoguchi, 2015) seperti pada Persamaan 2.

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{6} [f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b)] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- f(x) = Total emisi GRK per parameter
- a = Waktu awal pengukuran emisi udara
- b = Waktu akhir pengukuran emisi udara

2.4. Validasi hasil model dengan aktual

Validasi Model DNDC dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi model dengan input parameter yang diminta dengan hasil observasi lapang. Input parameter yang digunakan dalam model ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Input Model DNDC

No	Input	Nilai
1.	Data Lokasi: Nama Tempat <i>Latitude</i>	Lab Lapang Dept SIL IPB, Bogor 6°
2.	Data Iklim: Curah hujan, kecepatan angin, radiasi matahari, kelembaban udara, suhu maksimum-minimum Konsentrasi N dalam air hujan (mg N/liter) Konsentrasi NH ₃ di atmosfer (µN/m ³) Konsentrasi CO ₂ di atmosfer (ppm)	Data iklim Januari-Mei 2018 0,23 0,06 350
3	Data Tanah: Tekstur tanah Densitas (g/cm ³) <i>Land use</i> <i>Soil Organic Carbon</i> (SOC) pH Tanah NO ₃ di permukaan tanah NH ₄ ⁺ di permukaan tanah <i>Wilting point</i> Kapasitas lapang tanah Porositas	Liat 0,68 Lahan padi 0,04 6,465 33 71 0,45 0,75 0,482
4.	Data Tanaman: Jenis Tanaman Waktu Tanam (bulan/tanggal) Waktu Panen (bulan/tanggal) Hasil Panen (kg/ha)	Padi (1/20) (5/13) Data hasil panen
5.	Pengolahan tanah: Waktu pengolahan (bulan/tanggal); metode pengolahan (alat)	(1/20); Cangkul metode pengolahan (alat)
6.	Pemupukan kimia: Waktu pemupukan (bulan/tanggal); metode pemupukan; Jenis Pupuk ; jumlah pupuk (kg N/ha)	(1/24); permukaan; Urea; 0,04 (2/13); permukaan; Urea; 0,04 (2/28); Permukaan; Urea; 0,03
7.	Penggenangan:	Data tinggi muka air

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Emisi Gas CH₄ dan N₂O Aktual dan Produksi Hasil Panen pada 3 Rejim Air

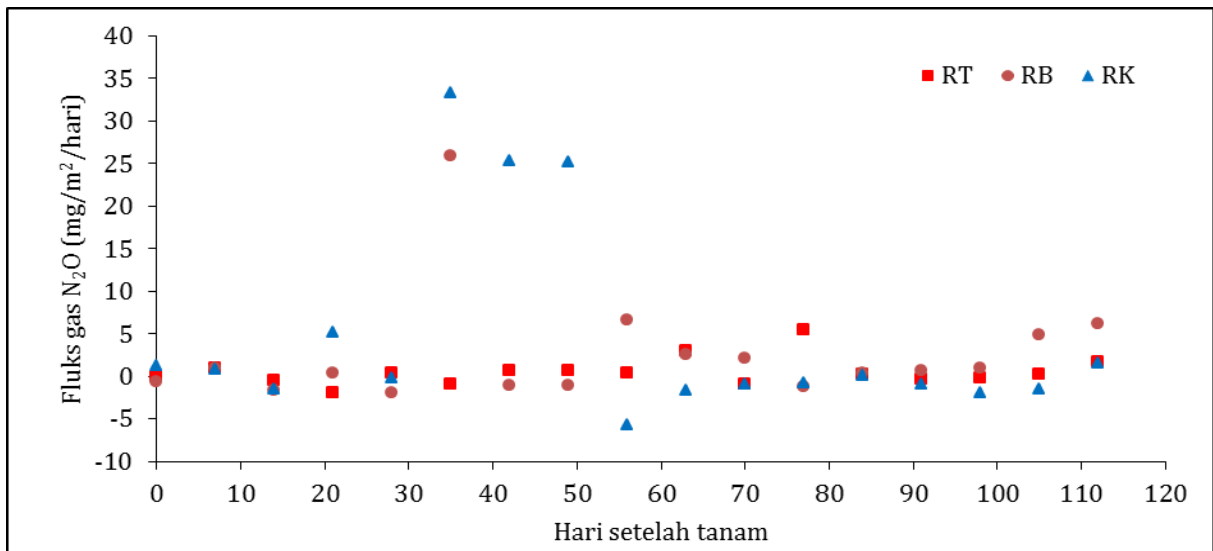
Hasil pengukuran fluks gas CH₄ untuk setiap rejim air dapat dilihat pada Gambar 3. Peningkatan fluks CH₄ dari yang terbesar hingga terkecil secara berturut-turut adalah rejim air tergenang, rejim basah, dan rejim kering. Hal ini memperlihatkan bahwa penggunaan sistem pengairan yang berbeda selama proses budidaya akan memengaruhi produksi gas CH₄ di lahan, hasil ini

