

TA/TL/2022/1408

TUGAS AKHIR

**PENGARUH BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP
PERTUMBUHAN SERTA TINGKAT SERAPAN BESI,
MANGAN, DAN SENG *MELALEUCA LEUCADENDRA*
PADA TANAH GAMBUT TERDEGRADASI**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



ANNISA DWI CANDRA RAMADHANI

17513009

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

TUGAS AKHIR

PENGARUH BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP PERTUMBUHAN SERTA TINGKAT SERAPAN BESI, MANGAN, DAN SENG *MELALEUCA LEUCADENDRA* PADA TANAH GAMBUT TERDEGRADASI

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ANNISA DWI CANDRA RAMADHANI
17513009

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
NIK. 185130401
Tanggal:

Dr. Ir. Kasam, M.T.
NIK. 925110102
Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Sisworo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 26 Januari 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP
PERTUMBUHAN SERTA TINGKAT SERAPAN BESI,
MANGAN, DAN SENG MELALEUCA LEUCADENDRA
PADA TANAH GAMBUT TERDEGRADASI**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Rabu
Tanggal : 26 Januari 2022

Disusun Oleh:

ANNISA DWI CANDRA RAMADHANI
17513009

Tim Penguji :

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

()

Dr. Ir. Kasam, M.T.

()

Luqman Hakim, S.T., M.Si.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,



Annisa Dwi Candra R.

NIM: 17513009

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Bahan Pembenh Tanah terhadap Pertumbuhan serta Tingkat Serapan Besi, Mangan, dan Seng *Melaleuca leucadendra* pada Tanah Gambut Terdegradasi” dapat diselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapat dukungan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah sabar memberikan bimbingan dan arahan serta selalu mengupayakan yang terbaik agar laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Terima kasih juga kepada Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T., selaku dosen pembimbing kedua, serta Bapak Luqman Hakim, S.T., M.Si., selaku dosen penguji, yang telah berkontribusi memberikan saran dan masukan dalam penyusunan laporan tugas akhir.

Kepada Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang banyak memberikan ilmu dan motivasi yang sangat bermanfaat selama penulis menyelesaikan studi di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, penulis ucapkan terima kasih.

Tidak lupa, ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Papa dan Mama yang selalu mendukung, menyemangati, dan menasihati penulis sehingga penulis dapat mencapai titik ini. Penulis sayang Papa dan Mama.

Kepada Eyang dan Mbak Anis, terima kasih atas omelan yang selalu membuat penulis tidak patah semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih juga kepada Dek Alya yang tidak pernah luput membanggakan penulis di depan teman-temannya.

Teruntuk Fery Merdikawati, terima kasih karena telah menemani penulis selama menjalani perkuliahan. Terima kasih karena telah berbagi tawa dan tangis bersama. Teruntuk Indah Fathikasari, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya dalam menyelesaikan tugas akhir bersama.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Priyo Hartanto Subagio yang telah sabar menghadapi sisi buruk penulis saat menghadapi dukanya penyusunan tugas akhir. Kepada teman-teman Teknik Lingkungan UII 2017, Vonny Karista, serta pihak-pihak lain yang telah memberikan dukungan dan bantuan, penulis ucapkan banyak-banyak terima kasih.

Yogyakarta, 18 September 2021

Annisa Dwi Candra Ramadhani



ABSTRAK

ANNISA DWI CANDRA RAMADHANI. Pengaruh Bahan Pembenh Tanah terhadap Pertumbuhan serta Tingkat Serapan Besi, Mangan, dan Seng *Melaleuca leucadendra* pada Tanah Gambut Terdegradasi. Dibimbing oleh DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Dr. Ir. KASAM, M.T.

Kebakaran hutan merupakan salah satu penyebab terjadinya degradasi tanah gambut sehingga kandungan logam berat Fe, Mn, serta Zn di dalam tanah meningkat dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Remediasi tanah adalah salah satu cara yang dapat dilakukan agar tanah dapat kembali dimanfaatkan. Tanaman *Melaleuca leucadendra* diketahui dapat menjadi agen restorasi karena tergolong sebagai tanaman adaptif, yaitu tanaman yang mampu tumbuh di lahan kritis. Selain itu, penambahan bahan pembenh tanah juga diketahui dapat mempercepat perbaikan kualitas tanah. Pada penelitian ini, tanah gambut terdegradasi ditambahkan bahan pembenh tanah berupa chitosan, asam humat, dan SROP sebanyak 2,5%, 2,5%, dan 10%. Parameter yang ditinjau dalam penelitian yakni parameter pertumbuhan dan tingkat serapan logam berat Fe, Mn, dan Zn pada *M. leucadendra* yang dapat dianalisis menggunakan AAS. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa bahan pembenh tanah chitosan mampu meningkatkan tinggi tanaman hingga 415% dari tinggi awal, meningkatkan pH tanah yang semula 3,620 menjadi 4,999, dan membantu jaringan akar serta jaringan batang tanaman menyerap logam Fe di tanah sebesar 426,35 serta 385,65 ppm. Bahan pembenh tanah asam humat mampu meningkatkan jumlah daun tanaman hingga 229% dari jumlah awal dan meningkatkan berat kering jaringan batang. Sedangkan bahan pembenh tanah SROP mampu membantu jaringan akar tanaman menyerap logam Mn dan Zn sebesar 389,18 dan 201,10 ppm.

