

OPTIMIZING PERFORMANCE OF EUCALYPTUS CLONES WITH NUTRIENT BALANCE APPROACH: QUANTIFYING AND EVALUATING RESPONSES IN TYPIC KANDIUDULTS

DAVID RICARDO SIMBOLON



SOIL SCIENCE STUDY PROGRAM
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
2025



@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

STATEMENT OF THESIS FOR SOURCES OF INFORMATION AND COPYRIGHT TRANSFER

I hereby declare that the thesis entitled “Optimizing Performance of Eucalyptus Clones with Nutrient Balance Approach: Quantifying and Evaluating Responses in Typic Kandiodults” is my own work completed under the guidance of academic supervisors, and has not been submitted in any form to any other university or institution. All sources of information, whether published or unpublished, that have been cited or referred to from the works of other authors are properly acknowledged within the text and listed in the references section at the end of this thesis.

I hereby transfer the copyright of this thesis to IPB University.

Bogor, October 2025

David Ricardo Simbolon
A1501232022



SUMMARY

DAVID RICARDO SIMBOLON. Optimizing Performance of Eucalyptus Clones with Nutrient Balance Approach: Quantifying and Evaluating in Typic Kandudults. Supervised by SUWARDI and SYAIFUL ANWAR.

Eucalyptus plantations in Riau Province, which serve as the backbone of Indonesia's pulp industry, face declining productivity challenges due to soil fertility degradation. The dominant soil in this region is Typic Kandudults, characterized by strongly acidic pH (3.4-4.7), high aluminium toxicity, and very low levels of essential nutrients such as phosphorus (P) and potassium (K). These conditions are exacerbated by long-term intensive monoculture practices. Meanwhile, dependence on volatile imported fertilizers demands higher nutrient use efficiency. Conventional uniform fertilization approaches for all clones are deemed ineffective, necessitating precision strategies that consider the specific physiological characteristics of each Eucalyptus clone.

This research aims to quantify nutrient uptake and efficiency of each Eucalyptus clone based on total biomass, quantify the nutrient contribution of harvest residues returned to the soil, and validate the effectiveness of the Nutrient Balance (NB) approach based on field trial results. The study was conducted in two phases. The first phase involved destructive biomass sampling of five superior Eucalyptus clones (Pelita 1, Pelita 2, Grandis Pelita 1, 2, and 3) at harvest age of 5 years. Samples were analysed to calculate Biological Utilization Coefficient (BUC) and Nutrient Use Efficiency (NUE). The second phase was field validation using the twin plot method, where NB-based fertilization plots were compared with standard operational procedure (SOP) plots on Pelita 1 clone over one full rotation.

The results revealed significant physiological variation among clones. BUC analysis showed differences in nutrient acquisition efficiency and recycling contribution. Grandis Pelita 3 stood out with the highest BUC-Left on Site for K (0.16) and Ca (0.16), indicating its superior ability to recycle nutrients. Meanwhile, NUE analysis revealed highly varied efficiency in converting nutrients into biomass. Pelita 2 and Grandis Pelita 2 showed the best NUE for P (9628 and 9069 kg biomass/kg P respectively) and Mg. Conversely, Grandis Pelita 1 showed unfavourable specialization for P-deficient soils, with the lowest P NUE (2184 kg biomass/kg P) despite its high N NUE. This data proves that each clone has unique physiological strategies in facing nutrient stress.

Another key finding is the vital contribution of harvest residues to nutrient cycling. BUC-Left on Site values showed that harvest residues return 16-41% of absorbed P and 14-16% of absorbed K back to the soil. This makes residues not just waste, but a crucial recycled nutrient source for production system sustainability, while reducing dependence on external fertilizers.

The integration of BUC and NUE data then became the foundation for the Nutrient Balance (NB) approach. The NB approach calculates precise fertilizer



RINGKASAN

DAVID RICARDO SIMBOLON. *Optimalisasi Performa Klon Eukaliptus dengan Pendekatan Keseimbangan Hara: Kuantifikasi dan Evaluasi pada Typic Kandiuudults*. Dibimbing oleh SUWARDI dan SYAIFUL ANWAR

