

**VALIDASI MODEL DNDC (*DENITRIFICATION-DECOMPOSITION*)
TERHADAP EMISI METANA (CH₄) PADA BUDIDAYA TANAMAN
PADI (*Oryza sativa* L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN LAMPUNG
TENGAH**

(Tesis)

Oleh

**Tuti Nurkhomariyah
2224011007**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

VALIDASI MODEL DNDC (*DENITRIFICATION-DECOMPOSITION*) TERHADAP EMISI METANA (CH₄) PADA BUDIDAYA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH

Oleh

Tuti Nurkhomariyah

Perubahan iklim menjadi permasalahan lingkungan utama pada abad-21 yang diakibatkan oleh pemanasan global. Naiknyan suhu bumi disebabkan karena adanya gas rumah kaca seperti metana. Pada sektor pertanian kegiatan budidaya padi sawah yang tergenang menjadi salah satu sumber utama gas metana dengan emisinya mencapai 90% dari CH₄ tahunan global. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan laju emisi metana pada tiga varietas padi sawah yang sering dibudidayakan petani di Kabupaten Lampung Tengah dan memvalidasi model DNDC untuk mengukur emisi gas rumah kaca pada padi sawah yang dibudidayakan di Kabupaten Lampung Tengah. Tiga varietas yang diamati yakni Ciliwung, Inpari 32 dan Cakrabuana. Hasilnya Varietas Ciliwung dan Cakrabuana memiliki laju emisi metana yang lebih besar masing-masing memiliki rata-rata laju emisi 12,823 kg C/ha/tahun dan 19,866 kg C/ha/tahun dibandingkan pada Varietas Inpari 32 dengan rata-rata laju emisi 2,017 kg C/ha/tahun berdasarkan pengukuran secara langsung, sedangkan Varietas Ciliwung memiliki laju emisi 34 kg C/ha/tahun, Inpari 32 memiliki laju emisi 15 kg C/ha/tahun dan Cakrabuana memiliki laju emisi 2 kg C/ha/tahun berdasarkan simulasi DNDC. Perbedaan laju emisi metana ini dipengaruhi oleh penggunaan pupuk kandang dan tingginya penggenangan. Kemudian Model DNDC dapat mensimulasikan emisi gas metana tanaman padi bobot gabah dan biomassa tanaman padi, namun akurasi tidak memuaskan.

Kata kunci : DNDC, gas rumah kaca, emisi metana, padi

ABSTRACT

VALIDATION OF THE DNDC (DENITRIFICATION-DECOMPOSITION) MODEL ON METHANE (CH₄) EMISSIONS IN RICE (*Oryza sativa* L.) CULTIVATION ON FARMERS' FIELDS IN CENTRAL LAMPUNG REGENCY

By

Tuti Nurkhomariyah

Climate change has become a major environmental issue of the 21st century, driven by global warming. The rise in Earth's temperature is caused by the presence of greenhouse gases such as methane. In the agricultural sector, flooded rice cultivation is one of the primary sources of methane emissions, contributing up to 90% of the global annual CH₄ emissions. The objective of this study was to determine the differences in methane emission rates among three rice varieties commonly cultivated by farmers in Central Lampung Regency and to validate the DNDC model for measuring greenhouse gas emissions in rice cultivation in this region. The three varieties observed were Ciliwung, Inpari 32, and Cakrabuana. The results showed that the Ciliwung and Cakrabuana varieties had higher methane emission rates, with average rates of 12.823 kg C/ha/year and 19.866 kg C/ha/year respectively, compared to Inpari 32, which had an average emission rate of 2.017 kg C/ha/year based on direct measurements. According to the DNDC simulation, Ciliwung emitted 34 kg C/ha/year, Inpari 32 emitted 15 kg C/ha/year, and Cakrabuana emitted 2 kg C/ha/year. The differences in methane emission rates were influenced by the use of manure and the extent of field flooding. The DNDC model was able to simulate methane emissions, grain yield, and plant biomass in rice cultivation, but its accuracy was found to be unsatisfactory.

Keywords: DNDC, greenhouse gases, methane emissions, paddy

**VALIDASI MODEL DNDC (*DENITRIFICATION-DECOMPOSITION*)
TERHADAP EMISI METANA (CH₄) PADA BUDIDAYA TANAMAN
PADI (*Oryza sativa* L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN LAMPUNG
TENGAH**

Oleh

Tuti Nurkhomariyah

Tesis

**Sebagai Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PERTANIAN**

Pada

**Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Tesis

: **VALIDASI MODEL DNDC
(DENITRIFICATION DECOMPOSITION)
TERHADAP EMISI METANA (CH₄) PADA
BUDIDAYA TANAMAN PADI (*Oryza sativa*
L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN
LAMPUNG TENGAH**

Nama Mahasiswa

: Tuti Nurkhomariyah

Nomor Pokok Mahasiswa

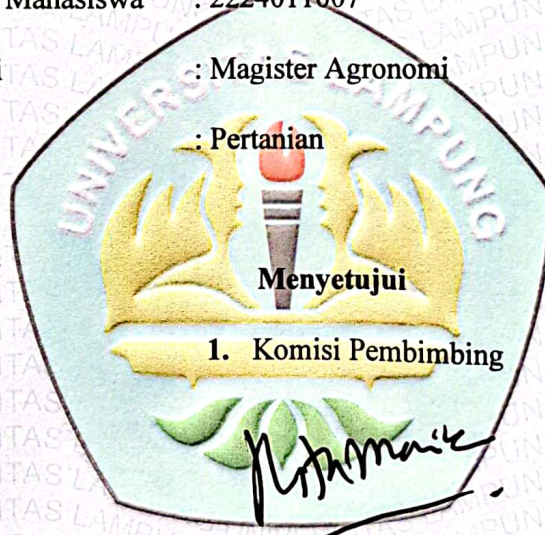
: 2224011007

Program Studi

: Magister Agronomi

Fakultas

: Pertanian



Prof. Dr.Ir. Tumiar Katarina Manik, M. Sc.
NIP 196302021987032001

Prof Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwi, M. S.
NIP 196209281987031001

Dr. Ir. Agus Karyanto, M. Sc
NIP 196108201986031002

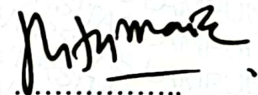
2. Ketua Program Studi Magister Agronomi

Prof Dr. Ir. Yusnita, M. Sc.
NIP 196108031986032002

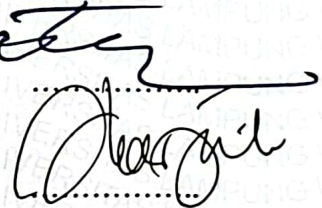
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Tumiar K Manik, M. Sc.



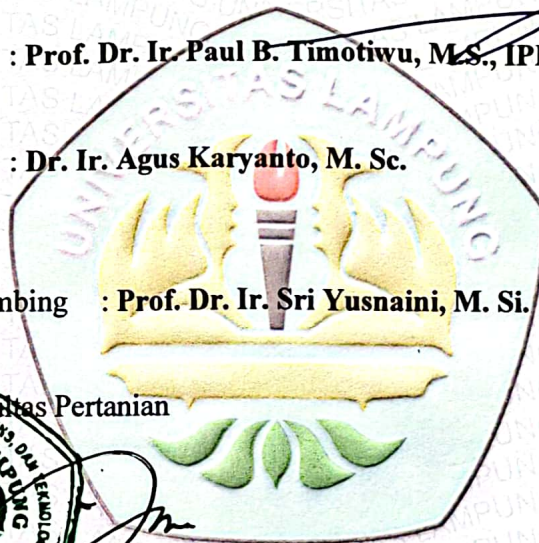
Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Paul B. Timotiwiu, M.S., IPM



Anggota : Dr. Ir. Agus Karyanto, M. Sc.



Penguji
Bukan pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M. Si.

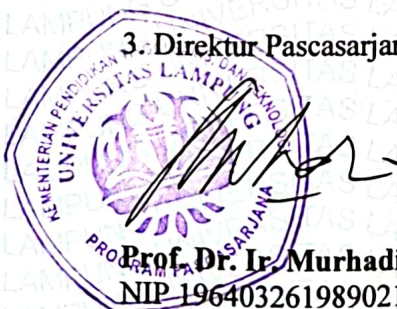


2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP 196411181989021002

3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M. Si.,
NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 24 Januari 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa

1. Tesis dengan judul **“VALIDASI MODEL DNDC (DENITRIFICATION-DECOMPOSITION) TERHADAP EMISI METANA (CH₄) PADA BUDIDAYA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH”** adalah hasil karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas hasil karya orang lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme. Semua hasil yang tertuang dalam tesis ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.
2. Pembimbing penulis tesis ini berhak mempublikasi sebagian atau seluruh tesis ini pada jurnal dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya.
3. Hak intelektual atau karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terbukti ketidakbenaran maka saya bersedia menerima akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 Mei 2025

at Pernyataan,



Tuti Nurkhomariyah
NPM 2224011007

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Mataram Ilir, Kecamatan Seputih Surabaya, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada 26 Maret 1997, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Suharto dan Ibu Paini. Jenjang pendidikan yang ditempuh penulis yakni Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Mataram Ilir, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Seputih Surabaya, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Seputih Surabaya.

Pada 2015 penulis diterima sebagai Mahasiswa Program Studi Sarjana Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Unit Kegiatan Pers Mahasiswa (UKPM) Teknokra dan pernah menjabat pemimpin redaksi pada 2019. Penulis dinyatakan lulus S1 Agroteknologi pada November 2019.

Penulis memulai karirnya dengan menjadi jurnalis di Kantor Berita Politik RMOLLampung sejak 29 Februari 2020 hingga sekarang. Penulis juga aktif di organisasi profesi Aliansi Jurnalis Indonesia (AJI) Bandar Lampung bidang advokasi dan saat ini menjadi Sekretaris Serikat Pekerja Media Lampung hingga akhir 2024. Agustus 2022 penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis masih diberikan kesempatan untuk menyelesaikan tesis ini. Selawat dan salam selalu terlambahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Dengan cinta dan rasa syukur kupersembahkan karya ini untuk keluarga tersayang, warga Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Serta untuk almamater tercinta Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”
-Ar-Rahmman-

Aku tahu rezeki takkan diambil orang, karenanya hatiku tenang. Aku tahu amalku
takkan dikerjakan orang, karenanya aku sibuk berjuang
-Hasan Al-Bashri-

Man Jadda Wajada (Siapa yang bersungguh-sungguh pasti akan berhasil)

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“VALIDASI MODEL DNDC (*DENITRIFICATION-DECOMPOSITION*) TERHADAP EMISI METANA (CH_4) PADA BUDIDAYA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.) DI LAHAN PETANI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH”** yang merupakan syarat untuk mendapatkan gelar Magister Pertanian di Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M. Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M. Sc., selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi Universitas Lampung.
5. Prof. Dr. Ir. Tumiar Katarina Manik, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I atas fasilitas penelitian, saran, motivasi dan nasihat yang telah diberikan selama penelitian hingga selesainya tesis ini.
6. Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M. S., IPM., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan atas penelitian dalam tesisi ini.
7. Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing III yang telah memberikan saran dan masukan atas penelitian dalam tesisi ini.

8. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M. Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bimbingan, saran dan arahan kepada penulis.
9. Para petani Bangun Rejo khususnya kepada Bapak Supono, Bapak Tohirin dan Bapak Sumedi yang telah mengizinkan sawahnya untuk dijadikan penelitian oleh penulis.
10. Kedua orang tua yakni Bapak Suharto dan Ibu Pains yang selalu mendoakan, dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
11. Saudaraku Syaiful Rizal, Umi Kholasoh dan Zahra Apriani yang sudah memotivasi penulis untuk menyelesaikan tesisnya.
12. Teman-teman Magister Agronomi 2022: Bayu Lesmana, Rahmat Hidayat, Yusuf Fadhilah Umar, Ika Maysaroh, Novi Kurnia, Emir Matslan Lubis, Bayu Aji Nurrahmadhan, Ita Rizkiana, Rusdi Sion, Cahyo Luqmantoro, Zakiah Selviani, Naufal Dani Fauzan, Cicilia Novian Puspitarini yang telah mendukung penulis menyelesaikan tesis ini.
13. Teman alumni Teknokra Unila yakni Fitria Wulandari, Faiza Ukhti Anisa, Kalista Setiawan, Retno Janji Utami, Ihwana Haulan, Muhammad Faizzi Ardhitara dan Andre Prasetyo Nugroho yang mendukung penulis menyelesaikan tesis ini.
14. Teman terbaik Ruth Intan Sozometa Kanafi dan Indra yang telah mendukung penulis menyelesaikan tesis ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesisnya.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, dan penulis berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Kerangka Pemikiran	5
1.4 Hipotesis.....	8
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian	9
2.2 Mekanisme Pelepasan CH ₄ dari Lahan Sawah.....	10
2.3 Karakteristik Sejumlah Varietas Padi.....	11
2.3.1 Ciliwung.....	11
2.3.2 Inpari 32.....	11
2.3.3 Cakrabuana	12
2.4 Model DNDC	12
III. BAHAN DAN METODE	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Data dan Alat.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	19
3.3.1 Penentuan Lokasi Penelitian	19
3.3.2 Analisis Tanah	19
3.3.3 Pengambilan Data Budidaya Padi.....	20
3.3.4 Pengambilan Sampel Gas Metana di Lapangan	21
3.4 Validasi Model	23
3.4.1 Parameter Input Model DNDC	23
3.4.2 Operasional Model DNDC	23
3.4.3 Pengolahan Data	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Hasil Penelitian.....	36

