

# Model *Denitrification Decomposition* (DNDC) Untuk Estimasi Emisi Gas CH<sub>4</sub> Pada Budidaya Padi Metode *System of Rice Intensification* (SRI)

Badi'atun Nihayah<sup>1</sup>, Bayu Dwi Apri Nugroho<sup>1</sup>, Nur Aini Iswati Hasanah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora, Bulaksumur, Yogyakarta 55281*

<sup>2</sup>*Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, Jakarta*

*Email : badiatunnihayah09@gmail.com, Nomor HP : 081329340779*

## Abstrak

Budidaya padi merupakan sumber emisi utama di sektor pertanian yang menyumbang gas rumahkaca terutama CH<sub>4</sub>. Upaya penurunan emisi gas CH<sub>4</sub> pada penelitian ini dilakukan melalui pengintegrasian komponen teknologi antara varietas, pupuk dan irigasi berselang melalui metode budidaya *System of Rice Intensification* (SRI). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh varietas dan pemupukan terhadap emisi gas CH<sub>4</sub> selama satu musim tanam serta melakukan pemodelan pada emisi CH<sub>4</sub>. Model Denitrification-Decomposition (DNDC) digunakan karena dapat memprediksi emisi gas rumahkaca salah satunya CH<sub>4</sub> dari ekosistem pertanian. Penelitian ini menggunakan Rancangan Nested Design dengan dua faktor perlakuan yaitu pemupukan yang terdiri dari pupuk kandang dan MOL (P1) serta pupuk kandang, ZA, SP36 dan KCl (P2), dan perlakuan varietas yaitu Ciherang (C) dan IR-64 (IR). Hasil observasi menunjukkan bahwa total emisi CH<sub>4</sub> tertinggi yaitu pada perlakuan P1-IR sebesar 136,36 kg/ha/musim dan terendah yaitu perlakuan P2-IR sebesar 88,09 kg/ha/musim. Hasil simulasi menggunakan DNDC juga menunjukkan bahwa perlakuan P1-IR menghasilkan total emisi CH<sub>4</sub> tertinggi sebesar 143 kg/ha/musim dan terendah yaitu perlakuan P2-IR sebesar 59 kg/ha/musim. Evaluasi model hasil observasi dan simulasi DNDC untuk rata-rata fluks CH<sub>4</sub> harian dengan nilai R<sup>2</sup> dan RMSE setiap perlakuan yaitu P1-C ; P1-IR ; P2-C dan P2-IR berturut-turut sebesar (R<sup>2</sup> = 0.65 ; RMSE = 13.19) ; (R<sup>2</sup> = 0.003 ; RMSE = 3.55) ; (R<sup>2</sup> = 0.17 ; RMSE = 32.06) dan (R<sup>2</sup> = 0.35 ; RMSE = 12.25). Hasil simulasi DNDC masih membutuhkan optimasi untuk estimasi emisi CH<sub>4</sub> pada pemupukan dan varietas yang berbeda.

**Kata kunci:** emisi CH<sub>4</sub>; model DNDC; padi; pupuk; *System of Rice Intensification*

## Abstract

*Rice cultivation is the main emission source in the agricultural sector, contributes to greenhouse gases, especially CH<sub>4</sub>. Reduction efforts CH<sub>4</sub> gas emissions in this study carries out by integrating technological components among varieties, fertilizers, and intermittent irrigation through the cultivation of the System of Rice Intensification (SRI) method. This study*

*aims to determine the effect of varieties and fertilization on CH<sub>4</sub> gas emissions during one growing season and model CH<sub>4</sub> emissions. Denitrification-Decomposition (DNDC) model predicts greenhouse gas emissions, which is CH<sub>4</sub> from agricultural ecosystems. It uses a Nested Design with two treatment factors, namely fertilization consisting of manure and MOL (P1) and manure, ZA, SP36, and KCl (P2), and the various treatment, Ciherang (C) and IR-64 (IR). Results of observations showed the highest total CH<sub>4</sub> emission was in the P1-IR treatment of 136.36 kg/ha/season, and the lowest was the P2-IR treatment of 88.09 kg/ha/season. Simulation results using DNDC also showed the P1-IR treatment produced the highest total CH<sub>4</sub> emissions of 143 kg/ha/season, and the lowest was P2-IR treatment of 59 kg/ha/season. Evaluation of DNDC observation and simulation model for average daily CH<sub>4</sub> flux with R<sup>2</sup> and RMSE values for each treatment, namely P1-C; P1-IR ; P2-C and P2-IR respectively (R<sup>2</sup> = 0.65 ; RMSE = 13.19) ; (R<sup>2</sup> = 0.003 ; RMSE = 3.55) ; (R<sup>2</sup> = 0.17 ; RMSE = 32.06) and (R<sup>2</sup> = 0.35 ; RMSE = 12.25). Results of the DNDC simulation still require optimization for the estimation of CH<sub>4</sub> emissions at different fertilization and varieties.*

**Keywords:** CH<sub>4</sub> emission, DNDC model, fertilizer, paddy, System of Rice Intensification

## PENDAHULUAN

Beras merupakan makanan pokok bagi masyarakat Indonesia, budidaya padi berperan penting dalam meningkatkan produksi pangan nasional. Total produksi beras nasional pada tahun 2019 adalah sebesar 31,31 juta ton (BPS, 2020). Di sisi lain, produksi beras merupakan salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim (IRRI, 2020). Pada praktiknya, di Indonesia padi sawah dibudidayakan dua sampai tiga kali dalam setahun. Hal ini menjadi masalah penting terutama untuk keberlanjutan dan perkembangan pertanian yang ramah lingkungan.

Penanaman padi sawah dengan penggenangan air dinilai dapat menghasilkan emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) (Rivera dkk, 2017). Penelitian sebelumnya menyebutkan emisi gas CH<sub>4</sub> dari lahan budidaya padi dapat ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya sifat-sifat tanah, pengaturan sistem irigasi, pemupukan dan varietas tanaman (Wihardjaka, 2015). Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka pada penelitian ini menggunakan faktor

varietas dan pemupukan yang berbeda untuk mengetahui besarnya emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan selama satu musim tanam. Adapun varietas yang digunakan yaitu Ciherang dan IR64, dimana keduanya merupakan varietas yang banyak digunakan oleh petani di Indonesia dengan luas masing-masing yaitu 5.011.968 ha dan IR64 seluas 1.139.395 ha (BBPADI, 2019). Varietas Ciherang dan IR64 merupakan varietas yang memiliki produktivitas tinggi dan rendah emisi gas rumah kaca (Balitbangtan, 2016).

