



OPTIMALISASI ADSORPSI HARA MIKRO Fe, Mn, Cu, Zn PADA PUPUK LEPAS TERKENDALI BERBASIS BIOCHAR

MUTIARA PUTRI



PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimalisasi Adsorpsi Hara Mikro Fe, Mn, Cu, Zn pada Pupuk Lepas Terkendali Berbasis Biochar” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Mutiara Putri
A1501232023



RINGKASAN

MUTIARA PUTRI. Optimalisasi Adsorpsi Hara Mikro Fe, Mn, Cu, Zn pada Pupuk Lepas Terkendali Berbasis Biochar. Dibimbing oleh ISKANDAR dan UNTUNG SUDADI.

Rendahnya efisiensi pemupukan hara mikro pada lahan suboptimal menjadi salah satu faktor pembatas dalam peningkatan produktivitas tanaman. Kondisi tersebut berkaitan dengan rendahnya ketersediaan hara mikro serta tingginya kehilangan hara melalui proses pencucian dan interaksi dalam tanah, sehingga hara seperti Fe, Mn, Cu, dan Zn tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh tanaman. Upaya peningkatan efisiensi pemupukan dapat dilakukan melalui pengembangan pupuk lepas terkendali atau *controlled release fertilizer* (CRF) yang mampu menyediakan hara secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman. Biochar sebagai bahan berpori dengan keberadaan gugus fungsional pada permukaannya berpotensi digunakan sebagai pembawa hara mikro dalam sistem CRF.

Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan adsorpsi hara mikro Fe, Mn, Cu, dan Zn pada biochar bambu, mengevaluasi efektivitas biochar-mikro terhadap pertumbuhan tanaman, serta menganalisis karakteristik pelepasan hara dari biochar-mikro. Penelitian dilaksanakan pada April 2025 hingga April 2026. Biochar yang digunakan merupakan biochar bambu hasil pirolisis yang diperoleh dari PT Great Giant Pineapple, Lampung, kemudian diayak hingga berukuran 250–2000 μm . Penelitian diawali dengan karakterisasi biochar melalui analisis sifat kimia yang meliputi pH, kadar air, kadar abu, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan C-total. Setelah karakterisasi biochar, penelitian dilanjutkan melalui 4 tahap, yaitu uji adsorpsi hara mikro tunggal, uji adsorpsi hara mikro secara kombinasi, uji efektivitas biochar-mikro di rumah kaca, dan uji pelepasan hara biochar-mikro.

Uji adsorpsi hara mikro tunggal dilakukan dengan menjenuhkan 10 g biochar menggunakan 50 ml larutan Fe, Mn, Cu, atau Zn pada konsentrasi 25% dari kelarutan maksimum masing-masing senyawa. Penjenuhan dilakukan dengan 2 cara, yaitu metode rendam berupa pengadukan selama 30 menit dan perendaman selama 24 jam, serta metode vakum pada tekanan –20 psi selama 30 menit. Metode penjenuhan terpilih dari uji adsorpsi tunggal digunakan pada uji adsorpsi kombinasi Fe, Mn, Cu, dan Zn dengan 5 kombinasi komposisi hara, yaitu 1:1:1:1, 2:1:1:1, 1:2:1:1, 1:1:2:1, dan 1:1:1:2. Hasil uji adsorpsi digunakan sebagai dasar formulasi biochar-mikro untuk uji efektivitas di rumah kaca.

Uji efektivitas biochar-mikro terdiri atas 13 perlakuan dengan 3 ulangan. Perlakuan meliputi kontrol, pupuk kimia mikro, biochar-mikro tunggal, biochar-mikro kombinasi berbasis Fe, dan biochar-mikro kombinasi berbasis Cu pada dosis 50%, 100%, dan 200%. Media tanam yang digunakan adalah 5 kg pasir silika steril yang dicuci menggunakan HCl 0,05 N dan ditambah pupuk kandang kambing 1%. Tanaman indikator yang digunakan adalah pakcoy varietas Nauli F1. Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan tanaman, biomassa, volume akar, kandungan hara mikro pada media tanam, serta serapan Fe, Mn, Cu, dan Zn oleh tanaman.