4.1.1 Karakter Agroklimat Pada Lokasi Penelitian	36
4.1.2 Hasil Analisis Tanah.....	39
4.1.3 Hasil Observasi Manajemen Penanaman.....	40
4.1.4 Hasil Pengamatan Gas CH ₄ di Lapangan.....	43
4.1.5 Model DNDC: Analisis CH ₄	47
4.1.6 Validasi Model.....	51
4.2 Pembahasan	52
4.2.1 Perbedaan Emisi Metana pada Tiga Varietas Padi	52
4.2.2 Pengaruh Agroklimat terhadap Emisi Metana.....	53
4.2.3 Pengaruh Sifat Fisik dan Kimia Tanah terhadap Emisi Metana.....	58
4.2.4 Pengaruh Manajemen Penanaman terhadap Emisi Metana.....	65
4.2.5 Perbandingan Hasil Emisi Metana di Lapangan dengan Simulasi Model	67
V. SIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Simpulan.....	68
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar pertanyaan ke petani	20
2. Hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia tanah	39
3. Hasil observasi manajemen penanaman	40
4. Hasil analisis fluks CH ₄ Varietas Ciliwung, Inpari 32 dan Cakrabuana	44
5. Iklim satu tahun terdiri dari suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, kecepatan angin, radiasi dan kelembapan udara.	47
6. Parameter input data tanah di DNDC	48
7. Perbandingan antara data terukur dan simulasi pada tiga varietas padi.....	51
8. Data iklim selama periode tanam.....	75
9. Pengukuran langsung gas metana Varietas Ciliwung	79
10. Pengukuran langsung gas metana Varietas Inpari 32	81
11. Pengukuran langsung gas metana Varietas Cakrabuana.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran Penelitian.....	7
2. Mekanisme pelepasan gas CH ₄ dari lahan sawah	10
3. Struktur model DNDC	16
4. Stasic Chambers (Tuti Nurkhomariyah, 2024).	23
5. Tampilan depan aplikasi DNDC 9.5	24
6. Tampilan bagian input iklim dalam aplikasi DNDC 9.5	25
7. Tampilan bagian tanah pada aplikasi DNDC 9.5.....	26
8. Tampilan bagian cropping pada aplikasi DNDC 9.5	26
9. Tampilan bagian crop pada aplikasi DNDC 9.5	27
10. Tampilan bagian tillage pada aplikasi DNDC 9.5	27
11. Tampilan bagian fertilization pada aplikasi DNDC 9.5.....	28
12. Tampilan bagian manure amendment pada aplikasi DNDC 9.5.....	28
13. Tampilan bagian irrigation pada aplikasi DNDC 9.5	29
14. Tampilan bagian flooding pada aplikasi DNDC 9.5.....	30
15. Tampilan bagian film mulch pada aplikasi DNDC 9.5.....	30
16. Tampilan bagian grazing or cutting pada aplikasi DNDC 9.5.....	31
17. Tampilan hasil runing pada aplikasi DNDC 9.5.....	31
18. Hasil permodelan produksi biomassa tanaman dan cekaman suhu, air, atau nitrogen pada aplikasi DNDC 9.5	32

19. Hasil permodelan estimasi N tanah pada aplikasi DNDC 9.5	33
20. Hasil permodelan estimasi C tanah pada aplikasi DNDC 9.5.....	33
21. Hasil permodelan estimasi air pada aplikasi DNDC 9.5.....	34
22. Hasil permodelan estimasi gas rumah kaca pada aplikasi DNDC 9.5	34
23. Alur kerja penelitian.....	35
24. Lokasi pelaksanaan penelitian	36
25. Suhu maksimum, suhu minimum, dan kelembapan selama periode tanam...	37
26. Radiasi matahari selama periode tanam.....	37
27. Curah hujan selama periode tanam	38
28. Kecepatan angin selama periode tanam	38
29. Fluks Metana Ciliwung	45
30. Fluks Metana Inpari 32	46
31. Fluks Metana Cakrabuana.....	46
32. Hasil emisi metana dari simulasi DNDC	50
33. Rata-rata suhu udara yang diamati, suhu permukaan tanah pada Ciliwung, Inpari 32, dan Cakrabuana hasil simulasi DNDC.	53
34. Curah hujan, evapotranspirasi potensial, kelembapan tanah di Ciliwung (A), Inpari 32 (B) dan Cakrabuana (C).....	57
35. Oksigen dalam tanah (mol/L) dan potensial redoks tanah (mV) pada Ciliwung, Inpari 32 dan Cakrabuana.	59
36. Decomposition (kg C/ha), methanogenesis (kg C/ha), methanotrophy (kg C/ha), nitrification (kg N/ha) dan denitrification (kg N/ha) pada Ciliwung (A), Inpari 32 (B) dan Cakrabuana (C).....	63
37. Produksi harian CH ₄ (kg C/ha) dan fluks harian CH ₄ (kg C/ha) pada Ciliwung, Inpari 32 dan Cakrabuana	64
38. Hasil runing model DNDC Varietas Ciliwung	87
39. Hasil runing model DNDC Inpari 32	89
40. Hasil runing DNDC Cakrabuana	91

41. Pengambilan sampel gas metana pada fase sebelum tanam (a), fase vegetatif (b), fase keluar malai (c) dan sebelum panen (d dan e).	92
42. Varietas Ciliwung (a), Inpari 32 (b), dan Cakrabuana (c)	92
43. Penimbangan brangkasan (a) dan gabah (b)	93

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Perubahan iklim menjadi permasalahan lingkungan utama pada abad-21 yang diakibatkan oleh pemanasan global. Peningkatan suhu permukaan rata-rata global bumi mencapai 1,09 °C lebih tinggi dalam sepuluh tahun antara 2011-2020 dibandingkan tahun 1850-1900 (IPCC, 2023). Naiknya suhu bumi disebabkan karena radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh permukaan bumi terperangkap oleh gas-gas tertentu atau dikenal dengan sebutan gas rumah kaca (GRK) (Pradana, 2018).

Salah satu GRK yang berperan dalam pemanasan global adalah metana. Metana (CH_4) memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) 21 kali lebih besar dari CO_2 (ASA *et al.*, 2010). Tingkat konsentrasi metana dilaporkan meningkat dari 700 ppb pada tahun 1750, menjadi 1774 ppb pada 2005 (Hidore *et al.*, 2010). Sementara itu, *International Plant Protection Convention* (IPCC) mencatat nilai GWP metana antara 84-87 ketika mempertimbangkan dampaknya dalam jangka waktu 20 tahun dan antara 28-36 ketika mempertimbangkan dampaknya dalam jangka waktu 100 tahun, dapat diartikan bahwa dalam satu ton metana dapat dianggap setara dengan 28-36 ton CO_2 jika melihat dampaknya selama 100 tahun.

Pada sektor pertanian kegiatan budidaya padi sawah yang tergenang menjadi salah satu sumber utama gas metana (Das dan Adhya, 2014), emisi metana dari budidaya padi sawah dapat mencapai 90% dari CH_4 tahunan global (IPCC, 2013). Metana di lahan sawah terbentuk dari proses dekomposisi bahan organik dibantu

oleh bakteri metanogen yang bekerja optimal pada kondisi tanah jenuh air (Zhang *et al.*, 2019).

Produksi metana di perakaran tanaman padi ditentukan oleh eksudasi akar, kapasitas oksidasi perakaran dan rongga aerenkhima. Bahan organik yang membusuk akan menghasilkan metana, dan dilepaskan melalui aerenkhima tanaman padi, difusi antar tanah, dan gelembung ebulisi. Besaran metana yang terlepas melalui aerenkhima sebesar 5-20%, difusi antar tanah 0,1-4% dan melalui gelembung ebulisi sebesar 0,2-2,4%, (Watanabe dan Roger, 1985). Penelitian lainnya menyatakan saat kondisi jerami padi ditanamkan dalam tanah sawah diperkirakan melepaskan metana melalui aerenkhima sebesar 48-85% dan gelembung ebulisi sebesar 35-62% dari total emisi metana sepanjang musim tanam padi (Komiya, 2015).

Disisi lain, beras menjadi salah satu makanan pokok di dunia, terutama di Benua Asia. Berdasarkan catatan *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), konsumsi beras penduduk Asia tertinggi di dunia yakni 77,2 kg per orang per tahun selama 2018-2020. Angka konsumsi beras diproyeksikan naik menjadi 77,5 kg per orang per tahun pada 2023. Di Indonesia, konsumsi beras mencapai 1,45 kg per kapita per minggu pada 2021 (BPS, 2022). Upaya untuk memenuhi kebutuhan beras tersebut dilakukan dengan peningkatan produktivitas dan perluasan area tanam. Menurut BPS (2023), luas panen padi Indonesia pada tahun 2022 mencapai 10,45 juta ha dengan produksi sebesar 54,75 juta ton GKG (gabah kering giling). Di Lampung luas panen padi pada tahun 2022 mencapai 516.910,01 ha, dengan produksi 2.661.362,81 ton (BPS Lampung, 2023). Gas metana dihasilkan oleh budidaya penanaman padi sawah tergenang, semakin meningkatnya produksi beras, maka emisi metana juga akan meningkat dan diperkirakan mencapai 150 mt per tahun pada 2025 (Hou *et al.*, 2013).

Penelitian pengukuran gas metana banyak dilakukan pada lahan penelitian atau laboratorium. Salah satunya penelitian yang dilakukan Sutopo Ghani Nugroho (1994), memperkirakan laju emisi metana rata-rata selama pertumbuhan padi sekitar 18,0-23,2 mg CH₄ m⁻² h⁻¹ (pupuk kimia) dan 19,5-27,1 mg CH₄ m⁻² h⁻¹

(bahan organik), sedangkan irigasi terus menerus mempengaruhi laju emisi CH_4 kisaran 26,6-29,0 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, sementara irigasi intermiten laju emisi CH_4 kisaran 20,6-27,6 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Tak hanya itu, Sutopo Ghani Nugroho (1994) juga mengukur laju emisi CH_4 dari 8 varietas dengan jerami dibenamkan dan penambahan bahan kimia, hasilnya Varietas Bengawan Solo laju emisi CH_4 rata-rata yakni 27,7 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas IR-64 sebesar 29,0 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas Kapuas 31,0 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas Atomita-4 sebesar 31,3 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas IR-74 sebesar 31,6 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas Walanai 31,8 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, Varietas Cisanggarung 32,3 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ dan Varietas Way Seputih 35,0 $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Dalam penelitian ini, pengukuran laju emisi metana dilakukan di area penanaman padi milik petani di Kabupaten Lampung Tengah. Hal tersebut didasarkan karena Kabupaten Lampung Tengah memiliki luas panen padi tertinggi di Provinsi Lampung yakni 101.743,09 ha, dengan produksi 540.115,25 ton (BPS Lampung, 2023). Di Lampung Tengah lahan sawah setiap tahunnya ditanami dua kali musim tanam yakni musim tanam rendeng dan musim tanam gadu. Sistem budidaya yang dipraktekkan masih konvensional dengan sistem irigasi yang tergenang sepanjang musim tanam, dengan rekomendasi pupuk yang diaplikasikan oleh petani adalah 250 kg urea per ha, 300 kg NPK per ha, dan kadang-kadang dilakukan penambahan bahan organik. Sistem pertanian seperti itu diduga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang cukup tinggi. Varietas padi yang banyak dibudidayakan oleh petani Kabupaten Lampung Tengah adalah Inpari 32, Ciliwung, Cakrabuana.

Pengamatan emisi metana secara langsung di lahan sawah belum banyak dilakukan karena banyak faktor yang harus diperhatikan seperti perbedaan pengelolaan lahan, faktor lingkungan, lama penggenangan, varietas padi dan cara budidaya petani, sehingga diperlukan bantuan model. Sejumlah model telah berkembang untuk memperkirakan laju emisi gas rumah kaca dari lahan sawah dan setiap model menggunakan pendekatan yang berbeda-beda. Salah satu model yang berkembang berbasis ekologi yakni Denitrifikasi-Dekomposisi (DNDC). Model DNDC adalah model berbasis proses biogeokimia karbon (C) dan nitrogen

(N) dalam ekosistem pertanian. Model yang dikembangkan oleh University of New Hampshire ini terdiri dari dua komponen yakni komponen pertama terdiri dari sub-model iklim, tanah, pertumbuhan tanaman, dan dekomposisi, prediksi suhu, kelembaban, pH, potensi redoks. Komponen kedua terdiri dari submodel nitrifikasi, denitrifikasi dan fermentasi, untuk memprediksi emisi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), ammonia (NH_3), oksida nitrat (NO), dinitrogen oksida (N_2O) dan dinitrogen (N_2) dari sistem tanaman-tanah. Model DNDC bermanfaat sebagai alat pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan manajemen pertanian dengan sistem multi-crop untuk mencapai target dari Sustainable Development Goals (SDGs). Model DNDC versi 9.5 adalah versi yang paling mutakhir, memiliki fungsi utama yakni perbaikan dalam simulasi pertumbuhan tanaman, fitur hidrologi dan perbaikan lainnya untuk memenuhi permintaan studi mitigasi gas rumah kaca, (Gillespie, 2014).

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab masalah seperti yang dirumuskan dalam pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan pola laju emisi metana dari tiga varietas padi yang dibudidayakan di Kabupaten Lampung Tengah
2. Apakah emisi metana yang disimulasikan dengan model DNDC berdasarkan data iklim lokal, analisa tanah, dan sistem budidaya padi sawah di Kabupaten Lampung Tengah sejalan dengan emisi metana padi sawah yang diukur secara langsung.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbedaan laju emisi metana pada tiga varietas padi sawah di Kabupaten Lampung Tengah
2. Memvalidasi model DNDC untuk mengukur emisi gas rumah kaca pada padi sawah yang dibudidayakan di Kabupaten Lampung Tengah.

1.3 Kerangka Pemikiran

Perubahan iklim menjadi permasalahan lingkungan yang diakibatkan pemanasan global dengan rata-rata peningkatan mencapai 1,09°C dalam sepuluh tahun.

Naiknya suhu bumi disebabkan karena radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh permukaan bumi terperangkap oleh gas-gas tertentu atau dikenal dengan sebutan gas rumah kaca (GRK). GRK tersebut seperti metana (CH_4), karbondioksida (CO_2), dan dinitrogen oksida (NO_2).

