

PERFORMA LOTUS PADA LAHAN BASAH MENGAPUNG UNTUK FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK.

MEUTHEA NAJLAA RAUDHATUNISYA



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
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.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Performa Lotus pada Lahan Basah Mengapung untuk Fitoremediasi Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk.” 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 laporan akhir ini.

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

Bogor, Agustus 2025

Meuthea Najlaa Raudhatunisya
P0502231047



RINGKASAN

MEUTHEA NAJLAA RAUDHATUNISYA. Performa Lotus pada Lahan Basah Mengapung untuk Fitoremediasi Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk. Dibimbing oleh IRDIKA MANSUR dan HAMIM.

Air Asam Tambang (AAT) merupakan konsekuensi lingkungan dari aktivitas pertambangan batubara yang dilakukan secara terbuka. Limbah ini dicirikan oleh tingkat keasaman ($\text{pH} < 4$) dan konsentrasi tinggi logam berat terlarut seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Kondisi AAT yang bersifat toksik berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada ekosistem perairan, mengurangi keanekaragaman hayati, dan memengaruhi kualitas air di sekitar areal penambangan. Maka, diperlukan pengelolaan AAT menjadi imperatif untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitar wilayah pertambangan. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang lebih ramah lingkungan, hemat biaya, dan berkelanjutan.

Fitoremediasi merupakan salah satu teknik remediasi yang memanfaatkan tanaman untuk menghilangkan kontaminan dari lingkungan. Dalam penelitian ini, tanaman lotus (*Nelumbo nucifera* G.) akan diuji sebagai spesies yang berpotensi untuk fitoremediasi AAT. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tanaman lotus dalam sistem lahan basah mengapung untuk menurunkan kadar logam berat dan meningkatkan pH AAT di lokasi pertambangan PT Bukit Asam Tbk.

Metode penelitian meliputi pra-fitoremediasi (penyemaian dan aklimatisasi benih lotus) dan konstruksi rakit apung dengan dua media tanam, yaitu bokashi dan *topsoil*. Pengamatan meliputi mengamati pertumbuhan morfologi lotus, perubahan lotus, perubahan pH air, dan konsentrasi logam berat. Analisis logam pada tanaman dan media menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), *Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrophotometry* (ICP-MS), dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Evaluasi juga mencakup perhitungan *bioconcentration factor* (BCF) dan *translocation factor* (TF).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa media tanam bokashi dan *topsoil* secara signifikan mendukung pertumbuhan morfologi lotus. Lotus terbukti efektif menurunkan konsentrasi Fe dan Mn serta meningkatkan pH AAT. Konsentrasi Fe pada *topsoil* turun dari 13,69 mg/L menjadi 1,70 mg/L dan pada bokashi dari 6,04 mg/L menjadi 1,21 mg/L. Sedangkan Mn pada *topsoil* turun dari 28,11 mg/L menjadi 7,39 mg/L dan pada bokashi dari 14,36 mg/L menjadi 7,64 mg/L. Perhitungan BCF dan TF mengindikasikan bahwa lotus memiliki mekanisme fitoremediasi seperti fitoekstraksi atau fitostabilisasi terhadap Fe dan Mn. Analisis biaya-manfaat menunjukkan bahwa penerapan FTW berbasis lotus dengan media bokashi layak secara ekonomi. Hal ini menjadikan lotus sebagai solusi berkelanjutan dan efisien untuk rehabilitasi lingkungan pasca-tambang batubara. Penelitian ini merekomendasikan lotus dengan media bokashi dalam FTW sebagai solusi berkelanjutan untuk mengatasi pencemaran AAT.

Kata kunci : Air asam Tambang, *Floating Treatment Wetlands*, *Nelumbo nucifera* G., Fitoremediasi, Logam Berat.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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.

SUMMARY

MEUTHEA NAJLAA RAUDHATUNISYA. Performance of Lotus in Floating Wetlands for the Phytoremediation of Acid Miner Drainage at PT Bukit Asam Tbk. Supervised by IRDIKA MANSUR and HAMIM.

Acid Mine Drainage (AMD) is an environmental consequence of open-pit coal mining activities. This waste is characterized by high acidity ($\text{pH} < 4$) and elevated concentrations of dissolved heavy metals such as iron (Fe) and manganese (Mn). The toxic nature of AMD poses a serious threat to aquatic ecosystems, reduces biodiversity, and affects water quality in areas surrounding mining operations. Therefore, effective AMD management is imperative to ensure environmental sustainability and safeguard public health in mining regions. Environmentally friendly, cost-effective, and sustainable solutions are urgently needed.