Perkebunan *Eucalyptus* di Provinsi Riau, yang menjadi tulang punggung industri pulp nasional, menghadapi tantangan penurunan produktivitas akibat degradasi kesuburan tanah. Tanah dominan di wilayah ini adalah Typic Kandiuudults yang dicirikan oleh pH sangat masam (3.4-4.7), keracunan aluminium tinggi, dan kandungan hara esensial seperti fosfor (P) dan kalium (K) yang sangat rendah. Kondisi ini diperparah oleh praktik monokultur intensif dalam waktu panjang. Di sisi lain, ketergantungan pada pupuk impor yang volatile menuntut efisiensi penggunaan hara yang lebih tinggi. Pendekatan pemupukan konvensional yang seragam untuk semua klon dinilai tidak lagi efektif, sehingga diperlukan strategi presisi yang mempertimbangkan karakteristik fisiologis spesifik setiap klon *Eucalyptus*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi serapan hara dan efisiensi setiap klon *Eucalyptus* berdasarkan total biomassa, mengkuantifikasi kontribusi hara dari residu panen yang dikembalikan ke tanah, dan memvalidasi efektivitas pendekatan Keseimbangan Hara (NB) berdasarkan hasil uji lapangan. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian dilaksanakan dalam dua fase. Fase pertama melibatkan sampling biomassa destruktif pada lima klon *Eucalyptus* unggulan (Pelita 1, Pelita 2, Grandis Pelita 1, 2, dan 3) pada umur tebang 5 tahun. Sampel dianalisis untuk menghitung Koefisien Utilisasi Biologis (BUC) dan Efisiensi Penggunaan Hara (NUE). Fase kedua adalah validasi lapangan menggunakan metode twin plot, dimana plot dengan pemupukan berbasis keseimbangan hara dibandingkan dengan plot standar operasional pada klon Pelita 1 selama satu rotasi penuh.

Hasil penelitian mengungkapkan variasi fisiologis yang signifikan antar klon. Analisis BUC menunjukkan perbedaan efisiensi akuisisi hara dan kontribusi daur ulang. Klon Grandis Pelita 3 menonjol dengan BUC-Left on site tertinggi untuk K (0.16) dan Ca (0.16), mengindikasikan kemampuannya yang unggul dalam mendaur ulang hara. Sementara itu, analisis NUE mengungkap efisiensi konversi hara menjadi biomassa yang sangat beragam. Klon Pelita 2 dan Grandis Pelita 2 menunjukkan NUE terbaik untuk P (masing-masing 9628 dan 9069 kg biomassa/kg P dan Mg). Sebaliknya, Grandis Pelita 1 menunjukkan spesialisasi yang tidak menguntungkan untuk tanah miskin P, dengan NUE P terendah (2184 kg biomassa/kg P) meskipun NUE N-nya tinggi. Data ini membuktikan bahwa setiap klon memiliki strategi fisiologis yang unik dalam menghadapi cekaman hara.

Temuan kunci lainnya adalah kontribusi vital residu panen terhadap daur hara. Nilai BUC-Left on Site menunjukkan bahwa residu panen mengembalikan 16-41% hara P dan 14-16% hara K yang diserap tanaman kembali ke dalam tanah. Hal ini



@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.

©Hak Cipta Milik IPB, tahun 2025
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.



@Hak cipta milik IPB University

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.

OPTIMIZING PERFORMANCE OF EUCALYPTUS CLONES WITH NUTRIENT BALANCE APPROACH: QUANTIFYING AND EVALUATING RESPONSES IN TYPIC KANDIUDULTS

DAVID RICARDO SIMBOLON

Thesis
as one of requirements to obtain a Master of Science degree in the
Soil Science Study Program

**SOIL SCIENCE STUDY PROGRAM
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
2025**

@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.





@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.

The examiner for the thesis examination:

Dr. Ir. R.A. Dyah Tjahyandari Suryaningtyas M. Appl.Sc



Thesis Title : Optimizing Performance of Eucalyptus Clones with Nutrient Balance Approach: Quantifying and Evaluating Responses in Typic Kandiuults.