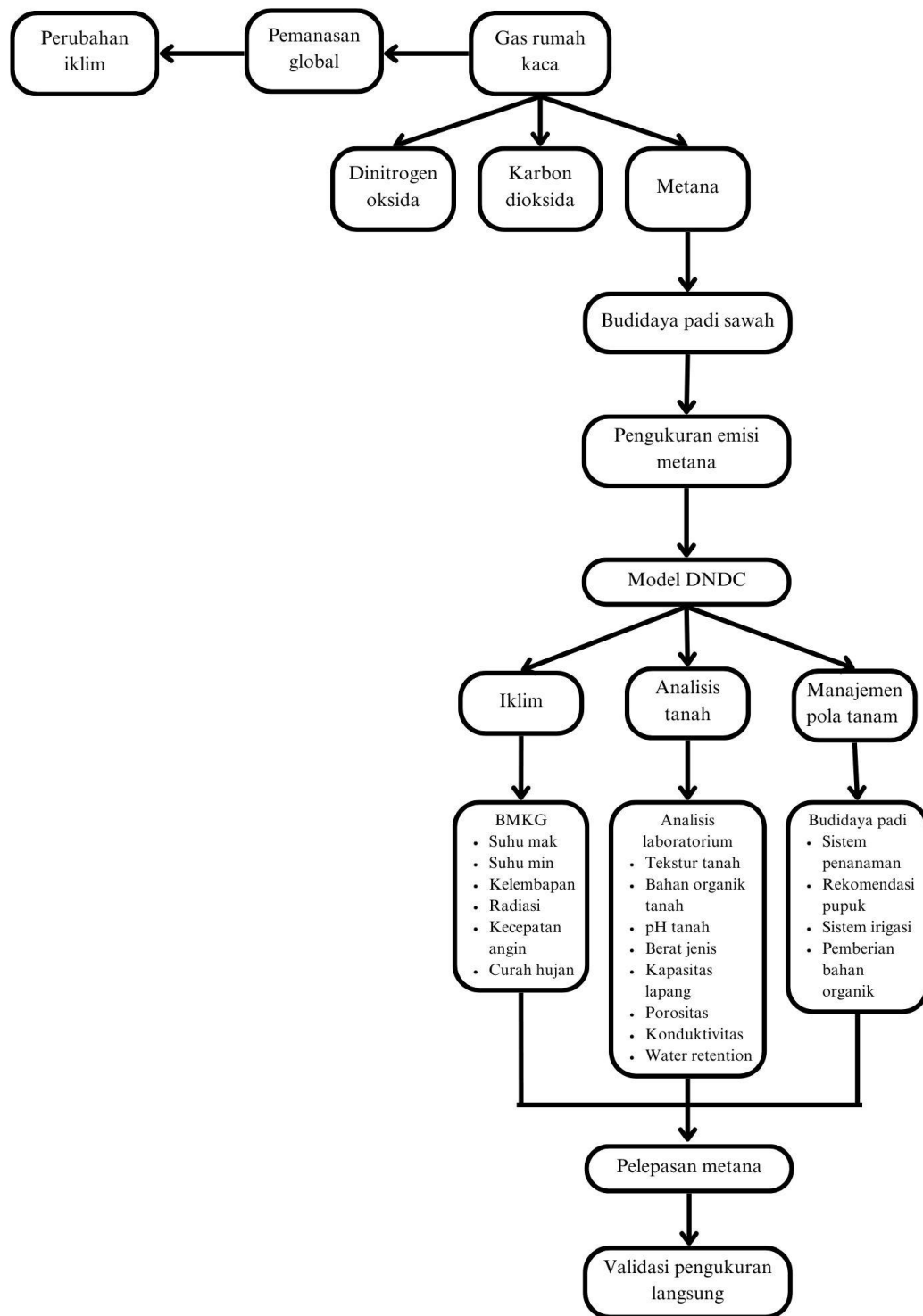
Budidaya padi sawah yang tergenang dapat memproduksi metana dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dengan bantuan bakteri metanogen. Bahan organik didekomposisi secara bertahap melalui mekanisme respirasi aerobik, reduksi nitrat, fermentasi, reduksi sulfat, dan fermentasi metana yang akan menghasilkan CH_4 .

Karena pengukuran emisi metana secara langsung tidak mudah dilakukan, maka diperlukan sebuah model, dengan model dapat mensimulasikan atas produksi, konsumsi, dan pengangkutan N_2O . Model juga dapat digunakan untuk menetapkan emisi berdasarkan praktik pengelolaan saat ini, dapat digunakan untuk membandingkan skenario pengelolaan alternatif yang dimaksudkan untuk mengurangi emisi, kemampuan ini menjadi lebih relevan dalam perubahan iklim.

Pada model DNDC terdapat sejumlah komponen yang perlu diinput seperti data iklim, tanah dan manajemen pola tanam, karena itu diperlukan beberapa langkah sebelum menjalankan model ini. Data iklim diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang serta sejumlah jurnal yang mendukung. Data iklim yang dibutuhkan adalah suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, kecepatan angin, radiasi, kelembaban udara, konsentrasi N pada air hujan (N/liter), konsentrasi NH_3 dan konsentrasi CO_2 di atmosfer. Data tanah didapat dari analisis tanah yang terdiri dari tekstur tanah, berat jenis, pH tanah, penggunaan lahan, kapasitas lapang, titik layu permanen, konduktifitas, porositas, *water retention*, bahan organik tanah. Data manajemen pola tanam didapat dari survei

petani yang terdiri dari sistem penanaman, rekomendasi pupuk, waktu pemberian air, sistem irigasi, pemberian bahan organik, penggunaan mulsa, dan pemangkasan. Ketiga komponen ini akan menentukan besaran pelepasan metana dari lahan sawah ke atmosfer.

Setelah diperoleh besaran pelepasan metana berdasarkan model DNDC dilakukan validasi dengan pengamatan secara langsung laju metana dengan *static chambers*. Jika hasil dari keduanya berdekatan maka bisa dipastikan bahwa model DNDC dapat mengukur emisi gas rumah kaca padi sawah berdasarkan data iklim lokal, analisis tanah dan sistem budidaya padi sawah di Lampung Tengah. Kerangka pemikiran dari penelitian ini tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran Penelitian

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan laju emisi metana dari tiga varietas padi yang dibudidayakan di Kabupaten Lampung Tengah
2. Model DNDC dapat digunakan untuk mensimulasi emisi metana padi sawah yang dibudidayakan di Kabupaten Lampung Tengah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian

Sektor pertanian berkontribusi sekitar 5% penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) nasional yang terdiri dari 65% CH₄, 31% N₂O, dan 4 % CO₂. Salah satu sumber GRK dari sektor pertanian yakni budidaya padi sawah yang tergenang, *indirect* N₂O, *direct* N₂O, pemupukan urea, pengapuran, fermentasi enterik, pengelolaan kotoran ternak dan pembakaran biomassa (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2010). GRK ini dapat memicu meningkatnya panas di permukaan bumi, namun ketika efek GRK yang berlebihan akan menyebabkan pemanasan global dimana suhu di bumi akan naik secara signifikan dengan ditandai mencairnya es di kutub, naiknya ketinggian permukaan air laut, rusaknya ekosistem dan perubahan iklim yang ekstrim (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020).

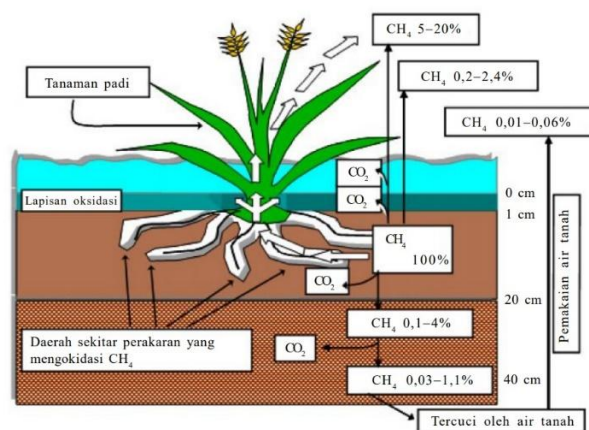
Metana (CH₄) memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) 21 kali lebih besar dari CO₂ (ASA *et al.*, 2010). Tingkat konsentrasi metana dilaporkan meningkat dari 700 ppb pada tahun 1750, menjadi 1774 ppb pada 2005 (Hidore *et al.*, 2010). Sementara itu, IPCC 2023 mencatat nilai GWP metana antara 84-87 ketika mempertimbangkan dampaknya dalam jangka waktu 20 tahun dan antara 28-36 ketika mempertimbangkan dampaknya dalam jangka waktu 100 tahun, sehingga dapat diartikan bahwa dalam satu ton metana dapat dianggap setara dengan 28-36 ton CO₂ jika melihat dampaknya selama 100 tahun. Emisi CH₄ dari lahan sawah merupakan hasil proses dekomposisi bahan organik tanah yang melibatkan *Archaea metanogen* dan kondisi lingkungan yang tergenang

(anaerobik) dengan redoks potensial tanah yang rendah (Serrano Silva *et al.*, 2014).

2.2 Mekanisme Pelepasan CH₄ dari Lahan Sawah

Pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer dari tanah sawah melibatkan berbagai proses mikrobiologi. Metana terbentuk dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dengan bantuan bakteri metanogen (Johnson *et al.*, 2007). Bahan organik didekomposisi secara bertahap melalui mekanisme respirasi aerobik, reduksi nitrat, fermentasi, reduksi sulfat, dan fermentasi metana, yang akan menghasilkan CO₂ dan CH₄ (Ponnamperuma, 1985).

Translokasi gas CH₄ dari dalam tanah ke atmosfer terjadi melalui tiga mekanisme seperti tersaji pada Gambar 2, yaitu (1) difusi, terjadi karena adanya perbedaan gradien konsentrasi pada lapisan dalam tanah yang lebih besar dibandingkan lapisan luar tanah, (2) gelembung udara (*ebullition*), terjadi akibat tingginya konsentrasi udara (gas CH₄) yang mendesak ke permukaan tanah, dan (3) pengangkutan CH₄ melalui jaringan aerenkhima tanaman (Le Mer dan Roger, 2001). Pelepasan gas CH₄ melalui jaringan tanaman melibatkan dua mekanisme utama yaitu molekular *diffusion* dan *bulk flow* akibat perbedaan gradien konsentrasi CH₄ yang terbentuk di daerah perakaran tanaman.



Gambar 2. Mekanisme pelepasan gas CH₄ dari lahan sawah (Watanabe dan Roger 1985).

2.3 Karakteristik Sejumlah Varietas Padi

2.3.1 Ciliwung

Ciliwung merupakan varietas unggul nasional (*released variety*) berdasarkan SK 270/Kpts/TP>240/4/1988. Tetua varietas ini yakni persilangan Ir 38/Pelita I-I (2)/IR 4744, dengan rata-rata hasil 4,8 ton per hektare. Umur tanaman Ciliwung yakni 121 hari, memiliki bentuk tanaman tegak dengan tinggi 101 cm.

Varietas ini tahan terhadap sejumlah hama seperti wereng coklat biotipe 1, 2, wereng hijau, dan ganjur. Tak hanya itu, Ciliwung juga tahan terhadap penyakit tungro dan bakteri hawar daun.

2.3.2 Inpari 32

Varietas Inpari 32 dilepas pada tahun 2013 berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 4996/Kpts/SR.120/12/2013 dan telah diadopsi oleh petani di beberapa Provinsi di Indonesia, salah satunya Provinsi Lampung. Varietas turunan Ciherang dan IRBB 64 ini berumur kurang lebih 120 hari setelah semai, memiliki tinggi 97 cm, dengan bentuk tanaman tegak dan daun bendera yang tegak menjulang sehingga mampu menerima dan memanfaatkan sinar matahari secara optimum untuk pertumbuhannya.

Varietas ini memiliki kurang lebih 17 rumpun anakan produktif, dimana potensi hasilnya mencapai 8,42 ton per hektare gabah kering giling. Tingkat rendemen beras pecah kulit kurang lebih 79,72%, rendemen beras giling kurang lebih 71,49% dan kadar amilosa kurang lebih 23,46%.

Varietas unggul ini memiliki beberapa keunggulan yang signifikan baik dari ketahanannya terhadap penyakit maupun hasil gabah. Inpari 32 memberikan respon tahan penyakit hawar daun bakteri (HDB) atau yang dikenal sebagai

penyakit kresek. Tak hanya itu, varietas ini juga agak tahan terhadap penyakit tungro ras lanrang.

2.3.3 Cakrabuana

Varietas ini dilepaskan pada tahun 2018 berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 328/Kpts/RP.010/05/2018. Cakrabuana merupakan varietas unggul yang diperoleh dari Iradiasi Sinar Gamma Co 60 dosis 0,1 kGy terhadap Inpari 13. Umur tanam kurang lebih 104 hari setelah semai.

Bentuk Varietas Cakrabuana yakni tegak dengan tinggi kurang lebih 105 cm. Jumlah anakan produktif kurang lebih 16 batang dengan jumlah gabah isi per malai kurang lebih 130 butir dan berat 1000 butirnya mencapai 27,1 gram. Sementara itu, kadar amilosa yakni 22%.

Cakrabuana ini agak tahan terhadap wereng batang coklat biotipe 1, 2, dan 3. Agak tahan juga terhadap penyakit hawar daun bakteri strain III, tahan penyakit blas ras 033, dan 173, serta agak tahan penyakit tungro inculum Purwakarta.

2.4 Model DNDC

Model Denitrifikasi-Dekomposisi (DNDC) dikembangkan oleh Profesor Changsheng Li dan rekan-rekannya di University of New Hampshire, Amerika Serikat pada 1992. Versi awal DNDC (1.0-7.0) terdiri dari tiga submodel utama yakni fluks tanah-iklim, dekomposisi dan denitrifikasi yang bekerjasama dalam menyimulasikan emisi N_2O dan N_2 .

Dua dekade berikutnya, banyak perbaikan dan tambahan fitur pada versi awal model DNDC. Tahun 1994, model ini diperbarui dengan penambahan submodel pertumbuhan tanaman empiris yang mencakup praktik penanaman dan pengelolaan lahan guna mempelajari biogeokimia karbon tanah dalam lahan

pertanian. Pembaruan model tersebut terdapat pada DNDC versi 7.1 (Li *et al.*, 1994). Kemudian, model DNDC menjadi dasar bagi pengembangan model hutan yang disebut PnET-N-DNDC (Li *et al.*, 2000), pada versi ini mengintegrasikan tiga model yakni model fotosintesis-evapotranspirasi (PnET), DNDC dan nitrifikasi.

Model DNDC dikembangkan pada versi 8.0 untuk memprediksi emisi metana (CH_4) dan ammonia (NH_3) dari ekosistem pertanian. Li *et al.*, (2000) menjelaskan bahwa untuk menyimulasikan emisi gas rumah kaca, semua faktor termasuk pengaruh ekologi, variabel tanah, dan reaksi biogeokimia harus berintegrasi dalam satu kerangka kerja. Model ini kemudian direstrukturisasi menjadi dua komponen dalam enam submodel yakni komponen satu menghubungkan pengaruh ekologi dengan variabel lingkungan tanah, dan terdiri dari submodel iklim tanah, pertumbuhan tanaman dan dekomposisi. Komponen dua menghubungkan faktor lingkungan tanah dan terdiri dari submodel denitrifikasi, nitrifikasi dan fermentasi (Gilhespy, 2014).