Variabel lingkungan lain yang berpengaruh terhadap emisi gas CH<sub>4</sub> yaitu suhu tanah, pH, potensial redoks (Eh) dan salinitas tanah mempengaruhi metabolisme CH<sub>4</sub> (Wang dkk., 2017). Jalur emisi CH<sub>4</sub> yang terakumulasi pada tanah sawah yang tergenang adalah sebagai berikut: difusi pada air tergenang, kehilangan melalui ebulisi (gelembung) dan pengangkutan melalui sistem aerenkim pada tanaman padi.

Upaya penurunan emisi gas CH<sub>4</sub> dari budidaya padi lahan sawah pada penelitian ini yaitu dengan mengintegrasikan komponen teknologi antara varietas padi rendah emisi,

pupuk kandang matang, pupuk anorganik dan metode budidaya *System of Rice Intensification*. Penerapan metode budidaya *System of Rice Intensification* atau dikenal dengan SRI dinilai dapat meningkatkan hasil produksi dan dapat mengurangi ketergantungan pada irigasi menggenang dan kebutuhan input lainnya dengan mengubah pengelolaan tanaman, tanah, air dan nutrisi (Stoop dkk., 2002). Penerapan metode SRI dengan sistem irigasi terputus efektif dalam penurunan  $\text{CH}_4$  (Katayanagi dkk., 2016).

Dalam beberapa tahun terakhir, model simulasi telah dikembangkan untuk memprediksi emisi gas rumah kaca dari agroekosistem pertanian. Pendekatan model merupakan alat yang efektif untuk mengoptimalkan praktik manajemen lapangan dalam memitigasi emisi gas rumah kaca dari lahan pertanian (Abdalla dkk., 2010). Model *Denitrification Decomposition* (DNDC) adalah salah satu model yang mensimulasikan karbon (C) dan nitrogen (N) jalur biogeokimia di lahan pertanian (Giltrap dkk., 2010). Model DNDC telah banyak digunakan dalam memprediksi emisi gas rumah kaca di beberapa negara iklim subtropis seperti China, Jepang, Korea Selatan dan lain-lain. Penggunaan model DNDC untuk memprediksi gas rumah kaca di Indonesia yang merupakan iklim tropis masih belum banyak digunakan sehingga dikaji lebih dalam untuk kondisi lingkungan disini. Rahmat dkk., (2018) telah melakukan penelitian terkait pemodelan DNDC pada budidaya padi metode SRI menggunakan tiga rezim air yang berbeda. Hasil simulasi model DNDC dalam memprediksi fluks gas  $\text{CH}_4$  menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan terhadap data aktual di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi gas  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dari budidaya padi metode SRI dengan varietas dan pemupukan yang berbeda, serta memodelkan

emisi gas  $\text{CH}_4$  dari setiap perlakuan selama satu musim tanam dengan menggunakan model *Denitrification Decomposition* (DNDC). Penelitian diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi dalam pemilihan metode budidaya SRI dengan menggunakan pupuk yang sesuai.

## METODE PENELITIAN

### ALAT DAN BAHAN

Alat untuk monitoring lingkungan mikro terdiri dari *rain gauge ECRN-100*, *pyranometer PYR total solar radiation* (sensor radiasi matahari), *VP-4 humidity temperature sensor* dan *data logger EM50* untuk menyimpan data. *Sensor 5-TE* untuk mengetahui kondisi tanah diantaranya suhu, kelembaban dan daya hantar listrik. *Software* yang digunakan untuk *download* data yaitu ECH20. pH meter merk Mettler Toledo tipe SevenGo Duo pH untuk mengukur derajat keasamaan tanah (pH). ORP meter tipe ORP-169E untuk mengukur potensial redoks (Eh). Alat yang digunakan untuk pengambilan sampel gas metana yaitu *chamber* berbentuk tabung dengan diameter 25 cm dengan dilengkapi kipas, termometer digital, suntikan volume 50-65 ml, tabung vakum plain 10 ml, jarum, selang dan kantong plastik serta *chamber based* yang dipasang permanen hingga panen. Alat yang dibutuhkan sebagai tempat penanaman padi yaitu box berbahan fiberglass berukuran 150 x 100 x 40 cm. Kelengkapan untuk irigasi yaitu tandon air, pipa ukuran  $\frac{3}{4}$  inch, *valve input* dan *output* pipa air.

Bahan-bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini diantaranya padi dengan dua varietas yang berbeda yaitu: Cihang dan IR64 yang diperoleh dari Balai Besar Penelitian Padi Balitbangtan Kementerian Pertanian. Tanah yang berasal dari sawah budidaya padi di Turi, Sleman, pupuk kandang

matang dengan komposisi C Organik 12% dan C/N rasio 15%. Mikro Organisme Lokal (MOL) buatan sendiri sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil pengujian kandungan N, P dan K total pada MOL

Jenis MOL	Bahan	Parameter	Kandungan (%)
MOL N	Bayam, tauge, air rendaman beras, starter, gula	N-Total	1,55
		P-Total	0,28
		K-Total	0,42
MOL P	Bonggol pisang, air rendaman beras, starter, gula	N-Total	2,32
		P-Total	0,07
		K-Total	0,31
MOL K	Limbah teh, air rendaman beras, starter dan gula	N-Total	2,53
		P-Total	0,08
		K-Total	0,21