Uji pelepasan hara biochar-mikro dilakukan melalui metode perkolasi selama 28 hari dengan penyiraman sebanyak 70 ml per hari. Larutan perkolat dikumpulkan setiap 7 hari untuk menganalisis pola pelepasan Fe, Mn, Cu, dan Zn, sedangkan sisa hara dalam biochar dianalisis pada akhir pengamatan. Seluruh data yang diperoleh



SUMMARY

MUTIARA PUTRI. Optimizing the Adsorption of Micronutrients Fe, Mn, Cu, Zn in Biochar-Based Controlled Release Fertilizer. Supervised by ISKANDAR and UNTUNG SUDADI.

Low micronutrient fertilizer efficiency in suboptimal soils is one of the limiting factors for improving crop productivity. This condition is associated with low micronutrient availability and high nutrient losses through leaching and soil interactions, which limit plant uptake of Fe, Mn, Cu, and Zn. Improving fertilizer efficiency can be achieved through the development of controlled release fertilizer (CRF), which supply nutrients gradually according to plant demand. Biochar, as a porous material with surface functional groups, has potential as a micronutrient carrier in CRF systems.

This study aimed to optimize the adsorption of Fe, Mn, Cu, and Zn onto bamboo biochar, evaluate the effectiveness of CRF biochar-micro for plant growth, and analyze the nutrient release characteristics of biochar-micro. The study was conducted from April 2025 to April 2026. The biochar used in this study was bamboo biochar produced by pyrolysis and obtained from PT Great Giant Pineapple, Lampung. The biochar was sieved to a particle size of 250–2000 μm . The study began with biochar characterization through chemical analyses, including pH, moisture content, ash content, cation exchange capacity (CEC), and total C content. Following biochar characterization, the study was carried out in 4 stages: single micronutrient adsorption test, combined micronutrient adsorption test, greenhouse effectiveness test of CRF biochar-micro, and nutrient release test of biochar-micro.

The single micronutrient adsorption test was conducted by saturating 10 g of biochar with 50 ml of Fe, Mn, Cu, or Zn solution at 25% of each compound's maximum solubility. Saturation was carried out using 2 methods: soaking, which involved stirring for 30 minutes followed by 24 hours of immersion, and vacuum treatment at -20 psi for 30 minutes. The selected saturation method from the single adsorption test was then applied in the combined adsorption test of Fe, Mn, Cu, and Zn using 5 nutrient composition combinations, namely 1:1:1:1, 2:1:1:1, 1:2:1:1, 1:1:2:1, and 1:1:1:2. The adsorption results were used to formulate CRF biochar-micro for the greenhouse effectiveness test.

The greenhouse effectiveness test of CRF biochar-micro consisted of 13 treatments with 3 replicates. Treatments included a control, chemical micronutrient fertilizer, single biochar-micro, Fe-based combined biochar-micro, and Cu-based combined biochar-micro at doses of 50%, 100%, and 200%. The growing medium consisted of 5 kg of sterile silica sand, washed with 0.05 N HCl and amended with 1% goat manure. Pakcoy variety Nauli F1 was used as the indicator plant. The observed parameters included plant growth, biomass, root volume, micronutrient content in the growing medium, and plant uptake of Fe, Mn, Cu, and Zn.

The nutrient release test of biochar-micro was conducted using a percolation method over 28 days, with a daily application of 70 ml. The percolate was collected every 7 days to analyze the release patterns of Fe, Mn, Cu, and Zn, while the residual nutrient content in the biochar was measured at the end of the observation period. All data were analyzed statistically according to the type of experiment.



Data from the single micronutrient adsorption test were analyzed using a t-test, whereas data from the combined micronutrient adsorption test, greenhouse effectiveness test of CRF biochar-micro, and nutrient release test of biochar-micro were analyzed using ANOVA followed by Tukey's test at the 5% significance level.