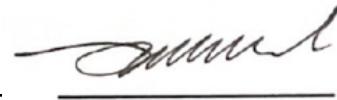
Name : David Ricardo Simbolon

Student ID : A1501232022

Approved by

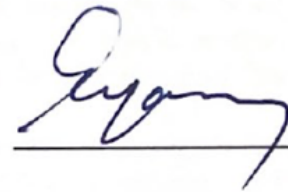
Supervisor 1:

Prof. Dr. Ir. Suwardi, M.Agr



Supervisor 2:

Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Sc

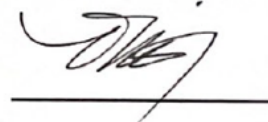


Acknowledge by

Head of Study Program:

Dr. Ir. Darmawan, M.Sc

NIP 196311031990021001



Dean of the Faculty of Agriculture:

Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr

NIP. 196902121992031003



Exam Date: 7 October 2025

Ratification Date:

14 OCT 2025



@Hak cipta milik IPB University

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



ACKNOWLEDGMENT

First and foremost, praise and gratitude are devoted to Almighty God for His blessings, grace, and guidance, which have enabled the author to complete this thesis entitled “Optimizing Performance of Eucalyptus Clones with Nutrient Balance Approach: Quantifying and Evaluating in Typic Kandudults.” This thesis is prepared as a partial fulfilment of the requirements for the Master’s Degree in Soil Science, Graduate School, IPB University.

On this occasion, the author would like to sincerely express gratitude and appreciation to:

1. **Prof. Dr. Ir. Suwardi, M.Agr** and **Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Sc**, as the chairman and member of the supervisory committee, for their invaluable guidance, advice, and constructive input throughout the preparation of this thesis.
2. **Dr. Ir. R.A. Dyah Tjahyandari Suryaningtyas M. Appl.Sc**, as the examiner, for her valuable suggestions, insightful comments, and constructive criticism that greatly improved this thesis.
3. **Dr. Ir. Darmawan, M.Sc**, as the Head of the Master’s Program in Soil Science, for his support and direction during the author’s study.
4. All lecturers and administrative staff of the Master’s Program in Soil Science, for their knowledge, assistance, and services throughout the study period.
5. My beloved wife, **Selvina Laura Lumbantoruan, S.Hut**, and my son **Geo Isaac Simbolon**, for their endless love, prayers, and unwavering support, which have been the greatest motivation to accomplish this study.
6. My parents, siblings, and colleagues, for their prayers, encouragement, and companionship during the completion of this thesis.

The author realizes that this thesis is still far from perfect; therefore, constructive criticism and suggestions are most welcome. It is sincerely hoped that this work may contribute to the advancement of science, particularly in the field of soil science and forestry.

Bogor, 7 October 2025

David Ricardo Simbolon



@Hak cipta milik IPB University

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



LIST OF CONTENTS

LIST OF TABLES	xvii
LIST OF FIGURES	xvii
LIST OF APPENDICES	xvii
I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Research Problem	2
1.3 Research Objectives	4
1.4 Research Benefits	4
1.5 Hypothesis	5
II LITERATURE REVIEW	6
2.1 Soil and Genotype Effect on Nutrient Use Efficiency	6
2.2 Nutrient Management Approaches in Eucalyptus Plantations	7
III METHODS	10
3.1 The Time and Place of Research	10
3.2 Tools and Materials	10
3.3 Work Procedure	11
3.4 Data Analysis	14
IV RESULTS AND DISCUSSION	17
4.1 Characteristic of Typic Kandudults in the Research Area.	17
4.2 Characteristics and Nutritional Status of Biomass in Each Clones.	18
4.3 Validating Response Clone Pelita 1 by NB Approach.	24
4.4 BUC, NUE, and NB as a Forest Nutrition Strategy	26
V CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	30
REFERENCES	32
APPENDICES	36
BIOGRAPHY	41

LIST OF TABLES

1	Clone genetic of eucalyptus as a biomass sample material	10
2	Treatment fertilizer doses by targeting production MAI	14
3	Nutrient concentration (%) and total nutrient (kg) in each clone	19
4	Proportion of biological utilization coefficient (BUC) in each clone	20
5	Nutrient use efficiency calculation and ranked by each clone	22
6	Doses for validation response of clone Pelita 1 by NB approach	24

LIST OF FIGURES

1	Sketch of Research Flow	11
2	Stem Section for Biomass Sampling	12
3	Calculation Approach for NB Doses and Targeted Production	13
4	Sketch of Twin Plot Trial on Field	14
5	Profile of Typic Kandiudults	17
6	Biomass Component Distribution by Each Clone	19
7	NB Trial Result for Pelita 1 in each Target of MAI	25

LIST OF APPENDICES

1	Soil Profile Description of Soil Profile	36
2	Soil Physical Analysis of Soil Profile	37
3	Soil Chemical Analysis of Soil Profile	38
4	Nutrient Concentration (%), Total Nutrient (kg), and NUE Component	39
5	BUC Data per each Clone	40