



OPTIMIZATION OF RICE CULTIVATION PRACTICES WITH LOW METHANE EMISSIONS

HAJRAH NANDA PUTRI



**CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



THESIS STATEMENT, SOURCE ACKNOWLEDGMENT, AND COPYRIGHT TRANSFER DECLARATION

I hereby declare that the thesis titled "Optimization of Rice Cultivation Practices with Low Methane Emissions" is my original work, under the guidance of my academic supervisor, and has not been submitted in any form to any other institution. Sources of information derived from or cited from the works of other authors, whether published or unpublished, have been duly acknowledged within the text and listed in the References section at the end of this thesis.

Furthermore, I hereby transfer the copyright of my written work to IPB University.

Bogor, January 2026

Hajrah Nanda Putri
F4501212011

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

HAJRAH NANDA PUTRI. Optimization of Rice Cultivation Practices with Low Methane Emissions. Supervised by Prof. Dr. Ir. CHUSNUL ARIF, S.TP, M.Si. IPM, and Prof. Dr. SATYANTO K. SAPTOMO, S.TP., M.Si. IPM.

Rice cultivation is a primary anthropogenic source of methane (CH₄), a potent greenhouse gas contributing substantially to global warming. Continuous flooding in conventional rice systems creates anaerobic soil conditions that enhance methanogenic activity. In Indonesia, this poses a challenge in balancing food security with greenhouse gas mitigation commitments. This study aimed to identify rice cultivation practices that reduce CH₄ emissions without compromising productivity by comparing conventional and System of Rice Intensification (SRI) systems combined with organic and inorganic fertilization.

Methane flux was measured under four cultivation practices, namely Conventional-Organic (OC), Conventional-Inorganic (IC), SRI-Organic (OS), and SRI-Inorganic (IS), using the closed-chamber method and gas chromatography. Soil moisture, soil temperature, electrical conductivity, redox potential, and soil pH were monitored to examine their relationships with CH₄ emissions. An Artificial Neural Network (ANN) model was developed to predict CH₄ flux based on soil and management variables, followed by polynomial curve fitting for post-model interpretation along a controllable environmental gradient.

The results showed distinct differences in CH₄ emissions and rice productivity among treatments. Seasonal CH₄ emissions (ton CO₂-eq ha⁻¹ season⁻¹) were highest under OC (83.91), followed by IC (70.43) and OS (56.67), while the lowest emissions occurred under IS (41.68), representing an approximate 50% reduction relative to conventional organic cultivation. Grain yield was highest under OS (12.05-ton ha⁻¹ season⁻¹), whereas IS maintained stable productivity (11.31-ton ha⁻¹) with substantially lower emissions, indicating a favorable balance between yield and mitigation.

Correlation and regression analyses indicated that none of the evaluated soil parameters exhibited statistically significant linear relationships with CH₄ emissions ($p > 0.05$). Redox potential showed the strongest association with the other variables ($r = 0.215$; $p = 0.051$), suggesting an important but non-independent influence on CH₄ dynamics. Soil moisture was therefore applied in post-model evaluation, not as the most statistically dominant factor, but as a practical proxy for redox-regulated processes that can be directly managed through irrigation.

The ANN model demonstrated strong predictive performance across treatments ($R^2 = 0.86-0.99$). Polynomial curve fitting of ANN-predicted values revealed a nonlinear response of CH₄ emissions to soil moisture, identifying a stationary inflection point at $\theta \approx 0.33$ and a domain-limited minimum emission range around $\theta \approx 0.37-0.38$. These laboratory-scale findings confirm that regulated irrigation under SRI, particularly when combined with inorganic fertilization, provides a practical pathway to reduce CH₄ emissions without compromising rice productivity, supporting data-driven strategies for sustainable rice cultivation under tropical conditions

Keywords: artificial neural network, methane emission, optimization, rice cultivation, system of rice intensification

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

HAJRAH NANDA PUTRI. Optimization of Rice Cultivation Practices with Low Methane Emissions. Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. CHUSNUL ARIF, S.TP, M.Si. IPM, and Prof. Dr. SATYANTO K. SAPTOMO, S.TP., M.Si. IPM.

Budidaya padi merupakan salah satu sumber antropogenik utama emisi metana (CH_4), yaitu gas rumah kaca dengan *global warming potential* yang tinggi. Praktik budidaya padi konvensional dengan penggenangan kontinu menciptakan kondisi tanah anaerob yang mendukung aktivitas mikroorganisme metanogen. Di Indonesia, kondisi ini menimbulkan tantangan dalam menjaga ketahanan pangan sekaligus memenuhi komitmen pengurangan emisi gas rumah kaca. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi praktik budidaya padi yang mampu menurunkan emisi CH_4 tanpa mengurangi produktivitas, melalui perbandingan sistem konvensional dan *System of Rice Intensification* (SRI) yang dikombinasikan dengan pemupukan organik dan anorganik.