Modifikasi lebih lanjut dengan menambahkan beberapa algoritma utama tanaman yang dikembangkan dalam Crop-DNDC, sehingga menghasilkan submodel pertumbuhan tanaman berbasis fenologi. Sedangkan Wetland-DNDC memprediksi CO_2 dan CH_4 dalam ekosistem lahan basah, meningkatkan PnET-N-DNDC yang disesuaikan untuk ekosistem lahan basah serta model FLATWOODS. Pada versi ini, persamaan Nernst dan Michaelis-Menten digabungkan dalam konsep *anaerobic balloon* (Zhang *et al.*, 2002).

Versi UK-DNDC yakni DNDC yang dimodifikasi untuk aplikasi di Inggris. DNDC versi 8.5 yakni modifikasi konsep *anaerobic balloon*. Forest-DNDC yakni integrasi PnET dengan DNDC untuk ekosistem hutan di dataran tinggi dan lahan basah. NZ-DNDC yakni DNDC yang disesuaikan untuk kondisi Selandia Baru. Kemudian Forest-DNDC-Tropica yakni PnET-N-DNDC yang disesuaikan untuk ekosistem hutan hujan tropis. EFEM-DNDC yakni model ekonomi-ekosistem berbasis GIS, mensimulasikan emisi gas rumah kaca dari sistem produksi ternak dan tanaman di Baden-Wurttemberg, Jerman. BE-DNDC yakni

kerangka kerja regional untuk menghitung emisi N_2O dari lahan pertanian intensif. DNDC versi 9.0 yakni peningkatan simulasi dinamika ammonium bebas, nitrifikasi dan pencucian nitrat (Beheydt, 2006).

DNDC-Europe dikembangkan untuk menilai dampak kebijakan lingkungan pertanian terhadap emisi gas rumah kaca. DNDC-Rice yakni DNDC disesuaikan untuk ekosistem sawah. Mobile-DNDC yakni mobile yang menghubungkan model biosfer satu dimensi seperti DNDC untuk mendapatkan kombinasi model yang paling tepat untuk penelitian tertentu (Grote *et al.*, 2009). DNDC versi 9.3 yakni peningkatan dalam estimasi penguapan tanah. DNDC-CSW yakni pengenalan submodel empiris ke DNDC yang disebut submodel Canadian Spring Wheat (CSW) untuk meningkatkan estimasi pertumbuhan gandum musim semi dan penyerapan nitrogen di agroekosistem Kanada (Krobel *et al.*, 2011).

Kemudian, dirancang Landscape-DNDC untuk mensimulasikan multi-ekosistem. DNDC dan Forest-DNDC digabungkan menjadi modul biogeokimia tanah umum (Haas *et al.*, 2012). NEST-DNDC dikembangkan untuk mengkuantifikasi fluks CH_4 dalam kondisi permafrost (Zhang *et al.*, 2012). Manure-DNDC yakni modifikasi DNDC untuk merepresentasikan siklus hidup pupuk kandang di pertanian dan memprediksi emisi gas rumah kaca serta NH_3 dari sistem pupuk kandang ternak (Li *et al.*, 2012). DNDC versi 9.4 yakni menggunakan algoritma NH_3 tanah yang sama seperti dalam Manure-DNDC. Lalu, DNDC versi 9.5 yakni peningkatan dalam simulasi pertumbuhan tanaman, fitur hidrologi, dan peningkatan lainnya untuk memenuhi permintaan studi mitigasi gas rumah kaca. Versi ini yang terbaru (Li *et al.*, 2013).

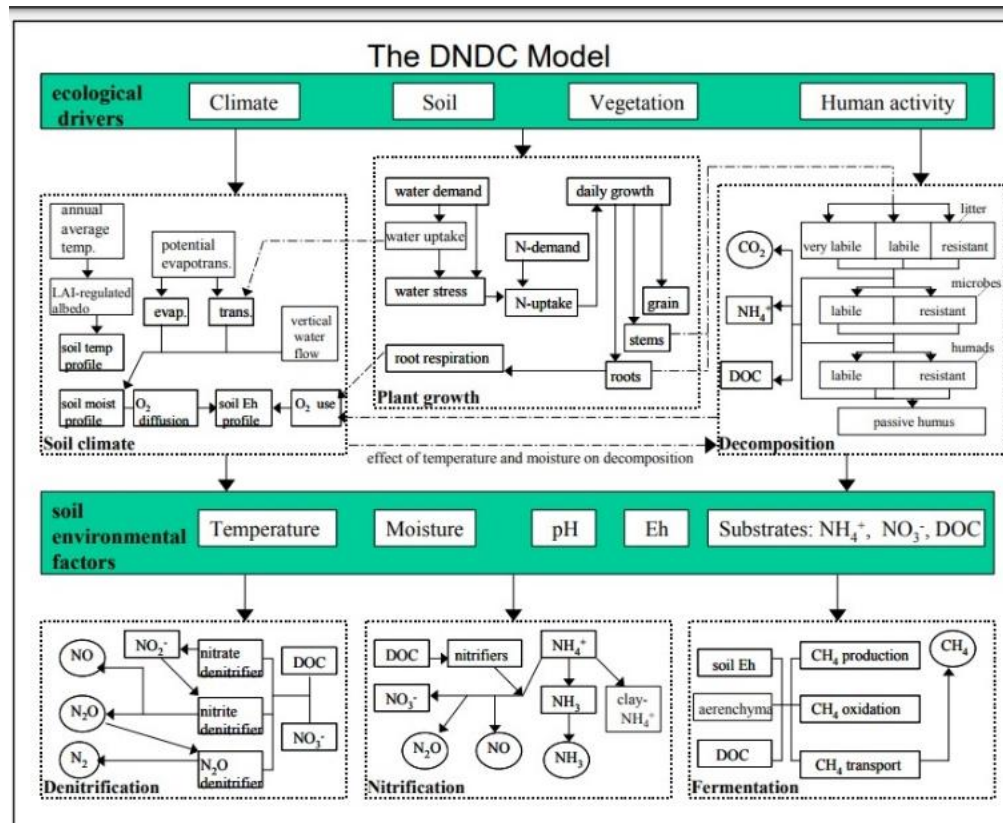
DNDC versi 9.5 adalah model simulasi komputer berorientasi proses biogeokimia karbon dan nitrogen dalam agroekosistem. Model ini terdiri dari dua komponen seperti merujuk pada Gambar 3. Komponen pertama terdiri dari sub-model iklim tanah, pertumbuhan tanaman, dekomposisi, prediksi suhu, kelembaban, pH, dan potensi redoks. Komponen kedua terdiri dari submodel nitrifikasi, denitrifikasi dan fermentasi. Memprediksi emisi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4),

ammonia (NH_3), oksida nitrat (NO), dinitrogen oksida (N_2O) dan dinitrogen (N_2) dari sistem tanaman-tanah.

Pertumbuhan tanaman berperan penting dalam mengatur siklus C, N, dan air tanah yang selanjutnya dapat mempengaruhi proses biokimia atau geokimia yang terjadi di dalam tanah. Sub-model di DNDC dibuat untuk mensimulasikan pertumbuhan tanaman. Parameter tanaman dalam DNDC meliputi hasil panen, porsi biomassa, rasio C/N, suhu akumulatif musim, kebutuhan air, dan kapasitas fiksasi N. Semua parameter dapat diinput oleh pengguna dan diubah oleh pengguna dengan mode cepat. Kebutuhan N tanaman dihitung berdasarkan pertumbuhan tanaman harian optimum dan rasio C/N tanaman. Penyerapan N aktual oleh tanaman dapat dibatasi oleh ketersediaan N atau air selama musim tanam. Setelah panen, semua biomassa akar dibiarkan di profil tanah, dan sisa tanaman yang tergabung dalam tanaman akan menjadi serasah tanah yang sangat labil, labil dan resisten. Penggabungan serasah memberikan input penting untuk penyimpanan bahan organik tanah dan mengintegrasikan tanaman dan tanah ke dalam sistem biogeokimia.

Di model DNDC, bahan organik dikelompokkan menjadi empat yakni seresah, biomassa mikroba, humus aktif, dan humus pasif. Laju dekomposisi harian diatur oleh ukuran, laju dekomposisi spesifik, kandungan liat tanah, ketersediaan N, suhu tanah, dan kelembaban tanah. Saat bahan organik tanah terurai, karbon yang terurai sebagian hilang sebagai CO_2 , sisanya dialokasikan ke bahan organik lainnya. Karbon organik terlarut yang dibentuk selama proses dekomposisi dapat dikonsumsi oleh mikroba tanah.

Nitrifikasi menghitung laju nitrifikasi dan oksidasi ammonium menjadi nitrat. Sementara itu, denitrifikasi beroperasi pada langkah waktu per jam untuk mensimulasikan denitrifikasi dan produksi oksida nitrat, dinitrogen oksida, dan dinitrogen. Fermentasi mensimulasikan produksi dan oksidasi metana dalam kondisi anaerobik (Lembaid, 2022).



Gambar 3. Struktur model DNDC

Model DNDC baru diterapkan di wilayah dengan iklim subtropis dan kurang diterapkan di wilayah dengan iklim tropis seperti Indonesia. Berdasarkan penelitian Fitriani Nurhayati (2019) hasil validasi model DNDC menunjukkan tingkat perbedaan yang kecil antara total fluks gas CH₄ model dengan total fluks gas CH₄ aktual, yang sesuai dengan nilai R² yang dihasilkan yaitu sebesar 0,93 sehingga model DNDC dapat digunakan untuk memprediksi fluks dan total fluks gas CH₄ dari lahan padi sawah pada wilayah tropis.

Penelitian lain yang dilakukan Nihayah (2021), menyatakan hasil simulasi DNDC masih membutuhkan optimasi untuk estimasi emisi CH₄ pada pemupukan dan varietas yang berbeda. Penelitian tersebut menunjukkan hasil observasi total emisi CH₄ 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 CH₄ 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_4 harian dengan nilai R^2 dan RMSE setiap perlakuan yaitu P1-C; P1-IR; P2-C dan P2-IR berturut-turut sebesar ($R^2 = 0,65$; RMSE = 13,19); ($R^2 = 0,003$; RMSE = 3,55); ($R^2 = 0,17$; RMSE = 32,06) dan ($R^2 = 0,35$; RMSE = 12,25).

Penelitian yang dilakukan Rahmat (2018) menyatakan hasil simulasi model DNDC memperlihatkan masih terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil observasi dengan hasil simulasi, baik untuk gas CH_4 dan N_2O . Model *Artificial Neural Network* (ANN) dalam memprediksi emisi sudah cukup baik yang ditunjukkan dengan nilai R^2 sebesar 0,72 untuk gas CH_4 dan 0,78 untuk gas N_2O . Hal tersebut mengindikasikan bahwa model DNDC masih perlu disesuaikan dan dikembangkan lebih lanjut dengan kondisi lingkungan Indonesia sehingga bisa memprediksi lebih akurat, sedangkan model ANN bisa digunakan untuk memprediksi emisi gas rumah kaca dari lahan padi sawah.

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Desember 2023 hingga April 2024 di Desa Sidodadi, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung dengan lintang selatan 5° 09' 28 dan bujur timur 105° 00' 22. Data dianalisis di Laboratorium PPID Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan, Laboratorium Analisis Polinela dan Laboratorium Cogent PT GGP, selanjutnya data diolah di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Data dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Data iklim selama musim tanam di Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Sumber data berasal dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang terdiri dari suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, kecepatan angin, radiasi, kelembaban udara. Data juga bersumber dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang yakni konsentrasi CO₂ di atmosfer. Data konsentrasi N pada air hujan (N/liter), dan konsentrasi NH₃ bersumber dari penelitian yang sudah dipublikasikan.
2. Data fisik tanah di tiga sawah di Desa Sidodadi, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Data berupa tekstur tanah, *bulk density*, pH tanah, penggunaan lahan, kapasitas lapang, titik layu

permanen, konduktivitas, porositas, *water retention*, *soil organic carbon* (SOC) bersumber dari hasil uji laboratorium tanah. Data indeks aktivitas mikroba, konsentrasi nitrogen (N) pada permukaan sawah, indeks salinitas tanah bersumber dari penelitian yang sudah dipublikasikan.

3. Data budidaya padi Desa Sidodadi, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Data yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan model DNDC di antaranya sistem penanaman, rekomendasi pupuk, waktu pemberian air, sistem irigasi, pemberian bahan organik, penggunaan mulsa, dan pemangkasan. Data bersumber dari observasi dan survei langsung ke petani.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya ring sample tanah untuk pengambilan sampel tanah, seperangkat alat pengambil gas metana (*static chambers*), dan aplikasi pengolah angka (Microsoft Excel), perangkat lunak permodelan DNDC.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan kriteria seperti menanam varietas sesuai dengan tujuan penelitian, sistem pertanian monokultur (hanya menanam padi) dan penanaman dilakukan dengan sistem irigasi tergenang. Dari kriteria tersebut, terpilih secara acak tiga dari 15 kelompok tani yang ada di Desa Sidodadi, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung.

3.3.2 Analisis Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan sistem komposit dengan menggunakan bor tanah. Analisis sifat fisik dan kimia tanah dilakukan di

Laboratorium Analisis Polinela dan Laboratorium Cogent PT GGP. Parameter yang diamati sesuai tuntutan model DNDC yakni tekstur tanah, *bulk density*, pH tanah, penggunaan lahan, titik layu permanen, kapasitas lapang, porositas, konduktivitas, *water retention*, *soil organic carbon* (SOC).