The results showed that bamboo biochar adsorbed Fe, Mn, Cu, and Zn micronutrients. The soaking method generally yielded higher adsorption capacity for most ions, whereas Fe adsorption was higher under the vacuum method. In the combined adsorption system, competition among ions affected the adsorption capacity of each ion, such that increasing the proportion of one ion enhanced its adsorption while reducing the adsorption of other ions. The application of single biochar-micro at the highest dose resulted in better plant growth responses than the other treatments, whereas combined treatments with non-optimal nutrient compositions resulted in lower plant growth.

Overall, the effectiveness of CRF biochar-micro in supporting plant growth in a sand medium was not optimal. This condition was associated with the non-optimal micronutrient composition and the limited fertility of the sand medium. The nutrient release test showed that biochar retained and gradually released nutrients; however, the release characteristics were not yet fully aligned with plant nutrient requirements. Further development of biochar as a micronutrient CRF requires formulation optimization that considers ion balance and the selection of a suitable growing medium to improve its effectiveness.

Keywords: adsorption, biochar, controlled release fertilizer, micronutrients



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 2026
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 atau memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

OPTIMALISASI ADSORPSI HARA MIKRO Fe, Mn, Cu, Zn PADA PUPUK LEPAS TERKENDALI BERBASIS BIOCHAR

MUTIARA PUTRI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu Tanah

**PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

- 1 Prof. Dr. Ir. Iskandar
- 2 Dr. Ir. Untung Sudadi, M.Sc.
- 3 Dr. Ir. Darmawan, M.Sc.
- 4 Dr. Ir. Lilik Tri Indriyati, M.Sc.



- 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.



Judul Tesis : Optimalisasi Adsorpsi Hara Mikro Fe, Mn, Cu, Zn pada Pupuk
Lepas Terkendali Berbasis Biochar
Nama : Mutiara Putri
NIM : A1501232023

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Iskandar

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Untung Sudadi, M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Darmawan, M.Sc.
NIP. 196311031990021001

Dekan Fakultas Pertanian
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP. 196902121992031003

Tanggal Ujian: 29 Juli 2026

Tanggal Lulus: 06 AUG 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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak April 2025 sampai April 2026 ini ialah “Optimalisasi Adsorpsi Hara Mikro Fe, Mn, Cu, Zn pada Pupuk Lepas Terkendali Berbasis Biochar”.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Iskandar dan Dr. Ir. Untung Sudadi, M.Sc. selaku komisi pembimbing atas ilmu, nasihat, dukungan, arahan, dan motivasi yang diberikan sejak penyusunan rencana penelitian hingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Dr. Ir. Darmawan, M.Sc. selaku penguji luar komisi atas saran, masukan, dan koreksi yang diberikan untuk penyempurnaan tesis ini.
3. Dr. Ir. Lilik Tri Indriyati, M.Sc. selaku pimpinan sidang atas arahan, saran, dan masukan yang diberikan selama pelaksanaan ujian tesis.
4. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, serta staf SUA Laboratorium yang telah membantu dan mendampingi selama pelaksanaan penelitian dan penyelesaian administrasi.
5. Ayah (H. Marlim Sarin), Ibu (Hj. Yurnateti), saudara-saudara dan keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
6. Sahabat-sahabat seperjuangan Agroteknologi UNRI Calvin Rafdoz Sidabutar, M. Guna Setiawan, Riko Irawan, Aldi Oktavian, Gian Juliano, Mardhiyatul Arafatil Huda Umami, dan Putri Chairunnisa yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan tesis ini.
7. Teman-teman seperjuangan Ilmu Tanah Melanie, Madhan, Putra, Leo, Taufik, Rulfie, Galuh, Sadrina, Trilin, Bahenski, Kila, Ray, Ema, Raziah, Cauny, Aula, Novi, dan Raihan yang telah membersamai, berbagi semangat, dan membantu penulis selama kegiatan perkuliahan dan penelitian.
8. Rekan-rekan Laboratorium Pengembangan Sumberdaya Fisik Lahan Dwi Mei, Jojo, Friska, dan Ecin yang telah memberikan dukungan dan membantu penulis selama pelaksanaan penelitian.