Fluks metana diukur pada empat perlakuan budidaya, yaitu Konvensional-Organik (OC), Konvensional-Anorganik (IC), SRI-Organik (OS), dan SRI-Anorganik (IS), menggunakan metode *closed-chamber* dan analisis gas kromatografi. Parameter lingkungan tanah yang diamati meliputi kadar air tanah, suhu tanah, konduktivitas listrik, potensial redoks, dan pH tanah untuk mengevaluasi keterkaitannya dengan emisi CH_4 . Selain itu, dikembangkan model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi fluks CH_4 berdasarkan variable parameter tanah dan pengelolaannya. Hasil prediksi ANN selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan *polynomial curve fitting* guna mendukung interpretasi *post-model* terhadap gradien lingkungan yang dapat dikendalikan.

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang jelas pada emisi CH_4 dan produktivitas padi antarperlakuan. Emisi CH_4 musiman ($\text{ton CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$) tertinggi tercatat pada perlakuan OC (83,91), diikuti IC (70,43) dan OS (56,67). Emisi terendah terjadi pada perlakuan IS (41,68), yang menunjukkan penurunan $\approx 50\%$ dibandingkan budidaya konvensional organik. Produktivitas padi tertinggi diperoleh pada perlakuan OS ($12,05\text{-ton ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$), sedangkan perlakuan IS mampu mempertahankan hasil produksi gabah yang stabil ($11,31\text{-ton ha}^{-1}$) dengan emisi yang jauh lebih rendah, sehingga mencerminkan keseimbangan yang baik antara hasil panen dan mitigasi emisi.

Analisis korelasi dan regresi menunjukkan bahwa seluruh parameter tanah yang diamati tidak memiliki hubungan linear yang signifikan secara statistik dengan emisi CH_4 ($p > 0,05$). Di antara parameter tersebut, potensial redoks (Eh) menunjukkan keterkaitan paling kuat dengan variabel lainnya ($r = 0,215$; $p = 0,051$), yang mengindikasikan peran penting Eh dalam dinamika emisi CH_4 meskipun tidak bersifat independen. Oleh karena itu, kadar air tanah digunakan dalam evaluasi *post-model* bukan sebagai faktor yang paling dominan secara statistik, melainkan sebagai *practical proxy* bagi proses yang mengendalikan kondisi redoks dan dapat dikelola secara langsung melalui pengaturan irigasi.

Model ANN menunjukkan kinerja prediksi yang baik pada seluruh perlakuan dengan nilai R^2 berkisar antara 0,86 hingga 0,99. Analisis *polynomial curve fitting* terhadap hasil prediksi ANN memperlihatkan respons nonlinier emisi CH_4 terhadap kadar air tanah, dengan titik belok stasioner pada $\theta \approx 0,33$ dan rentang minimum

emisi yang terbatas pada $\theta \approx 0,37-0,38$. Temuan skala laboratorium ini menunjukkan bahwa pengelolaan irigasi secara terkontrol dalam sistem SRI, khususnya apabila dikombinasikan dengan pemupukan anorganik, merupakan pendekatan yang aplikatif untuk menurunkan emisi CH_4 tanpa mengorbankan produktivitas padi, serta mendukung strategi budidaya padi berkelanjutan berbasis data di wilayah tropis.

Kata kunci: *artificial neural network*, budidaya padi, emisi metana, optimalisasi, *system of rice intensification*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

OPTIMIZATION OF RICE CULTIVATION PRACTICES WITH LOW METHANE EMISSIONS

HAJRAH NANDA PUTRI

Thesis
as one of the requirements to obtain the degree
Master of
Civil and Environmental Engineering Program

**CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Panelists at the Thesis Examination:

1. Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Thesis Title : Optimization of Rice Cultivation Practices with Low Methane Emissions

Name : Hajrah Nanda Putri

Student ID No. : F4501212011

Approved by

Supervisor 1:

Prof. Dr. Ir. Chusnul Arif, S.TP, M.Si. IPM

Supervisor 2:

Prof. Dr. Ir. Satyanto K. Saptomo, S.TP., M.Si. IPM.