3.3.3 Pengambilan Data Budidaya Padi

Pengambilan data budidaya padi dilakukan di Desa Sidodadi, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung mengacu pada input data model DNDC. Berikut ini pertanyaan yang akan diajukan ke petani

Tabel 1. Daftar pertanyaan ke petani

No	Parameter input	Pertanyaan
1.	Sistem penanaman a. Jenis tanaman b. Waktu tanam c. Waktu panen	1. Apa varietas yang ditanam petani? 2. Kapan ditanam varietas tersebut? 3. Sebelumnya tanaman apa yang ditanam (apakah dilakukan rotasi tanam) oleh petani? 4. Berapa banyak hasil panen yang diperoleh petani? 5. Bagaimana proses panennya? 6. Berapakah maksimum biomassa? 7. Apakah jerami ditanamkan di sawah atau dibakar?
2.	Pengolahan tanah a. Waktu pengolahan b. Metode pengolahan	1. Kapan dilakukan pengolahan tanah? 2. Bagaimana metode pengolahan tanah? 3. Apakah metode pengolahan tanah tersebut sering dilakukan sebelumnya?

3.	Pemupukan kimia a. Waktu pemupukan b. Jenis pupuk c. Metode pemupukan d. Jumlah pupuk	1. Kapan dilakukan pemupukan? 2. Jenis pupuk apa yang digunakan oleh petani? 3. Bagaimana metode pemupukan yang dilakukan oleh petani? 4. Berapa jumlah pupuk yang diaplikasikan?
4.	Pemupukan bahan organik a. Waktu pemupukan b. Jenis pupuk c. Metode pemupukan d. Jumlah pupuk	1. Kapan pemupukan dilakukan oleh petani? 2. Jenis pupuk apa yang digunakan oleh petani? 3. Bagaimana metode pemupukan yang dilakukan oleh petani? 4. Berapa jumlah pupuk yang diaplikasikan oleh petani?
5.	Sistem irigasi a. Metode irigasi b. Waktu irigasi c. Waktu penggenangan awal d. Waktu penggenangan akhir e. Banyak air yang digunakan	1. Bagaimana metode irigasi yang digunakan oleh petani? 2. Kapan dilakukan irigasi? 3. Kapan dilakukan penggenangan awal? 4. Kapan dilakukan penggenangan akhir? 5. Berapa banyak air yang digunakan untuk penggenangan? 6. Dariman sumber air yang digunakan oleh petani?

3.3.4 Pengambilan Sampel Gas Metana di Lapangan

Pengambilan sampel gas dilakukan pada empat fase yakni sebelum penanaman, saat tanaman padi memasuki fase vegetatif, saat keluar malai, dan satu minggu

sebelum panen. Pengambilan sampel gas dilakukan pada pukul 12.00-14.00 WIB selama enam hari berturut-turut dengan menggunakan alat penangkap gas yang disebut *static chambers* seperti pada Gambar 4, alat tersebut terbuat dari bahan polikarbonat. Berikut ini langkah-langkah pengambilan sampel gas CH₄ di lahan sawah

1. Sungkup yang digunakan berukuran 50 cm x 50 cm x 105 cm
2. Sungkup diatur pada posisi rata agar gas yang tertampung dalam sungkup tidak bocor.
3. Pada bagian penampang sungkup diisi dengan air agar tidak terjadi kebocoran gas.
4. Termometer dipasang pada lubang yang ada pada bagian tutup atau atas sungkup, dan baterai (ACU) dihubungkan ke kipas angin.
5. Sebelum pengambilan sampel gas, penutup sungkup dibiarkan terbuka selama kurang lebih 2-3 menit untuk menstabilkan konsentrasi gas dalam sungkup.
6. Sungkup ditutup, penutup karet atau septum pada tempat pengambilan sampel udara dibuka kurang lebih 2-3 menit agar konsentrasi udara dalam sungkup menjadi stabil.
7. Setelah 2-3 menit, tutup karet ditutup. Gas diambil dengan menggunakan syringe yang dipasang pada posisi tegak lurus disuntikan pada karet septum tempat pengambilan sampel gas. Sampel gas CH₄ diambil pada interval waktu 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Gas metana dimasukan ke dalam tabung plain 10 ml dengan syringe, lalu ditutup segera mungkin untuk menghindari kebocoran.
8. Sampel gas segera dibawa ke Laboratorium PPID Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan untuk analisa menggunakan Gas Chromatography (GC). Emisi metana dinyatakan sebagai mg CH₄/m²/hari dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini

$$CH_4 \text{ emission} \left(\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1} \right) = \frac{\text{slope} \left(\frac{\text{ppm}}{\text{m}} \right) \times 0,262 \times 16 \times 60 \times 24}{22,4 \times \left(\frac{273+T}{273} \right) \times 0,25 \times 1000} \quad (1)$$

Dimana $0,262 \text{ (m}^3\text{)}$ adalah volume kotak/ruang ($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 105 \text{ cm}$), 16 adalah berat molekul gas CH_4 dalam kondisi standar, 60 adalah menit dalam jam, 24 adalah jumlah jam dalam sehari, 22,4 adalah volume 1 mol gas dalam L pada suhu dan tekanan dalam kondisi standar, 273 adalah suhu standar dalam $^\circ\text{K}$, T adalah suhu rata-rata ruang selama pengambilan sampel ($^\circ\text{C}$), 0,25 adalah luas yang ditempati oleh kotak/ruang (m^2) dan 1000 adalah $\mu\text{g/mg}$ (IAEA, 1992).



Gambar 4. *Stasic Chambers* (Tuti Nurkhomariyah, 2024).

3.4 Validasi Model

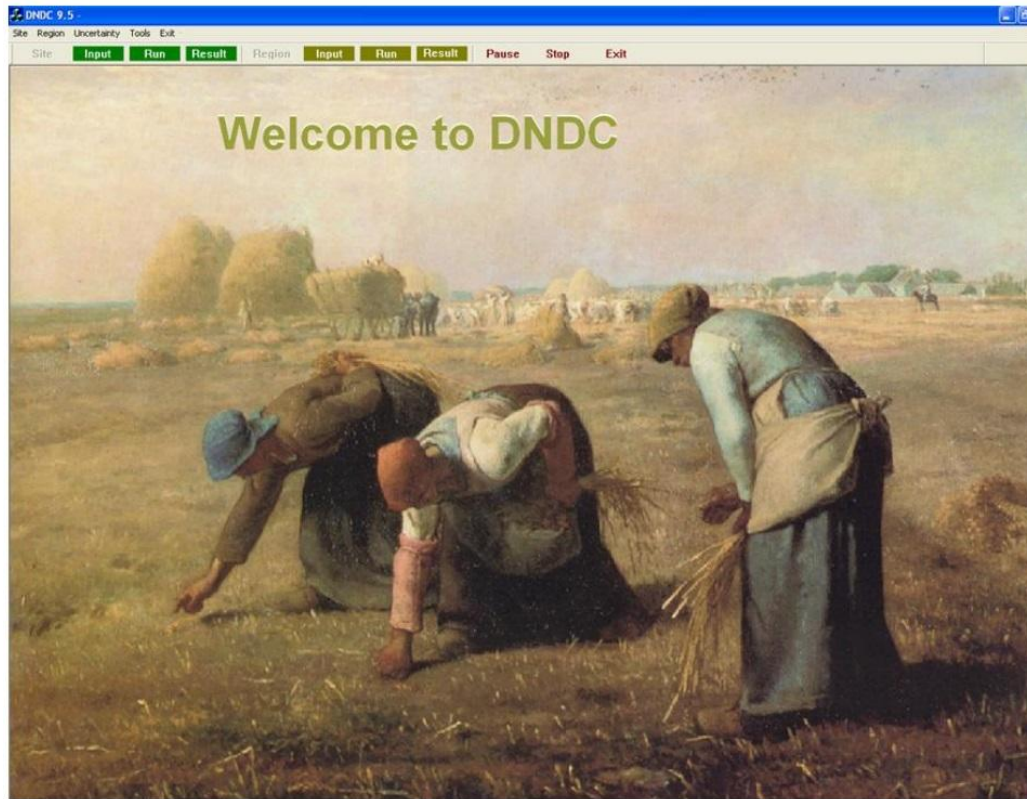
3.4.1 Parameter Input Model DNDC

Model DNDC memerlukan beberapa parameter untuk memvalidasi model. Data yang diinput berupa data primer dan sekunder. Data primer berupa data yang diperoleh langsung dari lahan penelitian seperti data iklim (suhu maksimum, suhu minimum, radiasi, kelembapan, kecepatan angin, dan curah hujan), data tanaman (jenis tanaman, produksi, pengolahan tanah, pemupukan, dan irigasi). Data fisik tanah, diperlukan juga data sekunder yang didapat dari penelitian penelitian sebelumnya di Provinsi Lampung.

3.4.2 Operasional Model DNDC

Berikut ini langkah-langkah mengoperasikan model DNDC

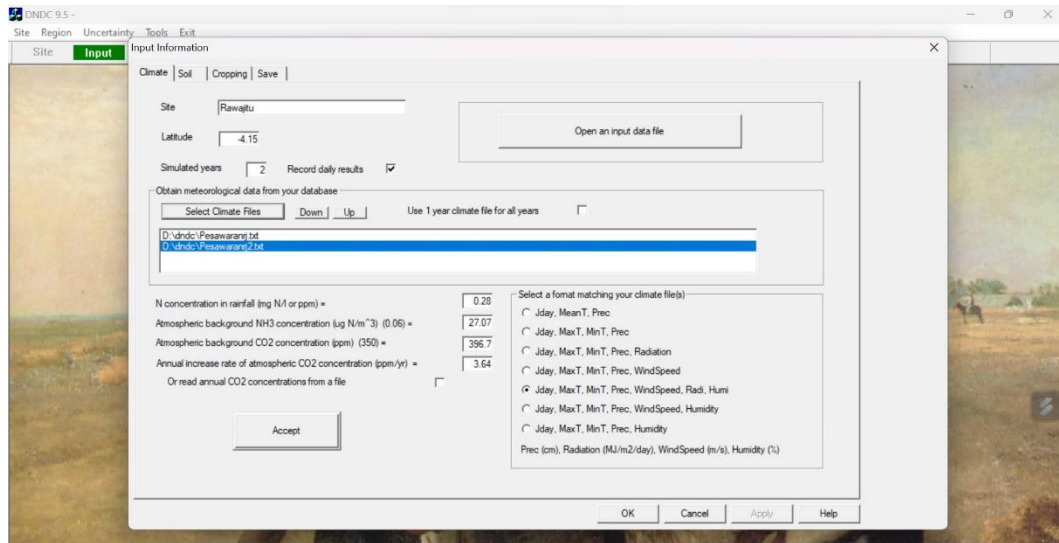
1. Buka aplikasi DNDC yang telah terinstal, tampilan depan akan terlihat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan depan aplikasi DNDC 9.5

2. Klik input sehingga muncul kotak dialog 3 unsur utama yang harus diinput yakni data iklim, tanah dan tanaman.
3. Input data iklim seperti Gambar 6.
 - *Site*: yaitu nama tempat, isikan dengan tanpa spasi.
 - *Latitude*: isikan garis lintang dari lokasi penelitian.
 - *Simulated year*: tahun yang akan disimulasikan.
 - *Select climate files*: klik untuk memilih data iklim, jika tidak ada data sendiri maka ada database yang bisa digunakan untuk simulasi.
 - Isikan konsentrasi N dalam curah hujan, konsentrasi gas di atmosfer seperti NH_3 , CO_2 , dan tingkat kenaikan konsentrasi gas CO_2 tahunan. Jika tidak ada data asli maka akan langsung ada default.
 - Pilih juga format untuk masing-masing data iklim yang dimasukkan ke DNDC, seperti hari ke, suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, kecepatan angin, radiasi, kelembapan. Klik *accept*.

- Kemudian klik *Ok*.

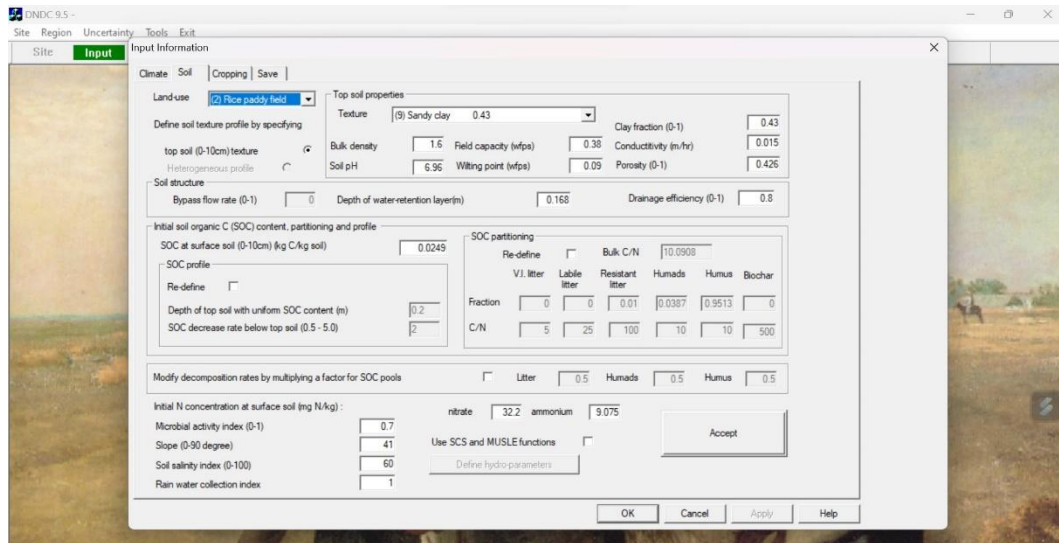


Gambar 6. Tampilan bagian input iklim dalam aplikasi DNDC 9.5

4. Input data tanah seperti Gambar 7.

Data yang perlu diinput pada bagian tanah sebagai berikut

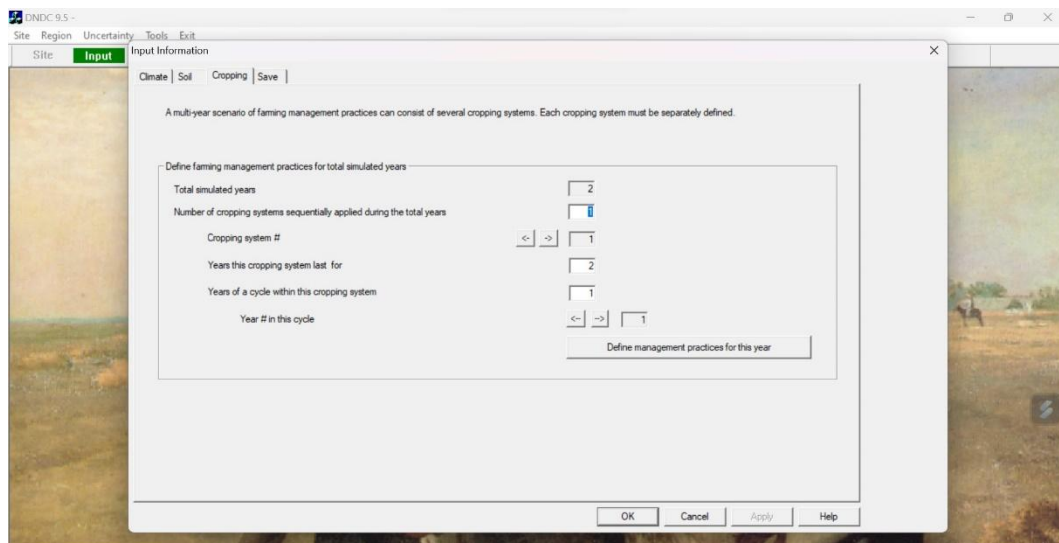
- *Land-use type*: pilih land use yang akan disimulasikan. Pilihannya ada pertanian dataran tinggi, lahan padi sawah, padang rumput yang lembap, padang rumput kering, rawa, atau hutan.
- *Soil texture*: isikan tekstur tanah tempat penelitian, terdapat pilihan seperti pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, lumpur berlempung, lempung, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, berlumpur, lempung liat, lempung berpasir, lempung berlumpur, tanah liat, tanah organik, tanah gambut dan lahan gambut yang dibudidayakan.
- *Bulk density*: isikan kepadatan tanah tempat penelitian.
- *Soil pH*: isikan pH tanah tempat penelitian.
- Dan lain-lain diisikan semua unsur-unsur fisik, kimia, dan biologi tanah berdasarkan hasil analisis tanah.
- Klik *accept*.