sejalan dengan penelitian Meijide, Gruening, Goded, Seufert, & Cescatti (2017). Menurut Ma, Xu, Yagi, & Cai (2008), budidaya tanaman yang menggunakan sistem pengairan tergenang menciptakan kondisi lingkungan anaerob, dimana kondisi tersebut menguntungkan bagi methanogen untuk mendekomposisi substrats organik menjadi gas CH₄.

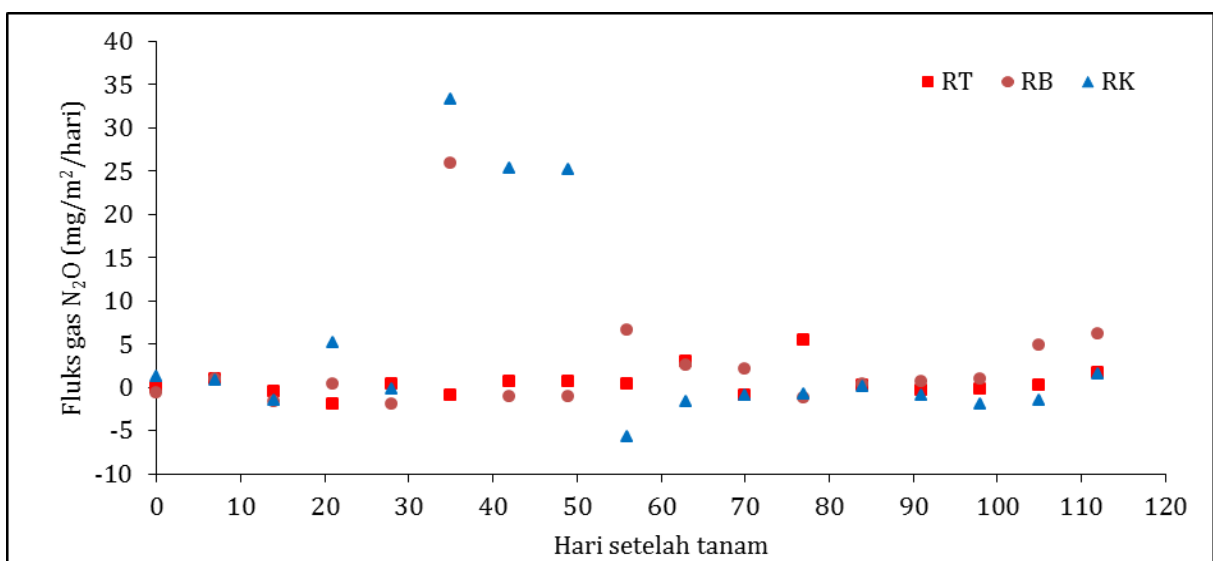
Produksi gas CH₄ meningkat mulai hari ke-7 setelah tanam. Hal ini karena adanya pemberian pupuk pada plot tanam. Menurut Chen *et al.* (2016), pemberian pupuk selama budidaya mampu meningkatkan produksi GRK. Menurut Arif *et al.* (2015), jika pengairan pada budidaya padi dikurangi akan menurunkan gas CH₄.

Sehingga pada rejim tergenang ketika mendekati 70 HST tinggi muka air diturunkan menjadi 0 cm dari 2 cm menyebabkan penurunan fluks gas CH₄. Penurunan produksi CH₄ juga terjadi pada rejim basah dan kering pada saat tinggi muka air dikurangi.