Sumber : Laporan Hasil Pengujian MOL di Laboratorium Balitbangtan Tahun 2020

**Tabel 2.** Hasil pengujian kandungan N,P dan K total pada Pupuk Anorganik

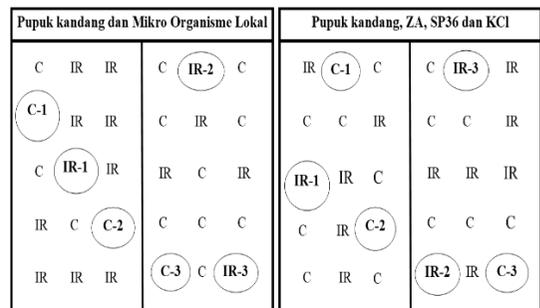
Jenis Pupuk	Parameter	Kandungan (%)
ZA	N-Total	0,98
	P-Total	0,36
	K-Total	
SP36	N-Total	1,40
	P-Total	0,07
	K-Total	0,21
KCl	N-Total	2,19
	P-Total	0,20
	K-Total	33,81

Sumber : Laporan Hasil Pengujian MOL di Laboratorium Balitbangtan Tahun 2020

**METODE**

Penelitian ini menggunakan model fisik *Nested Design* atau dikenal dengan Rancangan Tersarang. Rancangan penelitian terdiri dari 2 faktor yaitu pemupukan dan varietas. Faktor pemupukan (A) mempunyai keragaman yang bebas dan varietas (B) tidak mempunyai keragaman bebas namun keragamannya terletak di dalam faktor A. Masing-masing faktor terdiri dari 2 taraf dan faktor B diulang 3 kali. Plot percobaan dapat disajikan pada Gambar 1 berikut:

- 1) Pemupukan
  - P1 : kandang matang dan MOL
  - P2 : kandang matang, ZA, SP36 dan KCl
- 2) Varietas
  - C : Ciherang
  - IR : IR64



**Gambar 1.** Plot Desain Rancangan Percobaan (Sumber: Penulis)

Jadwal, jenis dan dosis pemupukan setiap perlakuan disajikan pada **Tabel 3 dan Tabel 4.**

**Tabel 3.** Jenis dan dosis pupuk untuk perlakuan P1

Umur Tanaman (HST)	Jenis Pupuk	Perbandingan	Dosis (lt/ha)
10	MOL N	1 : 10	40
20		1 : 8	
30		1 : 6	
40		1 : 5	
45-90	Mol P dan K	1 : 5	

Sumber: Hasil pengujian laboratorium oleh penulis

**Tabel 4.** Jenis dan dosis pupuk untuk perlakuan P2

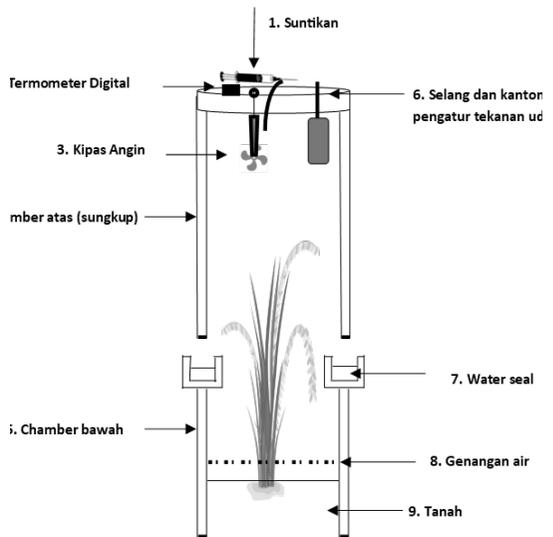
Umur Tanaman (HST)	Jenis Pupuk	Dosis (kg/ha)
10	ZA ; SP36 dan KCl	75 ; 100 ; 50
25	ZA	150
40	ZA dan KCl	75 ; 50

Sumber: Hasil pengujian laboratorium oleh penulis

Pada penelitian ini pemindahan bibit dilakukan pada 11 hari setelah semai dengan penanaman satu lubang satu bibit dan jarak tanam 30 x 30 cm. Irigasi yang digunakan yaitu berselang (intermittent) dengan pengaturan tinggi muka air pada 0-40 HST 2 cm diatas permukaan tanah dan -3 cm pada 46-90 HST. Penyiangan dilakukan secara manual menggunakan tangan setiap 10 hari sekali.

Pengambilan sampel gas metana dilakukan setiap dua minggu sekali. *Chamber based dipasang* secara permanen dari awal tanam hingga panen pada setiap sehingga tidak ada perubahan. *Chamber* (sungkup)

yang telah dilengkapi dengan thermometer, suntikan, kantong tedlar diletakkan pada *chamber*. Kipas angin kemudian dinyalakan selama 1 menit dan sampel gas mulai diambil menggunakan suntikan dilengkapi dengan selang dengan keran 3 arah yang terhubung ke *chamber*. Sampel gas tersebut dimasukkan ke dalam tabung *vacuum plain* dan ditutup dengan cat kuku. Pengambilan sampel gas dilakukan tiga kali dengan interval waktu 0, 10 dan 20 menit. Sampel gas diambil setiap 14 hari sekali pada pukul 09.00 WIB dari awal tanam hingga akhir panen. Skema alat untuk pengambilan data gas CH<sub>4</sub> dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Skema alat pengambilan gas CH<sub>4</sub> (Sumber: Desain penulis berdasarkan acuan pengukuran emisi gas rumahkaca (IAEA-International Atomic Energy Agency, 1992))

Hasil analisis gas metana menggunakan Gas Chromatography yang dilengkapi dengan *Flame Ionization Detector* (FID) berupa nilai satuan ppm yang dianalisa di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan, Pati. Untuk penentuan

fluks emisi gas metana berdasarkan laju perubahan konsentrasi gas per satuan waktu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times h_{ch} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2 + T} \quad (1)$$

dimana:

- $EE$  = Fluks CH<sub>4</sub> (mg/m<sup>2</sup>/menit)
- $\frac{\delta C \delta C}{\delta t \delta t}$  = Perbedaan konsentrasi CH<sub>4</sub> per waktu pengambilan (ppm/menit)
- $h_{ch}h_{ch}$  = Tinggi chamber (cm)
- $mWmW$  = Berat molekul CH<sub>4</sub> (g)
- $mVmV$  = Volume molekul CH<sub>4</sub> (22,41 liter pada suhu dan tekanan standar)
- $TT$  = Suhu selama sampling (°C)