Kata kunci : Asam Humat, Chitosan, Gambut, *Melaleuca leucadendra*, SROP

ABSTRACT

ANNISA DWI CANDRA RAMADHANI. *Effect of Soil Amendment on Growth and Iron, Manganese, and Zinc Uptake of Melaleuca leucadendra on Degraded Peat Soil. Supervised by DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D. and Dr. Ir. KASAM, M.T.*

Forest fires had become one of the causes of peat soil degradation so the content of heavy metals Fe, Mn, and Zn in the soil increases and interferes the plant growth. Soil remediation is one of the ways that can be used to promote sustainable land use. Melaleuca leucadendra is known as a restoration agent because it has the ability to grow on the critical land. Furthermore, the addition of soil amendment can improve the soil quality. In this study, the degraded peat soil was added by chitosan, humic acid, and SROP at dosages of 2,5%, 2,5%, and 10%. The parameters reviewed in this study were the growth parameter and the level of heavy metals Fe, Mn, and Zn uptake in M. leucadendra which be analyzed using AAS. The results of this study showed that chitosan was able to increase plant height by 415% from initial height, increase soil pH from 3,620 to 4,999, and support the root and shoot tissue to adsorb 426,35 and 385,65 ppm Fe. The humic acid was able to increase the number of plant leaves up to 229% from initial amount and increase the dry weight of shoot tissue. Meanwhile, the SROP was able to support root tissue to adsorb 389,18 and 201,10 ppm Mn and Zn metals.

Keywords : Chitosan, Humic Acid, Melaleuca leucadendra, Peat, SROP

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
NOTASI DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Karakteristik Tanah Gambut.....	5
2.2 Restorasi Gambut.....	5
2.3 Tanaman <i>M. leucadendra</i>	6
2.4 Bahan Pembenh Tanah.....	7
2.4.1 Chitosan.....	8
2.4.2 Asam Humat.....	10
2.4.3 SROP.....	11
2.5 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Tahapan Penelitian.....	16
3.3.1 Penyemaian <i>M. leucadendra</i>	16
3.3.2 Persiapan Media Tanam.....	17
3.3.3 Penanaman <i>M. leucadendra</i>	18
3.3.4 Pemeliharaan dan Pengamatan <i>M. leucadendra</i>	18
3.3.5 Pemanenan dan Pengambilan Sampel.....	19
3.3.6 Pengujian Sampel.....	19