Hasil pengukuran fluks gas N₂O untuk setiap rejim air terlihat pada Gambar 4. Peningkatan fluks N₂O dari yang terbesar hingga terkecil secara berturut-turut adalah rejim air kering, rejim basah dan rejim tergenang. Ini memperlihatkan bahwa penggunaan sistem pengairan yang berbeda selama proses budidaya akan memengaruhi produksi gas N₂O di lahan.



Gambar 3 Fluks Gas CH₄ Hasil Observasi



Gambar 4 Fluks Gas N₂O Hasil Observasi

Peningkatan gas N₂O terjadi ketika kondisi air di lahan padi mulai dikurangi, yakni pada hari ke-20 setelah tanam untuk rejim basah dan kering dan hari ke - 70 untuk rejim tergenang. Hou, Peng, Xu, Yang, & Mao (2012) menyatakan bahwa produksi gas N₂O akan meningkat ketika terjadi perubahan kondisi tanah dari basah menjadi kering ataupun sebaliknya. Perubahan kondisi tanah menyebabkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Xu *et al.*, 2015).

Penerapan tinggi muka air yang berbeda berpengaruh terhadap produksi gas rumah kaca di lahan padi. Rejim kering mampu mengurangi emisi gas CH₄, tetapi meningkatkan gas N₂O. Pengelolaan dengan rejim tergenang menghasilkan emisi gas CH₄ tertinggi dan mampu menekan emisi gas N₂O. Berdasarkan Gambar 3 dan 4 tersebut diketahui bahwa dari ketiga rejim, pengelolaan rejim basah menghasilkan emisi gas CH₄ dan N₂O yang optimal. Gas CH₄ dan N₂O hasil observasi tidak selalu memberikan nilai positif. Menurut Hou, Yang, Wang, Li, & Xu (2016), nilai negatif yang terukur mengindikasikan adanya penyerapan GRK di lahan padi.

Hasil produksi gabah dari ketiga pengelolaan air ditunjukkan pada Tabel 4, dimana hasil gabah berbeda antar perlakuan. Hasanah, Setiawan, Arif, & Widodo (2015) menyatakan bahwa sistem pengelolaan air yang diterapkan berpengaruh terhadap hasil produksi gabah yang dihasilkan. Pengaplikasian tinggi muka air yang optimal selama budidaya akan mampu meningkatkan produktivitas lahan sebesar 20% dan produktivitas air sebesar 40% (Hasanah, Setiawan, Arif, & Widodo, 2017). Dari Gambar 3, Gambar 4, dan Tabel 4 menunjukkan bahwa dari ketiga sistem pengelolaan air yang diterapkan, RB merupakan sistem pengelolaan air terbaik. Hal ini ditunjukkan dengan fluks emisi yang lebih rendah dari RT dan hasil produksi gabah yang dihasilkan paling tinggi.

Tabel 4 Produksi Gabah pada Berbagai Pengelolaan Air

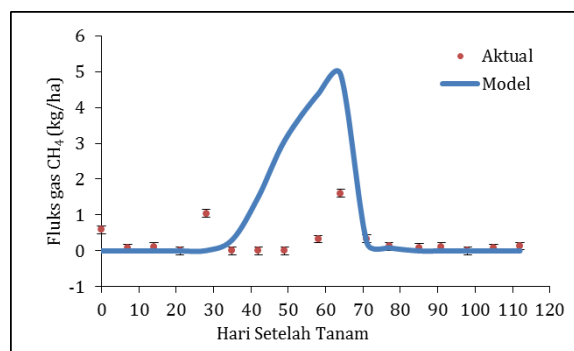
Hasil Panen	Perlakuan		
	RT	RB	RK
Gabah (kg/ha)	6.507,5	6.850,0	6.177,5
Biomassa (kg/ha)	2.3509,0	25.158,5	2.4712,3