Gambar 7. Tampilan bagian tanah pada aplikasi DNDC 9.5

5. Input data tanaman seperti Gambar 8.

Data yang diinput pada komponen tanaman yakni dengan mengisi total tahun yang disimulasikan, jumlah sistem tanam yang diterapkan selama total tahun simulasi. Klik *define management practice of the year*.

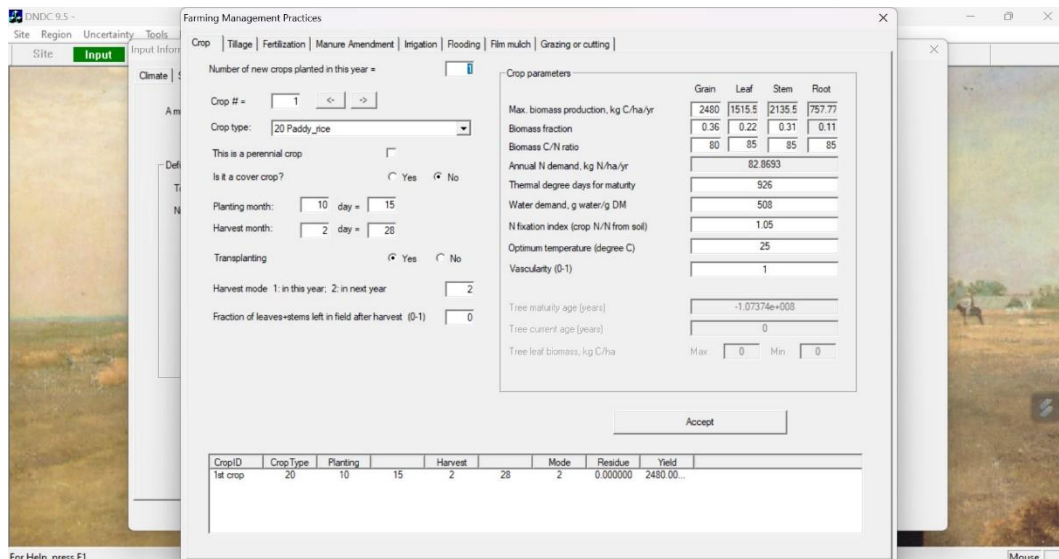


Gambar 8. Tampilan bagian *cropping* pada aplikasi DNDC 9.5

Data yang perlu diinput pada *crop* yakni seperti Gambar 9

- *Crop type*: jenis tanaman sesuai dengan yang disimulasikan.
- *Planting and harvest*: diisi sesuai bulan dan hari penanaman dan pemanenan.

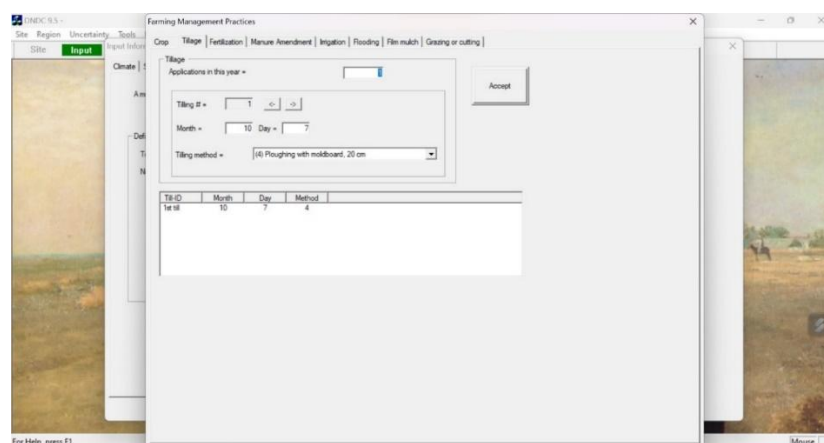
- Isikan *crop parameters* yang terdiri dari biomassa maksimum produksi, biomassa *fraction*, biomassa C/N ratio, dan lainnya.
- Klik *accept*.



Gambar 9. Tampilan bagian *crop* pada aplikasi DNDC 9.5

Data yang perlu diinput pada *tillage* yakni seperti Gambar 10

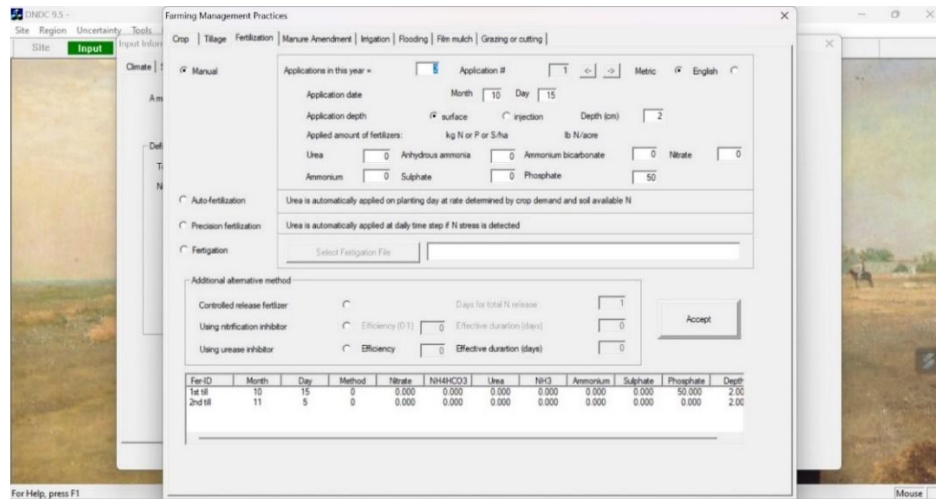
- *Applications in this year*: pengelolaan tanah diisikan sesuai yang disimulasikan, begitu juga bulan dan hari.
- *Tilling method*: metode pengelolaan tanah diisi sesuai dengan simulasi.
- Klik *accept*.



Gambar 10. Tampilan bagian *tillage* pada aplikasi DNDC 9.5

Data yang perlu diinput pada bagian *fertilization* yakni seperti Gambar 11

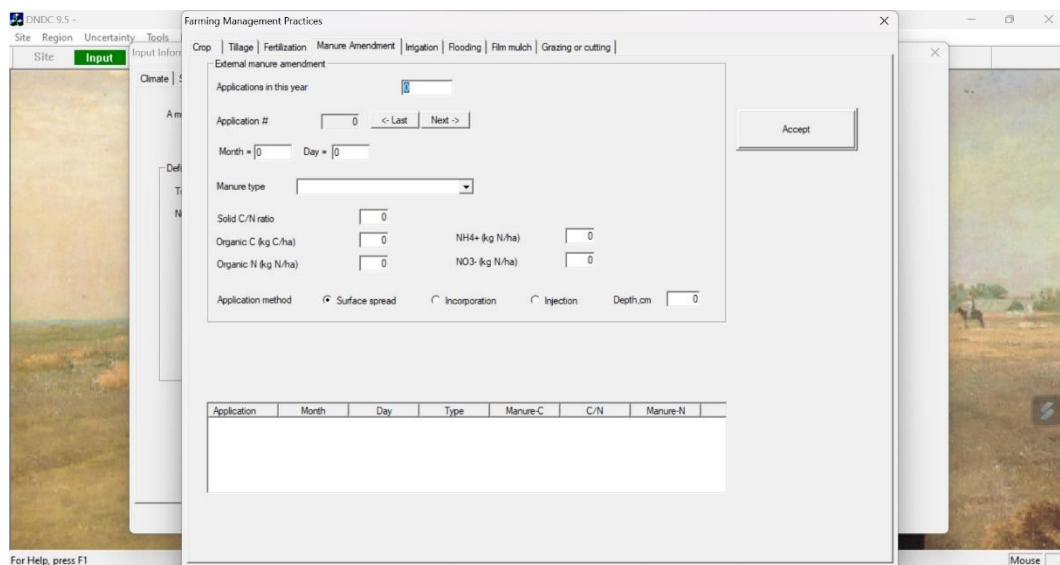
- *Applications in this year*: diisi sesuai dengan banyaknya pemupukan yang digunakan selama tahun penanaman. Data yang diisi berupa bulan dan hari aplikasi, cara aplikasi dan jenis pupuk yang digunakan.
- Klik *accept*.



Gambar 11. Tampilan bagian *fertilization* pada aplikasi DNDC 9.5

Data yang perlu diinput pada bagian *manure amendment* yakni seperti Gambar 12

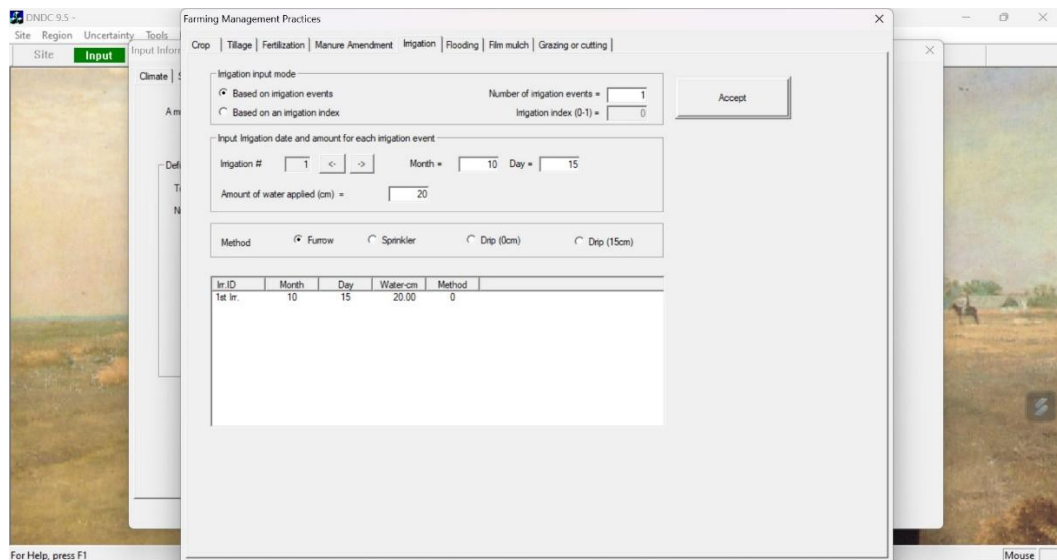
- *Applications in this year*: diisi sesuai dengan banyaknya bahan organik yang diberikan selama tahun penanaman. Data yang diisi berupa bulan dan hari aplikasi, cara aplikasi.
- Klik *accept*.



Gambar 12. Tampilan bagian *manure amendment* pada aplikasi DNDC 9.5

Data yang perlu diinput pada bagian *irrigation* yakni seperti Gambar 13

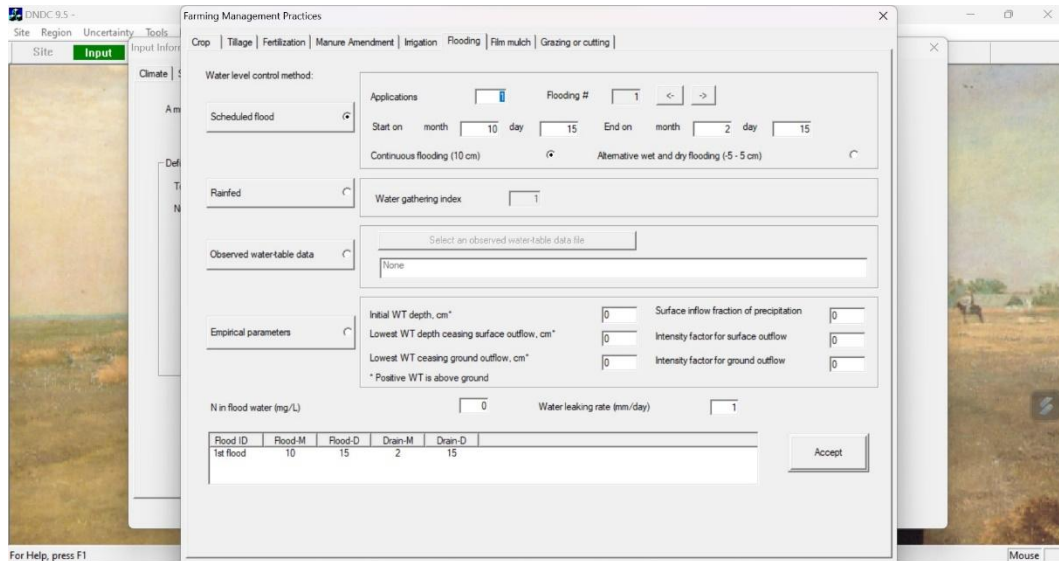
- Terdapat dua opsi irigasi yakni *based on irrigation events* dengan menentukan tanggal, jumlah air, dan metode aplikasi. Opsi *based on an irrigation index* antara 0-1.
- Klik *accept*.