Total fluks dihitung dengan menggunakan persamaan *Numeric Simpson* sebagai berikut:

$$f(x)dx = \frac{b-a}{6} \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad (2)$$

dimana:

- a = Waktu awal budidaya padi
- b = Waktu akhir budidaya padi

**MODEL DENITRIFICATION DECOMPOSITION (DNDC)**

Model DNDC adalah model simulasi komputer yang berorientasi pada proses *biogeochemistry* karbon dan nitrogen dalam ekosistem pertanian pada skala lokasi atau regional. Model DNDC terdiri dari 2 (dua) komponen. Komponen pertama diantaranya iklim, tanah, pertumbuhan tanaman dan sub-model dekomposisi, suhu tanah, kelembaban, pH, potensial redoks (Eh) dan konsentrasi substrat (misalnya, iklim, tanah, vegetasi dan aktifitas antropogenik. Komponen kedua

terdiri dari sub model nitrifikasi, denitrifikasi dan fermentasi untuk memprediksi emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), ammonia (NH<sub>3</sub>), oksida nitrat (NO), nitrous oksida (N<sub>2</sub>O) dan dinitrogen (N<sub>2</sub>) dari tanah dan tanaman. Untuk memodelkan estimasi gas CH<sub>4</sub> dengan menggunakan *software* DNDC versi 9.5.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**KONDISI IKLIM DAN TANAH**

Penelitian ini dilakukan di Kebun Tridharma, Universitas Gadjah Mada, Banguntapan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak pada 7°48'14,7" LS 110°24'48,9"BT. Penelitian dilakukan di dalam *screen net* yang berupa jaring halus dan rapat untuk mengurangi resiko serangan hama dan hewan pengganggu tanaman. Penelitian berlangsung pada 12 Oktober 2020 - 4 Februari 2021. Hasil analisa tekstur tanah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir berlempung (*sandy loam*) yang terdiri dari 56% pasir, 24% debu dan 20% liat dengan porositas tanah sebesar 52,8%. Kapasitas lapang sebesar 30,68% dan titik layu 9,3%. Monitoring iklim yang terdiri dari suhu udara, kelembaban udara, radiasi matahari dan curah hujan dari pemasangan sensor disajikan pada **Tabel 6**.

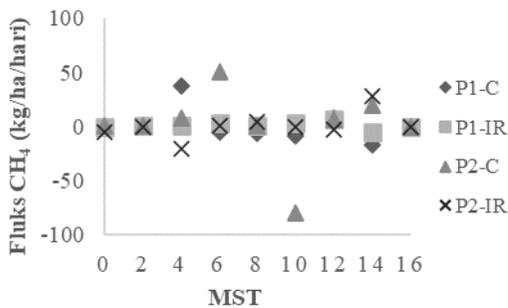
**Tabel 6.** Kondisi iklim mikro di lokasi penelitian

	T (°C)	RH	Rad. Mthr (W/m <sup>2</sup> )	Curah Hujan (mm)	Hari hujan (hari)
<b>Min</b>	21.6	44	7.3	-	-
<b>Maks</b>	38.3	94.7	1032.7	-	-
<b>Rerata</b>	26.9	80.8	151.3	-	-
<b>Total</b>	-	-	-	1491	83

Sumber: Hasil pengukuran oleh penulis

### FLUKS EMISI GAS CH<sub>4</sub>

Fluks merupakan pola perubahan laju gas CH<sub>4</sub> selama satu periode musim tanam. Berdasarkan keempat perlakuan yaitu P1-C, P1-IR, P2-C dan P2-IR, diperoleh nilai fluks dan total fluks yang berbeda-beda antar perlakuan. Gambar menunjukkan perubahan laju emisi gas CH<sub>4</sub> dari awal budidaya hingga panen (0-16 MST) pada ke empat perlakuan menggunakan budidaya metode SRI.



**Gambar 3.** Fluks CH<sub>4</sub> hasil observasi  
 Sumber: Hasil analisis data oleh penulis

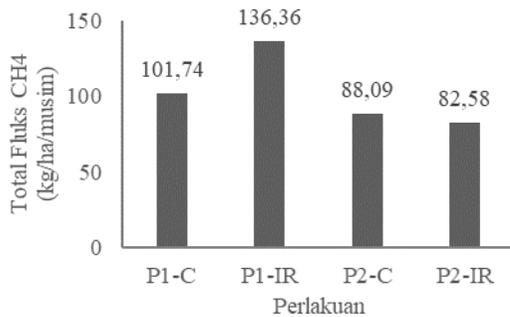
Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pola fluks emisi CH<sub>4</sub> semua perlakuan cenderung fluktuatif. Fluks CH<sub>4</sub> tertinggi untuk perlakuan pemupukan kandang dengan MOL pada varietas ciherang (P1-C) sebesar 37.87 kg/ha/hari ketika umur 4 MST. Pada waktu tersebut tanaman padi memasuki fase vegetatif dengan jumlah anakan semakin banyak, sehingga kerapatan dan jumlah pembuluh aerenkima meningkat yang mengakibatkan kapasitas pengangkutan CH<sub>4</sub> menjadi lebih besar (Aulakh dkk., 2000). Selain itu dapat disebabkan adanya penggenangan pada fase vegetatif selama 40 HST dengan kelembaban tanah berkisar antara 0.32 - 0.35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Sedangkan nilai fluks CH<sub>4</sub> perlakuan P1-C terendah yaitu sebesar -16.75 kg/ha/hari pada fase pematangan umur 14 MST, dimana saat tersebut terjadi pengeringan

lahan hingga panen. Fluks CH<sub>4</sub> yang bernilai negatif menunjukkan adanya proses absorpsi atau penyerapan CH<sub>4</sub> yang berkaitan dengan aktivitas mikroba dan kondisi cuaca.