3.2. Estimasi Model Gas CH₄ dan N₂O Terhadap Data Aktual

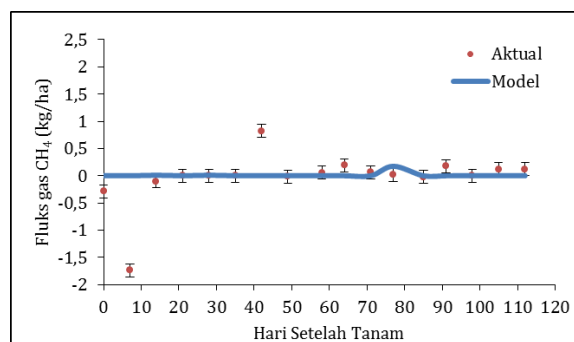
Hasil prediksi emisi CH₄ dan N₂O simulasi model terhadap data aktual di lapangan pada masing-masing perlakuan selama satu musim tanam disajikan pada Gambar 5 dan 6. Terdapat perbedaan antara fluks gas CH₄ dan N₂O yang diemisikan selama masa tanam antara hasil aktual

dengan simulasi, baik pada rejim tergenang, basah maupun kering.

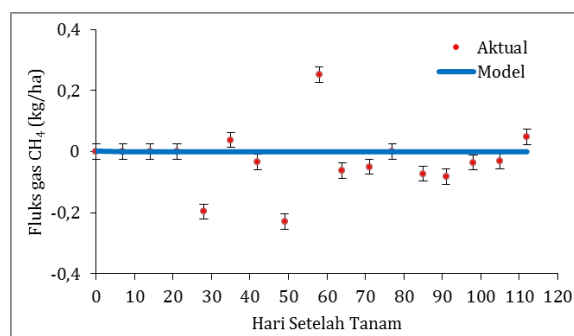
Gambar 5 memperlihatkan bahwa pada simulasi model fluks gas CH₄ hasil simulasi yang tertinggi adalah rejim tergenang, selanjutnya rejim basah dan terendah adalah rejim kering. Kecenderungan tersebut sesuai dengan hasil fluks aktual, meski nilai fluksnya berbeda. Hasil simulasi fluks gas N₂O pada Gambar 6, fluks tertinggi terjadi di rejim tergenang, diikuti rejim basah dan kering. Pola ini berbeda dengan hasil aktual, dimana nilai tertinggi terjadi pada rejim kering. Menurut Gilhespy *et al.* (2014), salah satu kelemahan Model DNDC adalah rendahnya keakuratan model dalam memprediksi emisi N₂O dan hal ini terlihat dari rendahnya akurasi hasil prediksi yang didapatkan.



(a)



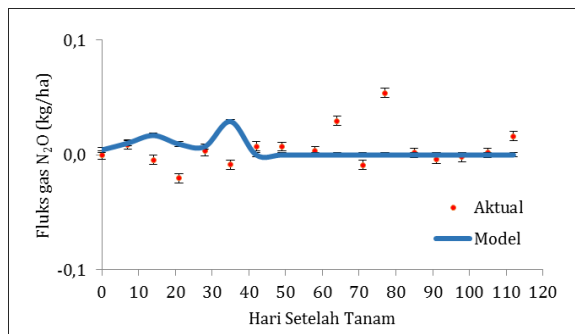
(b)



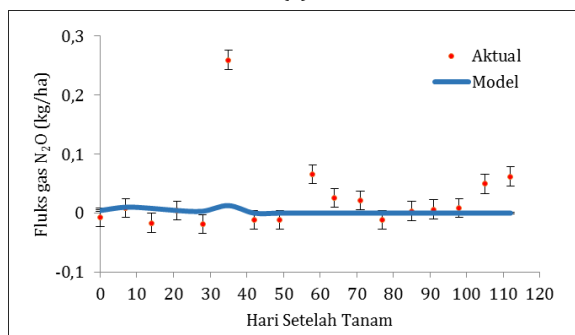
(c)

Gambar 5 Perbandingan Fluks Gas CH₄ Hasil Observasi dengan Model Simulasi (a) RT, (b) RB, dan (c) RK