Phytoremediation is one remediation technique that utilizes plant to remove contaminants from the environment. In this study, lotus (*Nelumbo nucifera* G.) is evaluated as a potential species for AMD phytoremediation. The research aims to assess the effectiveness of lotus in a floating wetland system for reducing heavy metal concentrations and increasing AMD pH at the mining site of PT Bukit Asam Tbk.

The research methodology includes pre-phytoremediation activities (lotus seed germination and acclimatization) and the construction of floating rafts with two types of growing media: bokashi and topsoil. Observation cover lotus morphological growth, changes in lotus condition, water pH variation, and heavy metal concentrations. Metal analysis in plant tissues and media was conducted using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS), and X-Ray Diffraction (XRD). Evaluation also includes the calculation of the Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF).

The results indicate that bokashi and topsoil media significantly support lotus morphological growth. Lotus effectively reduced Fe and Mn concentrations and increased AMD pH. Fe concentrations in topsoil decreased from 13.69 mg/L to 1.70 mg/L, and in bokashi from 6.04 mg/L to 1.21 mg/L. Mn concentrations in topsoil decreased from 28.11 mg/L to 7.49 mg/L, and in bokashi from 14.36 mg/L to 7.64 mg/L. BCF and TF calculations suggest that lotus exhibits phytoremediation mechanisms such as phytoextraction and phytostabilization for Fe and Mn. A cost-benefit analysis shows that implementing lotus-based FTW with bokashi media is economically feasible. This positions lotus as a sustainable and efficient solution for post-coal mining environmental rehabilitation. The study recommends lotus with bokashi media in FTW systems as a sustainable approach to mitigate AMD pollution.

Keywords: Acid Mine Drainage, Floating Treatment Wetlands, *Nelumbo nucifera* G., Phytoremediation, Heavy Metals



@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.

PERFORMA LOTUS PADA LAHAN BASAH MENGAPUNG UNTUK FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM Tbk

MEUTHEA NAJLAA RAUDHATUNISYA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
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.

Judul Tesis : Performa Lotus pada Lahan Basah Mengapung untuk Fitoremediasi
Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk
Nama : Meuthea Najlaa Raudhatunisya
NIM : P0502231047

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Irdika Mansur, M.For.Sc



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, MS
NIP. 195911061985011001



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop
NIP. 197003291996081001



Tanggal Ujian:
13-08-2025

Tanggal Lulus:



@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 segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2024 sampai bulan September 2024 ini ialah Fitoremediasi Air Asam Tambang Menggunakan Tanaman Air dan Media Tanam Organik dengan judul "Performa Lotus pada Lahan Basah Mengapung untuk Fitoremediasi Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk.".

Tesis ini tidak lahir dari usaha saya seorang diri, di balik setiap paragraf dan data yang tersusun, terdapat doa, dukungan, dan kehadiran orang-orang yang begitu berarti dalam perjalanan saya. Untuk itu, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Pembimbing tesis saya, Bapak Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc dan Bapak Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si, atas bimbingan, arahan, dan kesabaran selama proses penyusunan tesis ini.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Herman dan Ibu Reni Rahmawati yang selalu menjadi sumber kekuatan dan semangat dalam setiap langkah hidup saya. Selain itu, kedua adik saya Marsheila Nashwa Rahmasabina dan Muhammad Nadhim Rifatullah. Terima kasih atas doa-doa yang begitu berarti ditengah proses penyelesaian tesis.
3. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, atas dukungan pendanaan melalui Skema Penelitian Tesis Magister (PTM) sesuai dengan Kontrak Pelaksanaan Program Penelitian Tahun 2024 22249/IT3.D10//PT.01.03/P/B/2024. Bantuan dana hibah ini menjadi penopang utama dalam pelaksanaan penelitian.
4. PT Bukit Asam Tbk., yang telah memberikan izin dan dukungan penuh terhadap pelaksanaan penelitian baik ketersediaan lahan serta bantuan teknis yang diberikan sangat berperan penting dalam kelancaran proses pengumpulan data di lapangan.
5. Rekan-rekan dan teman seperjuangan, yang turut menjadi bagian dari proses panjang ini, baik dalam bentuk diskusi akademik maupun dukungan moral.