Pada perlakuan pemupukan yang sama untuk varietas IR-64, pola fluks emisi CH<sub>4</sub> terjadi kenaikan dari fase vegetatif hingga fase generatif dan mencapai puncak tertinggi pada 12 MST sebesar 6.19 kg/ha/hari. Jika dilihat dari kondisi tanah, pada fase tersebut kelembaban tanah berada pada nilai 0.36 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> dengan pH netral sebesar 6.88 dimana menurut Wang dkk., (1993) CH<sub>4</sub> optimum diproduksi pada pH mendekati netral. Fluks CH<sub>4</sub> terendah yaitu sebesar -4.49 kg/ha/hari diumur 14 MST sama halnya dengan varietas ciherang. Pola fluks emisi CH<sub>4</sub> pada perlakuan pemupukan P2 varietas ciherang (P2-C) selama fase vegetatif cenderung meningkat dan puncaknya pada umur 6 MST sebesar 50.48 kg/ha/hari ketika tanaman padi memasuki fase anakan maksimum dengan rata-rata jumlah anakan sebesar 26. Apabila dilihat dari kondisi tanah, pada umur 6 MST tersebut merupakan masa peralihan dari tergenang ke pengeringan lahan sebelum adanya penurunan tinggi muka air menjadi 3 cm di bawah permukaan tanah. Fluks CH<sub>4</sub> tersebut merupakan nilai tertinggi diantara semua perlakuan. Memasuki fase generatif yaitu saat bunting dan pembungaan pada 10 MST, terjadi proses absorpsi sebesar -79.78 kg/ha/hari. Berbeda dengan perlakuan yang lainnya, pada varietas IR-64 fluks CH<sub>4</sub> tertinggi dicapai pada saat umur 14 MST atau fase pemasakan sebesar 27.89 kg/ha/hari dan terendah -21.08 kg/ha/hari ketika 4 MST. Kondisi lingkungan tanah pada 4 MST dan 14 MST tidak berbeda nyata, dimana 4 MST kelembaban tanah yaitu 0.37 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> dan 14 MST 0.38 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Jumlah anakan pada 4 MST juga masih mengalami penambahan.

**TOTAL FLUKS EMISI GAS CH<sub>4</sub>**

Total fluks emisi CH<sub>4</sub> diperoleh berdasarkan pola perubahan setiap minggu selama satu periode masa tanam padi yang diplotkan pada **Gambar 4** berikut:



**Gambar 4.** Total fluks CH<sub>4</sub> Semua Perlakuan Berdasarkan Hasil Observasi (Sumber: Hasil analisis data oleh penulis)

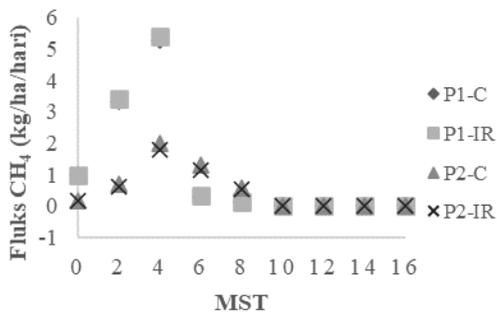
Keempat perlakuan menunjukkan bahwa total fluks emisi CH<sub>4</sub> dalam satu musim tanam padi tertinggi yaitu pada perlakuan pemupukan kandang dan MOL (P1) varietas IR-64 sebesar 136.36 kg/ha/musim dan ciherang yaitu 101.74 kg/ha/musim. Sedangkan pada pemupukan antara kandang matang, ZA, SP36 dan KCl (P2) untuk varietas ciherang sebesar 88.09 kg/ha/musim dan IR-64 yaitu 82.58 kg/ha/musim. Hasil tersebut lebih besar dari total fluks emisi CH<sub>4</sub> yang dilaporkan oleh Arif dkk., (2015) pada budidaya padi menggunakan metode SRI varietas ciherang yaitu sebesar 35.77 kg/ha/musim. Penelitian menggunakan varietas yang sama dilakukan oleh Yunianti dkk., (2020) dengan aplikasi pupuk kompos serta tambahan urea, SP36 dan KCl di lahan sawah tadah hujan dengan metode jajar legowo 2 : 1 menghasilkan total emisi sebanyak 153 kg/ha/musim. Total fluks emisi CH<sub>4</sub> varietas ciherang berdasarkan pengukuran secara

langsung di lapangan pada penelitian ini lebih rendah dari metode lain yaitu jajar legowo 2:1.

Faktor pemupukan menunjukkan hasil total fluks emisi CH<sub>4</sub> yang berbeda, dimana pemupukan kandang, ZA, SP36 dan KCl (P2) menghasilkan total fluks CH<sub>4</sub> lebih rendah dibanding pupuk kandang dan MOL (P1). Apabila dilihat berdasarkan perbedaan pemupukan, perlakuan pemupukan (P2) varietas ciherang menghasilkan 13.42% dan IR-64 sebesar 39.43% emisi CH<sub>4</sub> lebih rendah dari pemupukan (P1). Sedangkan dari faktor varietas yang berbeda dengan perlakuan pemupukan yang sama, ciherang menghasilkan emisi CH<sub>4</sub> 25.38% lebih rendah dari IR-64 pada pemupukan (P1) dan varietas IR-64 menghasilkan emisi CH<sub>4</sub> 6.25% lebih rendah dibanding ciherang untuk perlakuan pemupukan (P2).

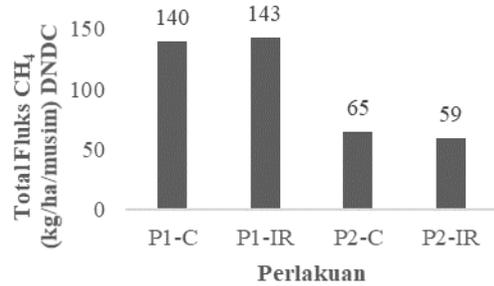
**MODEL DENITRIFICATION DECOMPOSITION (DNDC)**

Model DNDC merupakan suatu model yang dikembangkan untuk mensimulasikan siklus biogeokimia C dan N serta emisi gas rumah kaca pada ekosistem padi sawah (Li dkk., 1992). Parameter data input yang dibutuhkan untuk menjalankan model termasuk kondisi iklim (curah hujan, suhu udara), sifat tanah (tekstur, berat jenis, pH, SOC, kandungan nitrat dan amonium) dan praktik manajemen pertanian (pemupukan, irigasi, pengolahan tanah, produksi biomassa). Hasil simulasi fluks emisi CH<sub>4</sub> masing-masing perlakuan selama satu periode musim tanam disajikan pada **Gambar 5** berikut:



**Gambar 5.** Fluks CH<sub>4</sub> Hasil Model DNDC (Sumber: Hasil pemodelan oleh penulis)

Berdasarkan **Gambar 5** untuk semua perlakuan menunjukkan bahwa fluks CH<sub>4</sub> mengalami peningkatan dari 0-4 MST saat fase vegetatif kemudian mengalami penurunan dari 6-8 MST dan terjadi proses absorpsi pada 10 MST dan 16 MST ketika panen. Puncak emisi dari semua perlakuan (P1-C, P1-IR, P2-C dan P2-IR) terjadi saat umur 4 MST berturut turut yaitu 5.27 kg/ha/hari, 5.39 kg/ha/hari, 1.98 kg/ha/hari dan 1.79 kg/ha/hari. Sedangkan fluks terendah dari semua perlakuan terjadi pada 10 MST (P1-C, P1-IR) sebesar -0.001 kg/ha/hari dan (P2-C, P2-IR) -0.002 kg/ha/hari. Berdasarkan hasil yang diperoleh, DNDC mensimulasikan perubahan pola emisi gas CH<sub>4</sub> yang sama pada semua perlakuan. Dimana puncak emisi terjadi pada 4 MST ketika fase vegetatif atau pertumbuhan anakan sehingga berpengaruh juga terhadap eksudat akar yang memungkinkan bakteri metanogen terbentuk (Kludze dkk., 1993). Penurunan fluks emisi CH<sub>4</sub> terjadi pada 6 MST saat terjadi pengeringan dan penurunan tinggi muka air. Pada penelitiannya Zhao dkk., (2020) menyebutkan bahwa penurunan fluks CH<sub>4</sub> terjadi pada periode aerasi drainase tanah. DNDC mensimulasikan kenaikan Eh tanah ketika oksigen pada tanah merupakan akseptor elektron dominan setelah peristiwa drainase, dengan demikian fluks CH<sub>4</sub> rendah dikarenakan adanya penghambatan produksi CH<sub>4</sub> dan oksidasi CH<sub>4</sub> meningkat.



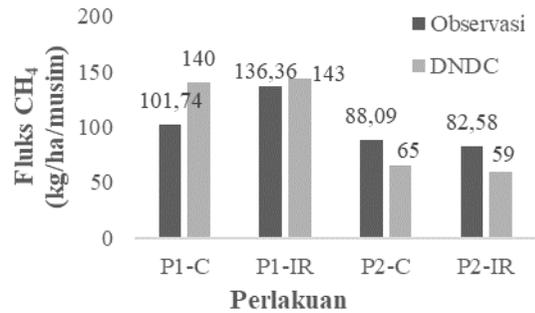
**Gambar 6.** Total Fluks Emisi CH<sub>4</sub> Model DNDC (Sumber: Hasil pemodelan oleh penulis)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa total emisi gas CH<sub>4</sub> dalam satu musim tanam tertinggi yaitu pada perlakuan pemupukan kandang dan MOL (P1) dari kedua varietas yaitu IR-64 (P1-IR) sebesar 143 kg/ha/musim dan ciherang (P1-C) 140 kg/ha/musim. Sedangkan pada perlakuan pemupukan kandang, ZA, SP36 dan KCl (P2) dari kedua varietas yaitu ciherang (P2-C) sebesar 65 kg/ha/kg/musim dan IR-64 (P2-IR) 59 kg/ha/musim. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat dilihat bahwa perlakuan pemupukan yang berbeda pada perlakuan (P2) varietas ciherang menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub> 53.57% dan IR-64 sebesar 58.74% lebih rendah dibanding perlakuan pemupukan (P1). Sedangkan untuk perlakuan pemupukan yang sama (P1) dengan varietas berbeda menunjukkan bahwa ciherang menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub> 2.09% lebih rendah dibanding IR-64 P1. Sedangkan untuk perlakuan pemupukan (P2) varietas IR-64 menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub> 9.23% lebih rendah dibanding varietas ciherang. Varietas yang berbeda dalam perlakuan pemupukan yang sama menunjukkan presentase selisih total fluks CH<sub>4</sub> yang rendah dibanding dengan perlakuan pemupukan yang berbeda pada varietas yang sama. Hasil simulasi penelitian ini dapat disimpulkan bahwa DNDC tidak spesifik mensimulasikan emisi CH<sub>4</sub> berdasarkan varietas. Babu dkk., (2006)

dalam penelitiannya menyebutkan bahwa model DNDC dapat membedakan antara dua varietas jika terdapat data parameter tanaman yang relevan (potensi hasil biomassa: rasio bulir, daun, batang, akar, rasio C/N). Namun, DNDC dapat mensimulasikan emisi CH<sub>4</sub> berdasarkan perlakuan pemupukan. Dimana pada perlakuan pemupukan kandang dan MOL dari kedua varietas menghasilkan total emisi yang lebih tinggi dibanding pemupukan kandang, ZA, SP36 dan KCl. Hal ini dapat disebabkan oleh perlakuan pemupukan (P2) dengan penambahan ZA yang mengandung ammonium sulfat dapat menghambat pembentukan bakteri metanogen. Le Mer dan Roger, (2001) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa pada tingkat biokimia, enzim yang mengoksidasi CH<sub>4</sub> mengikat dan bereaksi dengan ammonium. Mekanisme penghambatan CH<sub>4</sub> oleh ammonium ini terjadi ketika ammonium pada tanah jauh berlimpah daripada CH<sub>4</sub> karena metanotrof memiliki afinitas (kecenderungan unsur atau senyawa untuk membentuk ikatan kimia) yang relatif rendah (Yang dkk., 2011). Berbeda pada perlakuan pemupukan (P1) yang menggunakan pupuk kandang dan MOL berbentuk cair, dimana N yang terkandung adalah nitrat. Menurut Cai dkk., (2013) nitrat merupakan pupuk yang mudah hilang melalui pencucian (*leaching*). Wang dkk., (1992) melaporkan bahwa penambahan pupuk berbasis nitrat dapat meningkatkan Eh tanah sebesar 220 mV dan dapat menghambat produksi CH<sub>4</sub>. Namun, efek penghambatan tersebut bersifat jangka pendek karena adanya proses denitrifikasi yang kuat pada nitrat. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua pupuk nitrogen (nitrat dan ammonium) berkontribusi terhadap pengurangan emisi CH<sub>4</sub> ditingkat yang berbeda. Alasan lain yaitu penggunaan pupuk nitrogen berbasis nitrat yang digunakan pada penelitian ini berbentuk cair, saat setelah diaplikasikan kemudian

terjadi hujan sehingga ada proses *leaching* dan belum dapat terserap secara optimal oleh tanaman padi.