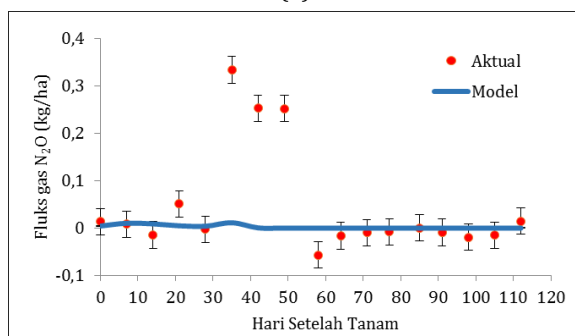
Perbedaan hasil yang diperoleh antara model dan aktual juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Babu, Li, Frolking, Nayak, & Adhya (2006) yang menyatakan bahwa kemampuan Model DNDC dalam memprediksi pola emisi dalam jangka pendek masih perlu dikembangkan. Perbedaan nilai terjadi karena masih adanya keterbatasan rumus, parameter maupun teori yang digunakan oleh Model DNDC (Smakgahn, Fumoto, & Yagi, 2009).



(a)



(b)



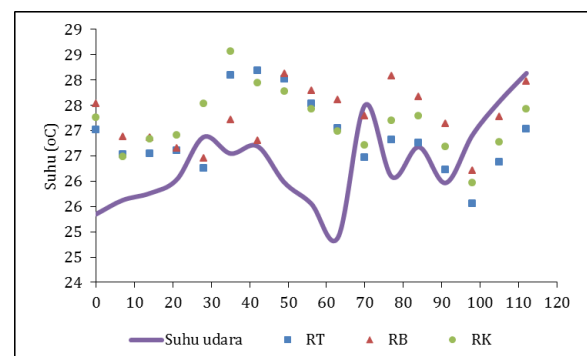
(c)

Gambar 6 Perbandingan Fluks Gas CH_4 Hasil Observasi dengan Model Simulasi (a) RT, (b) RB, dan (c) RK

Fumoto, Kobayashi, Li, Yagi, & Hasegawa (2008) menyatakan empat hal sebagai berikut: pertama Model DNDC dalam menduga siklus basah dan kering yang dialami padi terlalu fokus pada simulasi empiris perubahan potensial redoks (Eh) yang merupakan pengendali utama produksi gas CH_4 , tetapi tidak memperhitungkan perubahan dari ketersediaan donor elektron (organik karbon terlarut (DOC) dan H_2) dan penerimaanya (Fe^{3+}).

Karena hal itu, simulasi model Eh tanah menjadi kurang sensitif terhadap jumlah berbagai oksidan yang berpengaruh signifikan terhadap perubahan Eh tanah.

Kedua, metode yang diterapkan dalam Model DNDC untuk mengestimasi suhu lingkungan tanah belum tepat, karena mengasumsikan suhu permukaan tanah sama dengan suhu udara, sedangkan pada kenyataannya suhu udara berbeda dengan suhu air atau tanah. Hal ini menjadi sumber *error* lain dalam memprediksi emisi (Gambar 7).



Gambar 7 Hasil Pengamatan Suhu Udara dan Suhu Tanah Selama Masa Budidaya

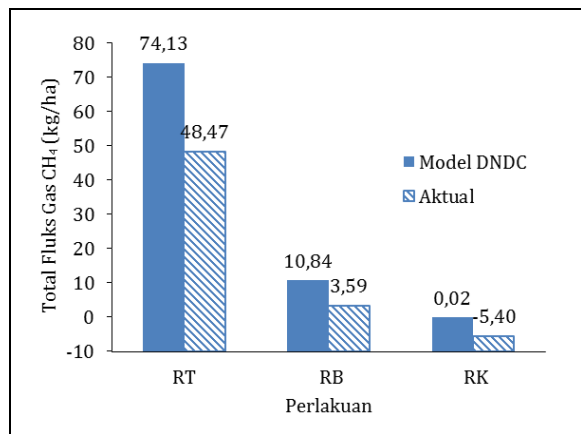
Ketiga, Model DNDC tidak memasukkan aspek metabolisme karbon tanaman, seperti fotosintesis, respirasi, dan alokasi karbon di antara organ tanaman. Padahal aspek tersebut berpengaruh besar terhadap produksi dan emisi CH_4 .