Gambar 13. Tampilan bagian *irrigation* pada aplikasi DNDC 9.5

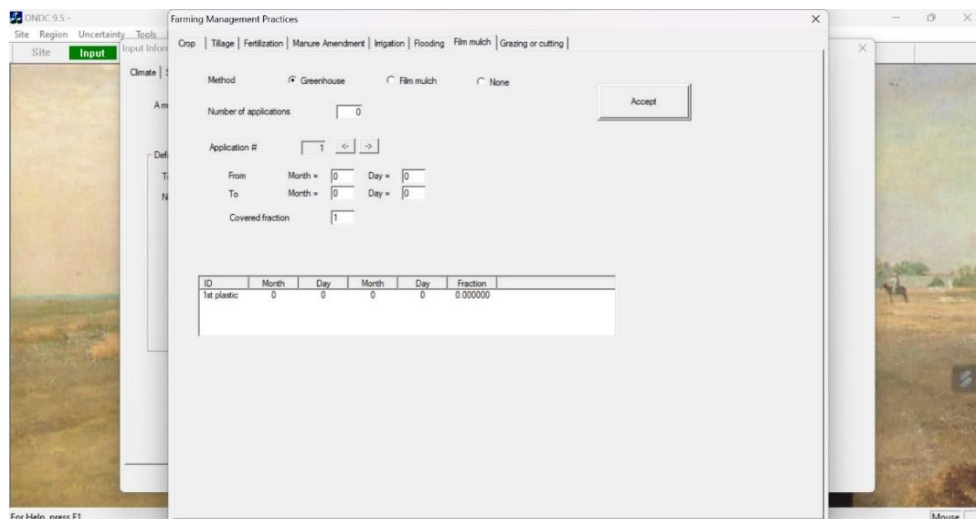
Terdapat beberapa opsi untuk menentukan durasi penggenangan yakni irigasi terjadwal, tadah hujan, data fluktuasi permukaan air yang diamati dan parameter empiris. Pada irigasi terjadwal, parameter yang diinput seperti Gambar 14 meliputi

- Berapa kali tergenang dalam tahun tanam.
- Hari dan bulan mulai penggenangan dan akhir penggenangan.
- Pilih opsi penggenangan konvensional atau penggenangan marginal.
- Klik *accept*.



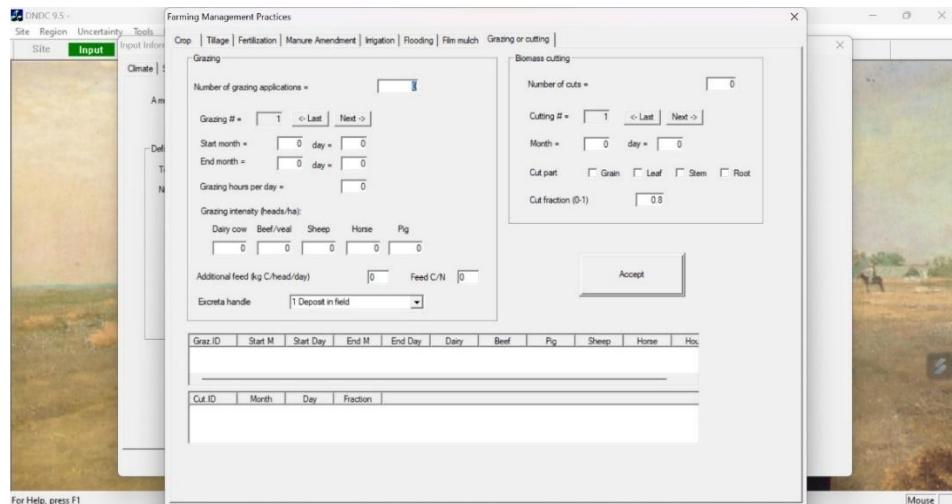
Gambar 14. Tampilan bagian *flooding* pada aplikasi DNDC 9.5

Pada bagian *film mulch* terdapat tiga metode yakni rumah kaca, mulsa dan tidak menggunakan mulsa. Apabila menggunakan rumah kaca atau mulsa, data yang diinput meliputi jumlah aplikasi, hari dan bulan awal dan akhir aplikasi. Namun karena pada penelitian ini yang disimulasikan adalah padi sehingga dipilih *none*. Klik *accept*, seperti Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan bagian *film mulch* pada aplikasi DNDC 9.5

Grazing or cutting biasanya diterapkan pada padang rumput, namun karena pada penelitian ini yang disimulasikan adalah padi sehingga tidak dilakukan penginputan data. Klik *accept* dan *save* hasil semua input seperti Gambar 16. Klik *run* untuk mengetahui hasil pelepasan gas rumah kaca.



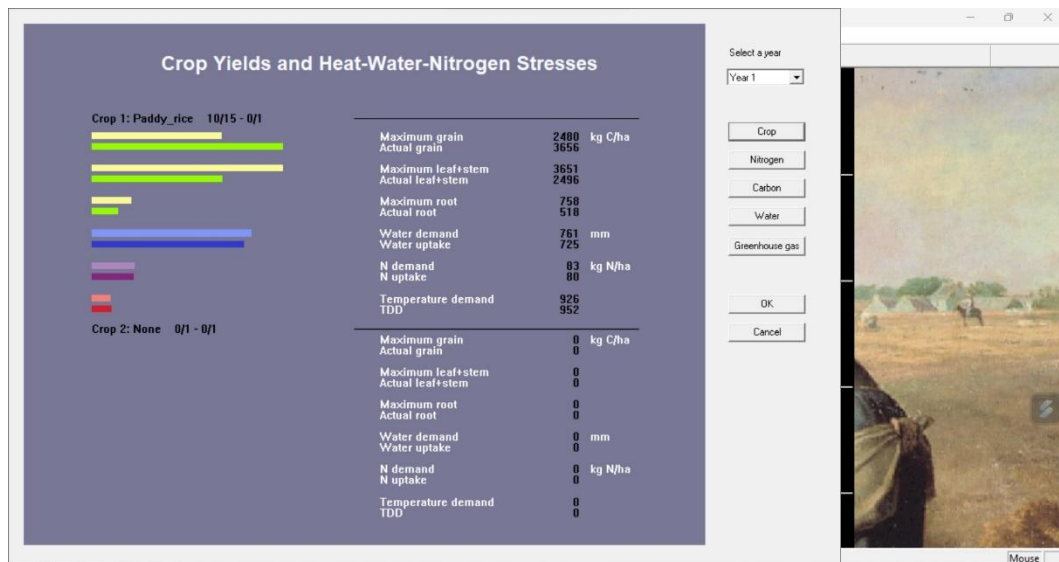
Gambar 16. Tampilan bagian *grazing or cutting* pada aplikasi DNDC 9.5

Runing pada aplikasi DNDC 9.5 menampilkan sejumlah grafik hasil pengolahan data dari parameter iklim, tanaman, tanah, aktifitas mikroba, dan fluk gas seperti Gambar 17. Pada parameter iklim terlihat grafik suhu udara harian, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Parameter tanaman memunculkan grafik stress air, stress N, penyerapan N, biomassa dan stub. Parameter tanah menampilkan grafik suhu, kelembaban, NH_4^+ , NO_3^- , potensial redoks (Eh), dan muka air tanah. Parameter aktivitas mikroba menampilkan grafik dekomposisi harian, nitrifikasi, dinitrifikasi, metanogenesis, dan metanotrof. Sedangkan parameter fluk gas menampilkan grafik fluks harian N_2O , NO, N_2 , CH_4 dan NH_3 .



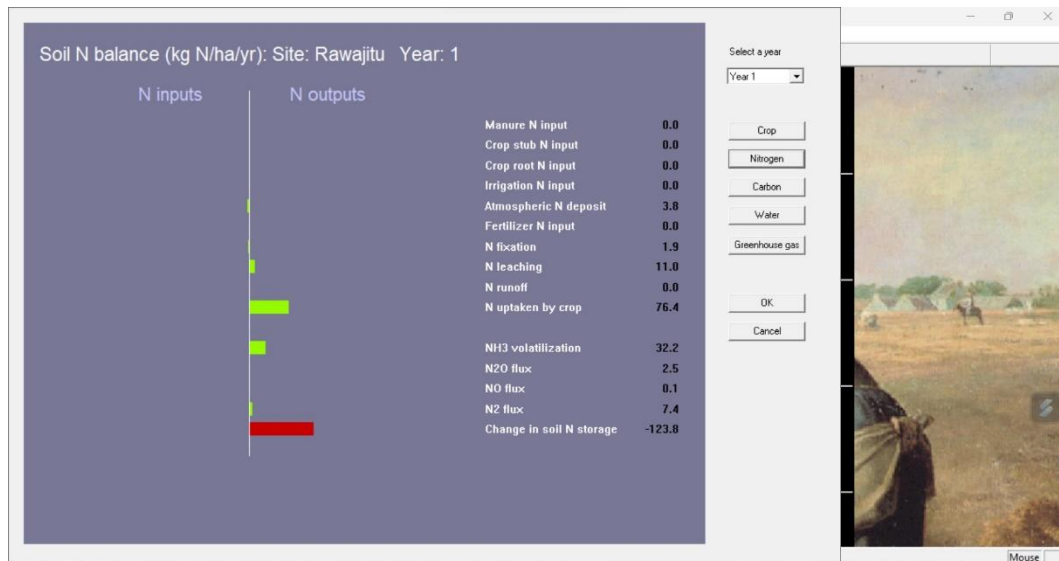
Gambar 17. Tampilan hasil runing pada aplikasi DNDC 9.5

Pada grafik produksi tanaman seperti Gambar 18, garis kuning menunjukkan produksi maksimum gabah, daun, batang, akar, sementara garis biru untuk produksi aktual yang disimulasikan oleh DNDC. Jika produksi aktual lebih rendah dari nilai maksimum, tekanan suhu, air, dan/atau N maka harus diidentifikasi dengan membandingkan antara serapan suhu, air atau N.



Gambar 18. Hasil permodelan produksi biomassa tanaman dan cekaman suhu, air, atau nitrogen pada aplikasi DNDC 9.5

Estimasi N tahunan diperoleh dari fluks input bahan organik, sisa tanaman, dan penggabungan gulma, deposis atmosfer, aplikasi pupuk, dan fiksasi N biotik, sementara N yang hilang atau output karena pencucian, aliran permukaan, penyerapan tanaman, penguapan NH_3 , fluk N_2O , fluk NO , dan fluk N_2 seperti Gambar 19.



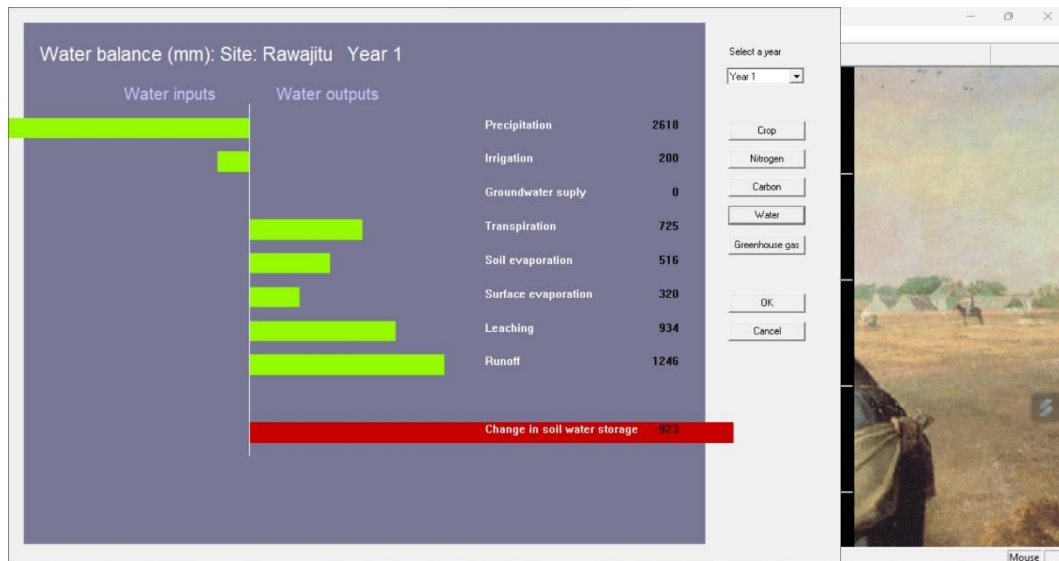
Gambar 19. Hasil permodelan estimasi N tanah pada aplikasi DNDC 9.5

Estimasi C tahunan diperoleh dari fluks input bahan organik, sisa tanaman dan penggabungan gulma, sementara C yang hilang akibat respirasi heterotrofik tanah, pencucian DOC, dan emisi metana seperti Gambar 20.



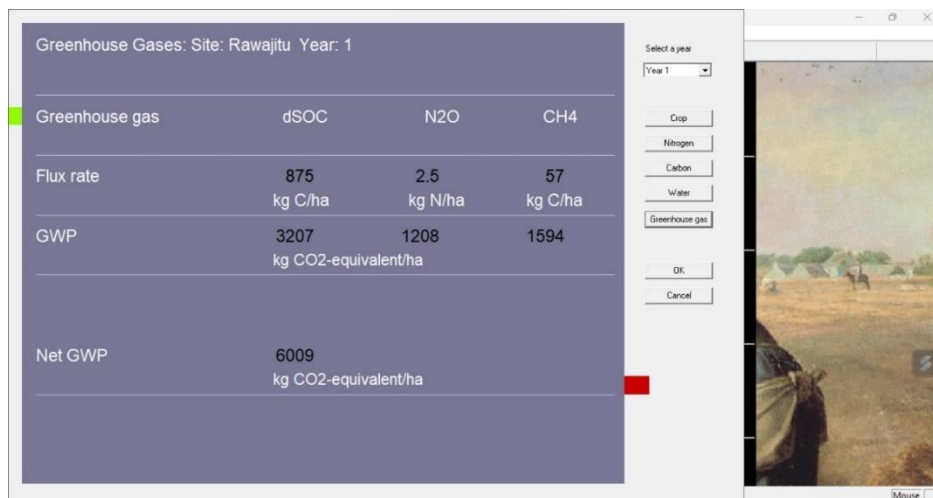
Gambar 20. Hasil permodelan estimasi C tanah pada aplikasi DNDC 9.5

Estimasi air tahunan diperoleh dari input presipitasi, irigasi, dan suplai air tanah. Sementara air yang hilang akibat transpirasi, penguapan tanah, penguapan air permukaan, pencucian dan aliran permukaan seperti Gambar 21.