Penulis berharap tesis ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang lingkungan, serta bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Bogor, Agustus 2025

Meuthea Najlaa Raudhatunisya



@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	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR LAMPIRAN	ii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Kerangka Pikir	2
II TINJAUAN PUSTAKA	1
2.1 Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	1
2.2 Definisi dan Mekanisme Fitoremediasi	2
2.3 Definisi Air Asam Tambang (AAT) dan Sumbernya	8
2.4 Logam Berat	9
2.5 Kemampuan Lotus dalam Fitoremediasi	10
2.6 Floating Treatment Wetlands (FTWs)	11
2.7 Media Tanam	11
2.8 Karakterisasi Uji Kadar Logam	13
III METODE	17
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Prosedur Kerja	18
3.4 Analisis Data	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Kondisi Vegetasi di Lokasi Penelitian	21
4.2 Perkecambahan Benih Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	21
4.3 Pertumbuhan Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) pada Media Terapung	23
4.4 Pengaruh <i>Floating Treatment Wetlands</i> (FTWs) pada Air Asam Tambang	31
4.5 Serapan Logam Berat Tanaman Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) pada Media Terapung	33
4.6 Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF) Tanaman Lotus pada Media Terapung.	32
4.7 Analisis Biaya dan Manfaat	34
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	59



DAFTAR TABEL

1	Perbedaan logam esensial dan logam non esensial	9
2	Tingkat kelangsungan hidup lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) setelah fase fitoremediasi pada media tanam berbeda	30
3	Data pengukuran pH dan TSS pada AAT Banko Barat 04 PT Bukit Asam Tbk. Sampel diambil pada pagi hari	31
4	Efisiensi penyerapan logam berat oleh tanaman lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	33
5	Fase kristal pada sampel lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	34
6	Kebutuhan kapur dalam pengelolaan air asam tambang (AAT)	34

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pikir penelitian	2
2	Morfologi lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	5
3	Peta lokasi penelitian di PT Bukit Asam Tbk.	17
4	Desain kolam rakit apung untuk uji fitoremediasi menggunakan tanaman lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) dengan dua media tanam berbeda	19
5	Proses perkecambahan benih lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	22
6	Perubahan tinggi rata-rata lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) selama aklimatisasi	26
7	Perubahan rata-rata lebar daun lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) selama aklimatisasi	27
8	Perubahan rata-rata tinggi daun lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) selama fase fitoremediasi	28
9	Perubahan rata-rata lebar daun lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) selama fase fitoremediasi	29
10	Nilai rata-rata pH air asam tambang pada perlakuan kontrol, topsoil dan bokashi selama perlakuan (14 hari)	32
11	Perubahan konsentrasi logam berat Fe dan Mn air asam tambang (AAT)	32
12	XRD dari lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) dengan masing-masing reaktor	34
13	Grafik konsentrasi Cd pada akar dan daun lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	33
14	Nilai BCF unsur hara mikro dan makro pada lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) dalam media kontrol, bokashi, dan topsoil	33
15	Nilai TF unsur hara mikro dan makro pada lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) dalam media kontrol, bokashi, dan topsoil	33

DAFTAR LAMPIRAN

1	Proses pengambilan benih lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	53
2	Proses penanaman dan penyemaian benih lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.)	53

3	Pengamatan harian tinggi tanaman lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.), diameter daun, dan kenaikan pH	54
4	Pengambilan AAT dan perakitan rakit apung dengan material bambu dan pipa PVC	54
5	Pengukuran tanah humus dan pupuk bokashi	55
6	Proses pembuatan kolam percobaan dan pemasangan warin	55
7	Peletakkan bibit lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.). dan pemantauan harian di <i>floating wetland</i> KPL BB 4 Bukit Asam Tbk.	56
8	Pemanenan sampel penelitian dan preparasi sampel AAT ke laboratorium	56
9	Proses analisis lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) di laboratorium	57
10	Nilai <i>bioconcentration factor</i> (BCF) pada lotus (<i>Nelumbo. nucifera</i> G.) yang mendapat perlakuan bokashi dan <i>topsoil</i> untuk masing-masing unsur logam	58
11	Nilai <i>translocation factor</i> (TF) pada lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) yang mendapat perlakuan bokashi dan <i>topsoil</i> untuk masing-masing unsur logam	58

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.



@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.