Keempat, Model DNDC menggunakan faktor emisi yang tidak spesifik dengan kondisi wilayah studi. Katayanagi *et al.* (2016) melakukan simulasi Model DNDC dengan memodifikasi faktor emisi spesifik dan menghasilkan prediksi emisi GRK yang mendekati hasil observasi dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,861.

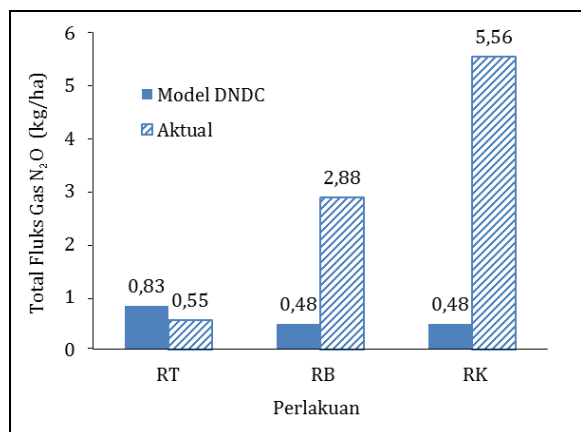
Gambar 8 menunjukkan perbedaan total fluks gas CH_4 pada ketiga rejim air berdasarkan pengukuran aktual dan berdasarkan Model DNDC. Total fluks CH_4 terbesar hasil simulasi terjadi pada RT dengan perbandingan 6,8 kali lebih besar dibandingkan dengan RB, dan 3.705 kali lebih besar dibanding RK. Hasil observasi menunjukkan tren yang sama yakni total nilai fluks CH_4 terbesar dihasilkan pada RT sebesar 13,6 kali lebih banyak dari RB, dan total fluks yang diperoleh dari RK bernilai negatif.

Gambar 8 juga memperlihatkan perbedaan antara total fluks hasil simulasi dengan aktual, dimana total fluks CH_4 lebih besar dibandingkan dengan aktual. Hasil yang diperoleh RT lebih besar 53%, RB sebesar 200%, dan RK sebesar 542%.

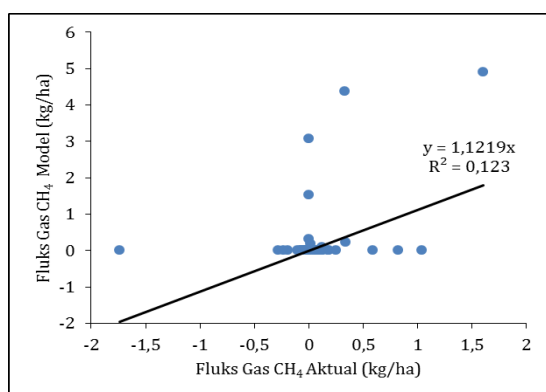
Gambar 9 memperlihatkan perbedaan yang signifikan antara total fluks gas N₂O aktual dan Model DNDC pada ketiga rejim air. Total fluks tertinggi untuk model terjadi pada rejim tergenang, sedangkan pada aktual terjadi pada rejim kering.



Gambar 8 Perbandingan Total Fluks Gas CH₄ Hasil Observasi dengan Model Simulasi



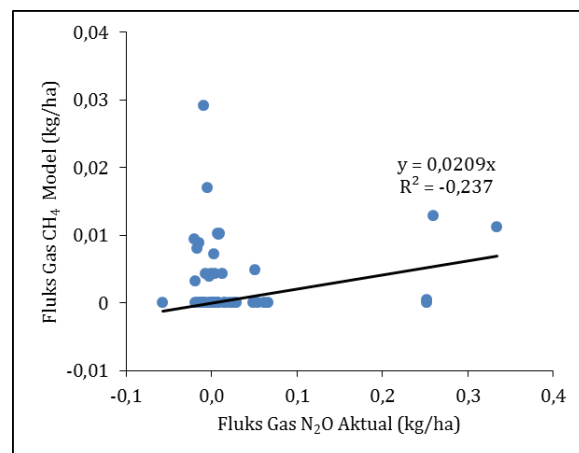
Gambar 9 Perbandingan Total Fluks Gas N₂O Hasil Observasi dengan Model Simulasi