Recognized by

Head of the Study Program:

Prof. Dr. Ir. Satyanto K. Saptomo, S.TP., M.Si. IPM.
NIP 19730411 200501 1 002

Dean of the Faculty of Engineering and Technology:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP 19610502 198603 1 002



Date of Thesis Defense:
9th January 2026

Date of Completion:

11 3 JAN 2026

PREFACE

The author would like to express deepest gratitude to Allah Subhanahu wa Ta'ala for His abundant blessings, guidance, and mercy, without which this thesis could not have been completed. This research, entitled “Optimization of Rice Cultivation Practices with Low Methane Emissions, was conducted within the framework of the Master’s Program in Civil and Environmental Engineering at IPB University.

The author sincerely extends appreciation to the following individuals for their invaluable contributions and support throughout this academic journey:

1. Prof. Dr. Ir. Chusnul Arif, S.TP., M.Si., IPM, primary supervisor, for his exceptional guidance, insightful advice, patience, kindness, and endless optimism, which have continuously encouraged and inspired the author to keep going throughout her master’s academic journey.
2. Prof. Dr. Satyanto K. Saptomo, S.TP, M.Si, co-supervisor, for his invaluable mentorship, expertise, patience, and constant encouragement, and his optimistic belief in the author’s ability to complete this academic journey.
3. Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si, as the examiner of the thesis defense, brilliant mentor, and warm friend, for her sincere and invaluable guidance, constructive insights, constant encouragement, and support extended from the early stages of the research until its completion.
4. Dr. Eng. Allen Kurniawan, S.T., M.T, as the chair of the thesis defense, for his valuable suggestions and critical insights that significantly contributed to the refinement of this thesis manuscript.
5. The author’s beloved parents and sister, who are the author’s greatest purpose and source of strength, for their unwavering prayers, patience, boundless love, and infinite support that sustained the author throughout every stage of this academic journey.
6. The author’s friends and colleagues, for their companionship, encouragement, and moral support, which made the learning process more meaningful and enjoyable.

The author hopes that the findings presented in this thesis will be beneficial to researchers, practitioners, and policymakers, and that this work may contribute meaningfully to the advancement of science.

Bogor, January 2026

Hajrah Nanda Putri

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES	xii
LIST OF FIGURES	xii
LIST OF ATTACHMENTS	xii
I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Statement of the Problems	2
1.3 Objectives	3
1.4 Benefits	3
1.5 Scope	3
II LITERATURE REVIEW	5
2.1 Methane Formation and Emission in Paddy Fields	5
2.2 Influence of Rice Cultivation Practices on Methane Emissions	6
2.3 Optimization Modeling	8
III METHODOLOGY	11
3.1 Research Location and Experimental Design	11
3.2 Tools and Materials	13
3.3 Irrigation and Fertilization Management	13
3.4 Methane Gas Sampling	15
3.5 CH ₄ Emissions Analysis	15
3.6 Soil Parameters	17
3.7 Optimization Model Development	17
3.8 Model Performance Evaluation	19
3.9 Crop productivity	19
IV RESULTS AND DISCUSSION	20
4.1 Methane Emissions under Different Rice Cultivation Practices	20
4.2 Factors Influencing Methane Emissions in Rice Cultivation	24
4.3 Optimization of Rice Cultivation Practices	25
4.4 Implications for Climate Smart Agriculture (CSA) and Policy Recommendations	31
V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	35
5.1 Conclusion	35
5.2 Recommendation	35
REFERENCES	37
APPENDICES	46

LIST OF TABLES

1	Key differences between System of Rice Intensification (SRI) and conventional rice cultivation practices	7
2	Research on methane emissions in SRI and conventional cultivation with various types of fertilizer treatments	9
3	Seasonal methane emission under different cultivation practices	22
4	Correlation and regression analysis of soil parameters and CH ₄ emissions in rice cultivation practices	24
5	Rice productivity under different rice cultivation practices	30

LIST OF FIGURES

1	Methane formation and emission process in paddy fields	5
2	Experimental boxes design	11
3	Research framework	12
4	Irrigation and fertilization schedule for (a) SRI cultivation and (b) conventional cultivation practice	14
5	Experimental box with gas chamber on the chamber base	15
6	ANN model structure developed	18
7	Temporal variation of observed methane flux (E-CH ₄) under different rice cultivation practices	20
8	Relationship between measured and ANN-estimated methane flux under four rice cultivation practices	26
9	Polynomial curve fitting of ANN-predicted methane emissions to identify optimal soil moisture conditions	29

LIST OF APPENDICES

1	Microclimatic conditions during methane gas sampling	46
2	Steps for methane gas sampling using the closed chamber method	47
3	Pearson correlation and simple linear regression analysis	49
4	Soil physical and chemical properties of the composite soil sample	51
5	Temporal variation of observed methane flux (E-CH ₄) under different rice cultivation practices	52
6	Methane flux and soil parameters under different cultivation practices used for ANN modeling	53
7	Research documentation	56