**PERBANDINGAN TOTAL EMISI CH<sub>4</sub> HASIL OBSERVASI DAN SIMULASI**



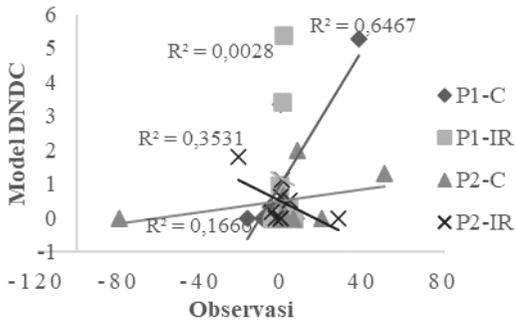
**Gambar 7.** Total Emisi CH<sub>4</sub> hasil observasi dan model DNDC (Sumber: Hasil analisis data oleh penulis)

Berdasarkan **Gambar 7** total fluks hasil observasi dan simulasi membentuk pola atau kecenderungan naik dan turun relatif sama. Namun jika dilihat dari selisih keduanya, pada perlakuan pemupukan (P1) menunjukkan bahwa hasil simulasi total emisi CH<sub>4</sub> varietas ciherang 27.32% dan IR-64 4.65% lebih tinggi daripada hasil observasi. Sedangkan pada perlakuan pemupukan (P2), hasil simulasi total emisi CH<sub>4</sub> varietas ciherang 26.21% dan 28.55% lebih rendah dibanding hasil observasi.

**EVALUASI MODEL**

Model dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) dan *root mean square error* (RMSE). RMSE dianggap sebagai metode untuk mengukur kinerja suatu model karena merangkum perbedaan rata-rata dalam satu unit nilai hasil observasi dan simulasi (Willmott, 1982). Hasil uji koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) dan nilai RMSE semua perlakuan dalam satu musim disajikan pada

**Gambar 8** dan **Tabel 7** berikut:



**Gambar 8.** Hubungan fluks CH<sub>4</sub> hasil observasi terhadap model DNDC (Sumber: Hasil analisis data oleh penulis)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai R<sup>2</sup> tertinggi berturut-turut dari semua perlakuan P1-C 0.65 ; P2-IR 0.35 ; P2-C 0.17 dan P1-IR 0.003. Koefisien determinasi dikatakan kuat apabila nilainya mendekati 1, sehingga pada perlakuan P1-C, hasil simulasi mendekati observasi. Hasil serupa dinyatakan oleh Katayanagi dkk., (2016) dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa hasil simulasi DNDC mendekati observasi dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0.86. Namun berbeda dengan perlakuan yang lain, dimana nilai R<sup>2</sup> berada dibawah 0.5 yang mengindikasikan bahwa hasil simulasi jauh dari observasi. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan nilai fluks CH<sub>4</sub> pada hasil observasi memiliki selisih yang besar terhadap simulasi, misalnya pada perlakuan P2-C nilai fluks CH<sub>4</sub> observasi ketika 6 MST yaitu 50.48 kg/ha/hari sedangkan simulasi 1.3 kg/ha/hari.

**Tabel 7.** Nilai R<sup>2</sup> dan RMSE Fluks CH<sub>4</sub> antara Observasi Terhadap Model DNDC dalam Satu Musim

Metode Analisa	Perlakuan			
	P1-C	P1-IR	P2-C	P2-IR
R <sup>2</sup>	0.65	0.003	0.17	0.35
RMSE	13.19	3.55	32.06	12.25

Sumber: Hasil analisis data oleh penulis

Berdasarkan **Tabel 7** menunjukkan bahwa nilai RMSE terendah dari semua perlakuan secara berurutan yaitu P1-IR 3.55 ; P2-IR 12.25 ; P1-C 13.19 dan P2-C 32.06. Dalam ukuran akurasi, model simulasi dikatakan baik apabila nilai RMSE mendekati 0. Hasil analisis RMSE yang diperoleh hampir dari semua perlakuan menunjukkan nilai yang besar dan jauh dari 0, sehingga dapat dikatakan bahwa akurasi model simulasi terhadap observasi kurang baik. Dalam penelitiannya Babu dkk., (2006) menyebutkan nilai RMSE yang diperoleh yaitu sebesar 19.37 dan berpendapat bahwa model DNDC dapat mensimulasikan seluruh fluks CH<sub>4</sub> rata-rata harian namun akurasinya tidak sepenuhnya memuaskan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### KESIMPULAN

Total emisi CH<sub>4</sub> tertinggi dihasilkan pada perlakuan pemupukan menggunakan pupuk kandang dan MOL pada varietas IR-64 dan terendah pada perlakuan pemupukan kandang, ZA, SP36 dan KCl varietas IR-64. Model DNDC dapat mensimulasikan total emisi CH<sub>4</sub> berdasarkan perbedaan perlakuan pemupukan, dimana diketahui bahwa perlakuan pupuk kandang, ZA, SP36 dan KCl menghasilkan total emisi CH<sub>4</sub> lebih rendah

daripada pupuk kandang, dan MOL. Namun berdasarkan evaluasi model menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan RMSE untuk rata-rata fluks  $CH_4$  harian menunjukkan bahwa akurasi hasil simulasi terhadap observasi belum cukup baik.