Gambar 21. Hasil permodelan estimasi air pada aplikasi DNDC 9.5

Estimasi gas rumah kaca tahunan ditunjukkan dari tiga gas rumah kaca yakni CO_2 , CH_4 , dan N_2O . Terdapat juga fluks potensi pemanasan global (GWP) 100 tahun berdasarkan pemanasan gas yang dinyatakan sebagai setara $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{tahun}$, seperti Gambar 22.



Gambar 22. Hasil permodelan estimasi gas rumah kaca pada aplikasi DNDC 9.5

3.4.3 Pengolahan Data

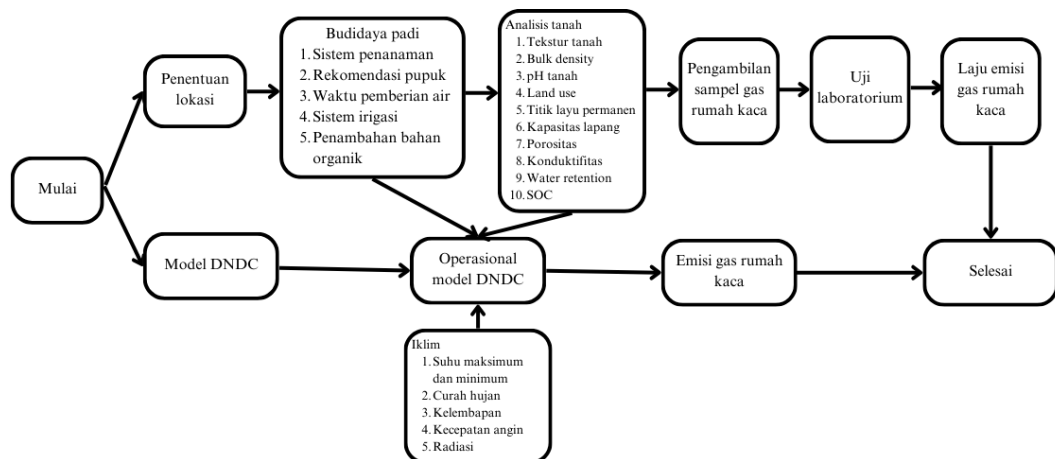
Pengolahan data dilakukan dengan *root mean square error* (RMSE) yang dihitung untuk memverifikasi kinerja model DNDC dan penerimaan hasil model. Cara

menghitung RMSE adalah mengurangi nilai aktual dengan nilai peramalan, kemudian dikuadratkan dan dijumlahkan keseluruhan hasilnya lalu dibagi dengan banyaknya data. Semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat.

Berikut ini rumus RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

Berikut ini alur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini



Gambar 23. Alur kerja penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

1. Varietas Cakrabuana dan Ciliwung memiliki laju emisi metana yang lebih besar masing-masing memiliki rata-rata laju emisi 19,866 kg C/ha/tahun dan 12,823 kg C/ha/tahun, dibandingkan pada Varietas Inpari 32 dengan rata-rata laju emisi 2,017 kg C/ha/tahun berdasarkan pengukuran secara langsung, sedangkan Varietas Ciliwung memiliki laju emisi 34 kg C/ha/tahun, Inpari 32 memiliki laju emisi 15 kg C/ha/tahun dan Cakrabuana memiliki laju emisi 2 kg C/ha/tahun berdasarkan simulasi DNDC. Perbedaan laju emisi metana ini dipengaruhi oleh penggunaan pupuk kandang dan tingginya penggenangan.
2. Model DNDC dapat mensimulasikan emisi gas metana tanaman padi bobot gabah dan biomassa tanaman padi, namun akurasinya tidak memuaskan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan antara lain

1. Dalam menggunakan model DNDC sebaiknya data analisis kandungan kimia tanah dan data iklim lebih banyak sesuai dengan permintaan model agar data yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASA-American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science of America. 2010. Agriculture's role in greenhouse gas emissions and capture. <https://www.crops.org/files/science-policy/ghg-report-august-2010.pdf>.
- Aulakh, M.S., Bodenbender, R. Wassmann, and H. Rennerberh. 2000. Methane Transport Capacity of Rice Plants. II. Variations Among Different Rice Cultivars and Relationship with Morphological Characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58(1):357-366
- 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, 157-174.
- Beheydt, B. 2006. Nitrous oxide emission from agricultural soils: experimental approach and simulation. Faculty of Bioscience Engineering. *Ghent University PhD*. Ghent, pp. 121-136.
- BPS Lampung. 2023. *Provinsi Lampung Dalam Angka 2022*. BPS Provinsi Lampung, Lampung.
- BPS. 2022. *Indonesia Dalam Angka 2021*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS. 2023. *Indonesia Dalam Angka 2022*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Conrad, R. 2007. Microbial Ecology of Methanogens and Methanotrophs. *Advances in Agronomy*, 96, 1-63.
- Crozier, A., Burns, J., Aziz, A. A., Stewart, A. J., Rabiasz, H. S., Jenkins, G. I., & Lean, M. E. 2000. Antioxidant flavonols from fruits, vegetables and beverages: measurements and bioavailability. *Biological Research*, 33(2), 79-88.

- Das, S., Adhya, T.K. 2014. Effect of Combine Application of Organic Manure and Inorganic Fertilizer on Methane and Nitrous Oxide Emissions From a Tropical Flooded Soil Planted to Rice. *Geoderma* 213, 185–192.
- Gilhespy, S. L., Anthony, S., Cardenas, L., Chadwick, D., del Prado, A., Li, C., & Yeluripati, J. B. 2014. First 20 years of DNDC (DeNitrification DeComposition): model evolution. *Ecological modelling*, 292, 51-62.
- Grote, R., Lavoie, A.V., Rambal, S., Staudt, M., Zimmer, I., Schnitzler, J.-P. 2009. Modelling the drought impact on monoterpene fluxes from an evergreen Mediterranean forest canopy. *Oecologia* 160, 213–223.
- Haas, E., Klatt, S., Fröhlich, A., Kraft, P., Werner, C., Kiese, R., Grote, R., Lutz, B., Butterbach-Bahl, K. 2012. Landscape DNDC: a process model for simulation of biosphere-atmosphere-hydrosphere exchange processes at site and regional scale. *Landscape Ecol.* 1–22.
- He, L., Groom, J. D., Wilson, E. H., Fernandez, J., Konopka, M. C., Beck, D. A., & Lidstrom, M. E. 2023. A methanotrophic bacterium to enable methane removal for climate mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(35), e2310046120.
- Hidore, John J., J. E. Oliver, M. Snow, and R. Snow. 2010. *Climatology: An Atmospheric Science*. Third Edition, Edited by N. Folchetti. Pearson Education, Inc. New Jersey. 383 page.
- Holzappel-Pschorn, A., Conrad, R., & Seiler, W. 1986. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant and soil*, 92, 223-233.
- Hou, P. G. Li, S. Wang, X. Jin, Y. Yang, X. Chen, C. Ding, Z. Liu, Y. Ding. 2013. Methane emissions from rice fields under continuous straw return in the middle-lower reaches of the Yangtze River. *J. Environ. Sci.* 25. 1874-1881.
- IAEA. 1992. *Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture*. IAEA-TECHDOC-674. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency (IAEA). 91.
- IPCC. 2013. *Summary for Policymakers*. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, et al., editors. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. Available: <http://www.climatechange2013.org>.

- IPCC. 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jakobsen, P. W.H. Patrick, Jr, and B.G. William.1991. Sulfide and methane formation in soils and sediments. *Soil Sci.* 132:279-287.
- Johnson, J., & Marshall, P. 2007. *Climate change and the great barrier reef*. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20963614>.
- Kehutanan, K.L.H. 2010. Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2009. *Laporan*.
- Kehutanan, K.L.H. 2020. Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2019. *Laporan*.
- Komiya, S., Noborio, K., Katano, K., Pakoktom, T., Siangliw, M., & Toojinda, T. 2015. Contribution of ebullition to methane and carbon dioxide emission from water between plant rows in a tropical rice paddy field. *International scholarly research notices*, (1), 623901.
- Kröbel, R., Smith, W.N., Grant, B.B., Desjarins, R.L., Campbell, C.A., Tremblay, N., Li, C.S., Zentner, R.P., McConkey, B.G. 2011. Development and evaluation of a new Canadian spring wheat sub-model for DNDC. *Can. J. Soil Sci.* 91 (4), 503–520.
- Kumar, J.I.N. and S. Viyol. 2009. Short term diurnal and temporal measurement of methane emission in relation to organic carbon, phosphate and sulphate content of two rice fields of central Gujarat, India. *J. Environ. Biol.* 30(2): 241–246.
- 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.
- Lembaid, I., Moussadek, R., Mrabet, R., & Bouhaouss, A. 2022. Modeling soil organic carbon changes under alternative climatic scenarios and soil properties using DNDC Model at a semi-arid Mediterranean environment. *Climate*, 10(2), 23.
- Li, C. S., Frohking, S., Harriss, R. 1994. Modelling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Glob. Biogeochem. Cycles* 8 (3), 237-254.
- Li C.S. 2000. Modeling Trace Gas Emissions from Agricultural Ecosystems, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 58(1-3), 259- 276.

- Lu, W.F., W. Chen, B.W. Duan, W.M. Guan, Y. Lu, and R.S. Lantin. 2000. Methane emissions and mitigation options in irrigated rice fields in Southeast China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 65–73.
- Nihayah, Badi'atun, Bayu Dwi Apri Nugroho, Nur Aini Iswati Hasanah. 2021. Medel Denitrification-Decomposition (DNDC) untuk Estimasi Emisi Gas Metana (CH₄) pada Budidaya Padi Metode System of Rice Intersification (SRI). *Perpustakaan Universitas Gadjah Mada*.
- OECD. 2019. *An OECD learning framework 2030* (pp. 23-35). Springer International Publishing.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in agronomy*, 24, 29-96.
- Ponnamperuma, F.N. 1985. Straw as a source of nutrients for wetland rice. In Organic Matter and Rice. *International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines*. pp. 311–328.
- Pradana, O. C. P., & Sesanti, R. N. 2018. Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Curah Hujan Berdasarkan Perubahan Zona Agroklimatologi Pada Skala Lokal Politeknik Negeri Lampung. *Jurnal Wacana Pertanian*, 14(1), 24-31.
- Rahmat, Arif. 2018. Pendugaan Emisi Gas CH₄ dan N₂O dari Padi Sawah Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) dan Denitrification-Decomposition (DNDC). Doctoral dissertation, *Bogor Agricultural University (IPB)*.
- Rahmat, A., C. Arif, and Y. Chadirin. 2019. Estimasi Gas Rumah Kaca pada Berbagai Macam Pengelolaan Air Menggunakan Model Denitrifikasi-Dekomposisi (DNDC). *J. Irig.* 13(1): 11. doi: 10.31028/ji.v13.i1.11-20.
- Schutz, H., A. Holzapfel-Pschorn, R. Conrad, H. Rennenberg, and W. Seiler. 1989. A 3-year continuous record on the influence of daytime season and fertilizer treatment on methane emission rate from an Italian rice paddy field. *J. Geophys. Res.* 94: 16405–16416.
- Serrano-Silva, N., Sarria-Guzmán, Y., Dendooven, L., & Luna-Guido, M. 2014. Methanogenesis and methanotrophy in soil: a review. *Pedosphere*, 24(3), 291-307.
- Setyanto, P. 2004. Mitigasi Gas Metan dari Lahan Sawah dalam Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanga dan Agroklimat*. Bogor.

- Susilawati, Setyanto, dan Kartikawati. 2009. Karakteristik Tanaman Padi Pasang Surut dan Perbedaannya Terhadap Fluks CH₄ di Tanah Gambut. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 30(2):67-79.
- Nugroho, S. G., Lumbanraja, J., Suprpto, H., Sunyoto, Ardjasa, W. S., Haraguchi, H., & Kimura, M. 1994. Methane emission from an Indonesian paddy field subjected to several fertilizer treatments. *Soil Science and Plant Nutrition*, 40(2), 275-281.
- Wang ZP, Delaune RD, Masschleyn PH dan Patrick WH. 1993. Soil Redox and pH Effects on Methane Production in a Flooded Rice Soil. *Journal Soil Science Society America*. 57:382-385.
- Watanabe, I. and P.A. Roger. 1985. Ecology of flooded rice fields. In *Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization*. *International Rice Research Institute*, Los Banos, Philippines. pp. 229–243.
- Wassman, R., H. Papen, and H. Rennenberg. 1993. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies. *Chemosphere* 26: 201-217.
- Wihardjaka, A. 2015. Mitigasi emisi gas metana melalui pengelolaan lahan sawah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 34(3), 309-313.
- Yunianti, I. F., Yulianingrum, H., & Ariani, M. 2020. Pengaruh Pemberian Variasi Bahan Organik Terhadap Peningkatan Produksi Padi dan Penurunan Emisi Metana (CH₄) di Lahan Sawah Tadah Hujan. *Ecolab*, 14(2), 79-90.
- Zhang, H., Liu, H., Hou, D., Zhou, Y., Liu, M., Wang, Z., Yang, J. 2019. The effect of integrative crop management on root growth and methane emission of paddy rice. *The Crop Journal*, 7, 444–457.
- Zhang, W., C. Liu, X. Zheng, K. Wang, F. Cui, et al. 2019. Using a modified DNDC biogeochemical model to optimize field management of a multi-crop (cotton, wheat, and maize) system: A site-scale case study in northern China. *Biogeosciences* 16(14): 2905–2922. doi: 10.5194/bg-16-2905-2019.
- Zhang, Z. J., Wang, X. M., & McAlonan, G. M. 2012. Neural acupuncture unit: a new concept for interpreting effects and mechanisms of acupuncture. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012(1), 429412. Li et al., 2012
- Zhang, Y., Li, C., Zhou, X., Moore III, B., 2022. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. *Model*. 151, 75-108.