Gambar 10 Hubungan Fluks CH₄ Hasil Observasi Terhadap Model Simulasi

Gambar 10 dan 11 memperlihatkan hubungan fluks gas CH₄ dan N₂O aktual terhadap fluks model. Berdasarkan kurva pada Gambar 10 dan

11, nilai R² sebesar 0,123 untuk gas CH₄ dan -0,237 untuk gas N₂O. Nilai signifikansi untuk CH₄ sebesar 0,003 dan untuk N₂O sebesar 0,382. Rendahnya nilai R² mengindikasikan bahwa Model DNDC dalam menduga fluks gas CH₄ dan N₂O di lahan padi sawah dengan iklim tropis masih memerlukan beberapa penyesuaian dan pengembangan. Nilai signifikansi mengindikasikan bahwa model signifikan dalam memprediksi emisi gas CH₄, namun untuk gas N₂O masih belum.



Gambar 11 Hubungan Fluks N₂O Hasil Observasi Terhadap Model Simulasi

IV. KESIMPULAN

Produksi emisi GRK selama masa budidaya dipengaruhi oleh pengelolaan air yang diterapkan. Penggenangan lahan dengan air selama masa budidaya akan meningkatkan produksi emisi CH₄, sedangkan kondisi lahan kering akan meningkatkan produksi emisi N₂O.

Hasil simulasi Model DNDC yang digunakan dalam memprediksi fluks gas CH₄ dan N₂O aktual menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena dalam Model DNDC asumsi atau teori yang dipakai model kurang sesuai dengan kondisi lingkungan Indonesia yang beriklim tropis. Sehingga, kemampuan DNDC dalam memprediksi fluks gas CH₄ dan N₂O yang terjadi pada padi sawah di Indonesia masih memerlukan beberapa penyesuaian dan peningkatan. Rendahnya nilai koefisien determinasi R² dapat terjadi karena masih terdapat input parameter yang tidak bisa diubah, penggunaan faktor emisi yang tidak spesifik dengan wilayah studi ataupun penggunaan teori, hukum, maupun rumus yang belum tentu sesuai dengan keadaan lingkungan Indonesia yang tropis pada model.

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengembangkan model dengan parameter dan teori-teori yang sesuai dan tepat pada kondisi