## SARAN

Penggunaan model DNDC untuk estimasi emisi gas  $CH_4$  melalui budidaya metode SRI masih membutuhkan optimasi untuk meningkatkan keakuratan model terhadap karakteristik kondisi wilayah di Indonesia dan khususnya kondisi aerob pada budidaya metode SRI.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini di danai oleh Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Inovasi Nasional pada Skema Penelitian Tesis Magister Tahun 2020.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, M., Jones, M., Yeluripati, J., Smith, P., Burke, J., & Williams, M. (2010). Testing DayCent and DNDC model simulations of  $N_2O$  fluxes and assessing the impacts of climate change on the gas flux and biomass production from a humid pasture. *Atmospheric Environment*, 44(25), 2961–2970. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.05.018>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Widodo, S., Sipil, T., Darmaga, K. I. P. B., Mesin, T., & Darmaga, K. I. P. B. (2015). *Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan Untuk Menduga Emisi Gas Rumah Kaca Dari Lahan Sawah Dengan Berbagai Rejim Air Development Of Artificial Neural Network To Predict Greenhouse Gas Emissions From Rice Fields With Different Water Regimes Oleh : 10(1), 1–10.*
- Aulakh, M. S., Bodenbender, J., Wassmann, R., & Rennenberg, H. (2000). Methane transport capacity of rice plants. II. Variations among different rice cultivars and relationship with morphological characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 58(1–3), 367–375. <https://doi.org/10.1023/A:1009839929441>
- Babu, Y. J., Li, C., Froelking, 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. <https://doi.org/10.1007/s10705-005-6111-5>
- Balitbangtan. (2016). *Varietas Rendah Emisi Gas Rumah Kaca.*
- BBPADI. (2019). *BBPADI - Top 10 Varietas Padi Tahun 2018.*
- Cai, Z., Shan, Y., Xu, H., Cai, Z., Shan, Y., & Xu, H. (2013). *Soil Science and Plant Nutrition Effects of nitrogen fertilization on  $CH_4$  emissions from rice fields Effects of nitrogen fertilization on  $CH_4$  emissions from rice fields. 0768.* <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00153.x>
- Ferry Yuniarti, I., Yulia ningrum, H., & Ariani, M. (2020). Pengaruh Pemberian Variasi Bahan Organik Terhadap Peningkatan Produksi Padi dan Penurunan Emisi Metana ( $CH_4$ ) di Lahan Sawah Tadah Hujan. *Jurnal Ecolab*, 14(2), 79–90. <https://doi.org/10.20886/jklh.2020.14.2.79-90>

- Giltrap, D. L., Li, C., & Saggarr, S. (2010). DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136(3–4), 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.06.014>
- IAEA-International Atomic Energy Agency (1992). (1992). Manual on measurement of methane. *Manual on Measurement OfMethane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural*, 52.
- IRRI. (2020). *International Rice Research Institute*. Journal of Tropical Ecology. <https://doi.org/10.1017/s0266467400004065>
- Katayanagi, N., Fumoto, T., Hayano, M., Takata, Y., Kuwagata, T., Shirato, Y., Sawano, S., Kajiura, M., Sudo, S., Ishigooka, Y., & Yagi, K. (2016). Development of a method for estimating total CH<sub>4</sub> emission from rice paddies in Japan using the DNDC-Rice model. *Science of The Total Environment*, 547, 429–440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.149>
- Kludze, H. K., DeLaune, R. D., & Patrick Jr., W. H. (1993). Aerenchyma Formation and Methane and Oxygen Exchange in Rice. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2), 386–391. <https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020017x>
- Le Mer, J., & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology*, 37(1), 25–50. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6)
- Li, C., Frolking, S., & Frolking, T. A. (1992). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Model applications. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D9), 9777–9783. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/92JD00510>
- Rahmat, A., Arif, C., & Chadirin, Y. (2018). *Estimasi Gas Rumah Kaca Pada Berbagai Macam Pengelolaan Air Menggunakan Model Denitrifikasi-Dekomposisi ( DNDC ) Greenhouse Gas Estimation In Various Water Management Using Denitrification-Decomposition Model ( DNDC ) Oleh :* 11–20.
- Rivera, A., Bravo, C., & Buob, G. (2017). Climate Change and Land Ice. In *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0538>
- Stoop, W. A., Uphoff, N., & Kassam, A. (2002). A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers. *Agricultural Systems*, 71(3), 249–274. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00070-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00070-1)
- Wang, Z. P., DeLaune, R. D., Masscheleyn, P. H., and Patrick, J. W. H. (1993). Soil Redox and pH Effects on Methane Production in a Flooded Rice Soil. *Soil Redox and PH Effects on Methane Production in a Flooded Rice Soil*, 382–385.

- Wang, C., Lai, D. Y. F., Sardans, J., Wang, W., Zeng, C., & Peñuelas, J. (2017). Factors related with CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from a paddy field: Clues for management implications. *PLoS ONE*, *12*(1), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169254>
- Wang, Z., Delaune, R. D., Lindau, C. W., & Patrick, W. H. (1992). Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers. *Fertilizer Research*, *33*(2), 115–121. <https://doi.org/10.1007/BF01051166>
- Wihardjaka, A. (2015). *Mitigation of Methane Emission Through Lowland Management*. *34*, 95–104.
- Willmott, C. J. (1982). *Some Comments on the Evaluation of Model Performance*. 1309–1313.
- Yang, N., Lü, F., He, P., & Shao, L. (2011). Response of methanotrophs and methane oxidation on ammonium application in landfill soils. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *92*(5), 1073–1082. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3389-x>
- Zhao, Z., Cao, L., Deng, J., Sha, Z., Chu, C., Zhou, D., Wu, S., & Lv, W. (2020). Modeling CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission patterns and mitigation potential from paddy fields in Shanghai, China with the DNDC model. *Agricultural Systems*, *178*(November 2019), 102743. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102743>

### **BIODATA PENULIS**

Badi'atun Nihayah, lahir di Tuban pada 9 Desember 1993. Selain sebagai mahasiswa juga bekerja sebagai Asisten Riset di Departemen Teknik Pertanian. Sebelumnya menempuh Pendidikan S-1 di Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada pada Tahun 2012-2016 yang kemudian melanjutkan Pendidikan S-2 Prodi Teknik Pertanian. Saat ini bekerja sebagai Asisten Riset pada beberapa penelitian terkait perubahan iklim, emisi gas rumah kaca dan bidang pertanian lainnya seperti budidaya padi ramah lingkungan.