Semoga segala bantuan, dukungan, dan kebaikan yang telah diberikan memperoleh balasan terbaik dari Allah *subhanaahu wa ta'ala*. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Mutiara Putri



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja	4
2.4 Pelaksanaan Penelitian	5
2.5 Analisis Data	12
III HASIL DAN PEMBAHASAN	
3.1 Karakteristik Biochar	13
3.2 Adsorpsi Hara Mikro Tunggal	14
3.3 Adsorpsi Hara Mikro secara Kombinasi	15
3.4 Efektivitas CRF Biochar-mikro di Rumah Kaca	16
3.5 Pelepasan Hara Biochar-mikro	32
IV SIMPULAN DAN SARAN	35
4.1 Simpulan	35
4.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	43
RIWAYAT HIDUP	56



DAFTAR TABEL

1	Konsentrasi hara mikro pada uji adsorpsi tunggal	6
2	Komposisi hara mikro pada uji adsorpsi kombinasi	7
3	Dosis pupuk kimia mikro pada setiap perlakuan	9
4	Dosis biochar-mikro tunggal pada setiap perlakuan	9
5	Dosis biochar-mikro kombinasi pada setiap perlakuan	9
6	Jumlah hara mikro pada setiap perlakuan baik pada pupuk kimia maupun biochar	9
7	Dosis anjuran pupuk dasar untuk tanaman pakcoy	10
8	Jenis dan metode analisis laboratorium	12
9	Karakteristik biochar	13
10	Karakteristik media tanam pasir sebelum perlakuan	17
11	Karakteristik media tanam pasir setelah perlakuan	18
12	Kandungan Fe media tanam dan serapan Fe oleh tanaman	24
13	Kandungan Mn media tanam dan serapan Mn oleh tanaman	26
14	Kandungan Cu media tanam dan serapan Cu oleh tanaman	28
15	Kandungan Zn media tanam dan serapan Zn oleh tanaman	30

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	5
2	Denah rancangan percobaan di rumah kaca	8
3	Desain instalasi perkolasi	11
4	Rata-rata adsorpsi hara mikro tunggal pada biochar	14
5	Rata-rata adsorpsi hara mikro secara kombinasi pada biochar	15
6	Pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman pakcoy selama masa pertumbuhan	19
7	Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun tanaman pakcoy selama masa pertumbuhan	20
8	Pengaruh perlakuan terhadap lebar daun tanaman pakcoy selama masa pertumbuhan	20
9	Pengaruh perlakuan terhadap bobot segar dan bobot kering tanaman pakcoy	22
10	Pengaruh perlakuan terhadap volume akar tanaman pakcoy	23
11	Distribusi Fe antar media tanam dan tanaman pada berbagai perlakuan	25
12	Distribusi Mn antar media tanam dan tanaman pada berbagai perlakuan	27
13	Distribusi Cu antar media tanam dan tanaman pada berbagai perlakuan	29
14	Distribusi Zn antar media tanam dan tanaman pada berbagai perlakuan	31
15	Pola pelepasan hara mikro Fe (a), Mn (b), Cu (c), dan Zn (d) dari biochar-mikro selama periode pengamatan	32
16	Perbandingan antar total hara mikro Fe (a), Mn (b), Cu (c), dan Zn (d) yang tercuci dan tersisa dalam biochar	33



DAFTAR LAMPIRAN

1	Deskripsi tanaman pakcoy varietas Nauli F1	44
2	Perhitungan volume penyiraman uji pelepasan hara biochar-mikro	45
3	Data pengamatan pertumbuhan tanaman (7–35 HST)	46
4	Data pelepasan hara biochar-mikro (hari ke-7 hingga 28)	49
5	Hasil analisis sidik ragam	50
6	Dokumentasi penelitian	54



@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.