lingkungan di Indonesia, sehingga mampu memprediksi emisi gas CH₄ dan N₂O lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kurita-AIT *Research Grant* (KARG) tahun 2017 yang telah mendanai riset ini. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si., dan Tim Peneliti emisi gas rumah kaca dari lahan padi sawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, J. H., Choi, M. Y., Kim, B. Y., Lee, J. S., Song, J., Kim, G. Y., & Weon, H. Y. (2014). Effects of water-saving irrigation on emissions of greenhouse gases and prokaryotic communities in rice paddy soil. *Microbial ecology*, 68(2), 271–283.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Munarso, D. T., Nugraha, M. D., Sinarmata, P. W., Ardiansyah, A., & Mizoguchi, M. (2017). Potensi pemanasan global dari padi sawah system of rice intensification (SRI) dengan berbagai ketinggian muka air tanah. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 81–90.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Widodo, S., 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.
- Babu, Y. J., Li, C., Frolking, S., Nayak, D. R., & Adhya, T. K. (2006). Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74(2), 157–174.
- Badan Pusat Statistik. (2015). *Statistik Indonesia 2015*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Cai, Z., Shan, Y., & Xu, H. (2007). Effects of nitrogen fertilization on CH₄ emissions from rice fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(4), 353–361.
- Cha-un, N., Chidthaisong, A., & Towprayoon, S. (2017). Using the DNDC model to predict methane emissions from crop-rice rotation systems. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 21(3).
- Chen, H., Yu, C., Li, C., Xin, Q., Huang, X., Zhang, J., & Wang, W. (2016). Modeling the impacts of water and fertilizer management on the ecosystem service of rice rotated cropping systems in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 219, 49–57.
- Chun, J. A., Shim, K. M., Min, S. H., & Wang, Q. (2016). Methane mitigation for flooded rice paddy systems in South Korea using a process-based model. *Paddy and Water Environment*, 14(1), 123–129.
- Datta, A., Nayak, D. R., Sinhababu, D. P., & Adhya, T. K. (2009). Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice-fish farming system of Eastern India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 228–237.
- FAO. (2016). Top 10 Country Production of Rice, Paddy. Diperoleh 20 Agustus 2018, dari http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- Fumoto, T., Kobayashi, K., Li, C., Yagi, K., & Hasegawa, T. (2008). Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. *Global Change Biology*, 14(2), 382–402.
- Gilhespy, S. L., Anthony, S., Cardenas, L., Chadwick, D., del Prado, A., Li, C., ... Smith, P. (2014). First 20 years of DNDC (DeNitrification DeComposition): model evolution. *Ecological Modelling*, 292, 51–62.
- Giltrap, D. L., Li, C., & Saggart, S. (2010). DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 136(3-4), 292–300.
- Hasanah, N. A. I., Setiawan, B. I., Arif, C., & Widodo, S. (2015). Evaluasi koefisien tanaman padi pada berbagai perlakuan muka air. *Jurnal Irigasi*, 10(2), 57–68.
- Hasanah, N. A. I., Setiawan, B. I., Arif, C., & Widodo, S. (2017). Muka air optimum pada System of Rice Intensification (SRI). *Jurnal Irigasi*, 12(1), 55–64.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Dalam *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change* (hal. 35–48). Dordrecht: Springer.
- Hoff, H. (2011). *Understanding the nexus: Background Paper for the Bonn2011 Nexus Conference*. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute. <https://doi.org/doi:10.2307/465875>
- Hou, H., Peng, S., Xu, J., Yang, S., & Mao, Z. (2012). Seasonal variations of CH₄ and N₂O emissions in response to water management of paddy fields located in Southeast China. *Chemosphere*, 89(7), 884–892.
- Hou, H., Yang, S., Wang, F., Li, D., & Xu, J. (2016). Controlled irrigation mitigates the annual integrative global warming potential of methane and nitrous oxide from the rice-winter wheat rotation systems in Southeast China. *Ecological Engineering*, 86, 239–246.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis Working Group in Contribution to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

- Katayanagi, N., Fumoto, T., Hayano, M., Takata, Y., Kuwagata, T., Shirato, Y., ... Yagi, K. (2016). Development of a method for estimating total CH₄ emission from rice paddies in Japan using the DNDC-Rice model. *Science of the Total Environment*, 547, 429–440.
- Li, C. (2009). *User's Guide for the DNDC Model (version 9.3)*. Durham: Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space, University of New Hampshire.
- Li, C., Frolking, S., & Frolking, T. A. (1992). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D9), 9759–9776.
- Li, C. S. (2000). Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. Dalam *Methane Emissions from Major Rice Ecosystems in Asia* (hal. 259–276). Dordrecht: Springer.
- Ma, J., Xu, H., Yagi, K., & Cai, Z. (2008). Methane emission from paddy soils as affected by wheat straw returning mode. *Plant and Soil*, 313(1–2), 167–174.
- Meijide, A., Gruening, C., Goded, I., Seufert, G., & Cescatti, A. (2017). Water management reduces greenhouse gas emissions in a Mediterranean rice paddy field. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 168–178.
- 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.
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., ... Gosling, S. N. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245–3250.
- Setyanto, P. (2004). *Mitigasi Gas Metan dari Lahan Sawah: Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Smakgahn, K., Fumoto, T., & Yagi, K. (2009). Validation of revised DNDC model for methane emissions from irrigated rice fields in Thailand and sensitivity analysis of key factors. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G2).
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., ... Scholes, B. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 363(1492), 789–813.
- Uphoff, N. (2008). The System of Rice Intensification (SRI) as a system of agricultural innovation. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 10(1), 27–40.
- Xu, Y., Ge, J., Tian, S., Li, S., Nguy-Robertson, A. L., Zhan, M., & Cao, C. (2015). Effects of water-saving irrigation practices and drought resistant rice variety on greenhouse gas emissions from a no-till paddy in the central lowlands of China. *Science of the Total Environment*, 505, 1043–1052.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., ... Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(4), 469–475.