3.4	Prosedur Analisis Data.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Identifikasi Tanah Gambut Awal	22
4.2	Hasil dan Analisis Parameter Pertumbuhan Tanaman <i>M. leucadendra</i>	23
4.2.1	Diameter Batang.....	23
4.2.2	Tinggi Tanaman	25
4.2.3	Jumlah Daun.....	27
4.2.4	Biomassa Tanaman	28
4.3	Hasil dan Analisis Parameter Tingkat Serapan Logam Berat, pH tanah, serta Unsur Hara Makro P	31
4.3.1	pH Tanah.....	32
4.3.2	Unsur Hara Makro P	34
4.3.3	Logam Fe	37
4.3.4	Logam Mn.....	42
4.3.5	Logam Zn.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengaruh Pemberian Chitosan pada Tanaman	9
Tabel 2.2	Daftar Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3.1	Kriteria pH Tanah	20
Tabel 3.2	Kriteria P-tersedia Tanah	21
Tabel 3.3	Persyaratan Logam Berat dalam Tanah dan Tanaman	21
Tabel 4.1	Karakteristik Tanah Gambut Awal	23
Tabel 4.2	Diameter Batang Tanaman <i>M. leucadendra</i>	24
Tabel 4.3	Tinggi Tanaman <i>M. leucadendra</i>	26
Tabel 4.4	Jumlah Daun Tanaman <i>M. leucadendra</i>	27
Tabel 4.5	Berat Basah dan Berat Kering Tanaman <i>M. leucadendra</i>	29
Tabel 4.6	pH Tanah Gambut Terdegradasi	33
Tabel 4.7	Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Tanah	35
Tabel 4.8	Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	37
Tabel 4.9	Kandungan Fe dalam Tanah	38
Tabel 4.10	Kandungan Fe dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	39
Tabel 4.11	Kandungan Fe dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	41
Tabel 4.12	Kandungan Mn dalam Tanah	42
Tabel 4.13	Kandungan Mn dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	43
Tabel 4.14	Kandungan Mn dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	45
Tabel 4.15	Kandungan Zn dalam Tanah	47
Tabel 4.16	Kandungan Zn dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	48
Tabel 4.17	Kandungan Zn dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Chitosan	8
Gambar 2.2	Struktur Asam Humat	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	16
Gambar 3.2	Susunan Media Tanam dan <i>M. leucadendra</i> di dalam <i>Polybag</i>	18
Gambar 4.1	Diagram Batang Diameter Batang Tanaman <i>M. leucadendra</i>	25
Gambar 4.2	Diagram Batang Tinggi Tanaman <i>M. leucadendra</i>	26
Gambar 4.3	Diagram Batang Jumlah Daun Tanaman <i>M. leucadendra</i>	28
Gambar 4.4	Berat Basah Jaringan Batang Tanaman <i>M. leucadendra</i>	29
Gambar 4.5	Berat Basah Jaringan Akar Tanaman <i>M. leucadendra</i>	30
Gambar 4.6	Berat Kering Jaringan Batang Tanaman <i>M. leucadendra</i>	30
Gambar 4.7	Berat Kering Jaringan Akar Tanaman <i>M. leucadendra</i>	31
Gambar 4.8	Hubungan antara Jumlah Daun dengan Berat Kering Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	31
Gambar 4.9	Hubungan antara pH Tanah dan P-tersedia.....	32
Gambar 4.10	Diagram Batang pH H ₂ O Tanah Gambut Terdegradasi	34
Gambar 4.11	Diagram Batang pH KCl Tanah Gambut Terdegradasi	34
Gambar 4.12	Diagram Batang Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Tanah	36
Gambar 4.13	Hubungan antara Kandungan Unsur Hara P dalam Tanah dengan Berat Kering Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	36
Gambar 4.14	Diagram Batang Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	37
Gambar 4.15	Diagram Batang Kandungan Fe dalam Tanah	39
Gambar 4.16	Diagram Batang Kandungan Fe dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	40
Gambar 4.17	Diagram Batang Kandungan Fe dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	41
Gambar 4.18	Hubungan antara Kandungan Fe dalam Jaringan Batang dengan Berat Kering Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	41
Gambar 4.19	Diagram Batang Kandungan Mn dalam Tanah.....	43
Gambar 4.20	Diagram Batang Kandungan Mn dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	44
Gambar 4.21	Hubungan antara Kandungan Mn dalam Jaringan Akar dengan Berat Kering Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	44
Gambar 4.22	Diagram Batang Kandungan Mn dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	45
Gambar 4.23	Hubungan antara Kandungan Mn dalam Jaringan Batang dengan Peningkatan Ukuran Diameter <i>M. leucadendra</i>	46
Gambar 4.24	Diagram Batang Kandungan Zn dalam Tanah.....	47
Gambar 4.25	Diagram Batang Kandungan Zn dalam Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	48
Gambar 4.26	Hubungan antara Kandungan Zn dalam Jaringan Akar dengan Berat Kering Jaringan Akar <i>M. leucadendra</i>	49
Gambar 4.27	Diagram Batang Kandungan Zn dalam Jaringan Batang <i>M. leucadendra</i>	50
Gambar 4.28	Hubungan antara Kandungan Zn dalam Jaringan Batang dengan Peningkatan Ukuran Diameter <i>M. leucadendra</i>	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Alat yang digunakan pada penelitian	61
Lampiran 2	: Bahan yang digunakan pada penelitian.....	63
Lampiran 3	: Langkah Pengujian Sampel.....	64
Lampiran 4	: Dokumentasi	67



NOTASI DAN SINGKATAN

P	= Fosfor
Fe	= Besi
Mn	= Mangan
Zn	= Seng
SROP	= <i>Slow Release Organic Paramagnetic fertilizer</i>
KTK	= Kapasitas Tukar Kation
Cu	= Tembaga
Pb	= Timbal
Cd	= Kadmium
TPI	= Terra Preta de Indio
AAS	= <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah gambut terbentuk melalui proses penumpukan bahan organik dalam keadaan tergenang air (paludifikasi), dimana bahan utama dari tanah ini adalah biomassa tumbuhan, terutama pepohonan [1]. Karena bahan utama dan proses pembentukannya, tanah gambut memiliki fungsi sebagai penyimpan karbon, penyimpan air, dan penyimpan keanekaragaman hayati. Akan tetapi fungsi-fungsi tersebut dapat menurun karena tanah gambut memiliki sifat rentan terhadap perubahan (*fragile*) atau mudah rusak akibat adanya perubahan komponen ekosistem gambut yang biasanya dipicu oleh kebakaran hutan dan lahan [2].

Tanah gambut yang fungsinya menurun atau tanah gambut terdegradasi mengalami penurunan kualitas lahan dari segi sifat fisik, kimia, maupun biologi. Salah satu indikator penurunan kualitas lahan gambut adalah meningkatnya unsur hara tanah P serta unsur logam seperti Fe, Mn, dan Zn [3]. Peningkatan unsur logam atau bahkan logam berat pada tanah dapat menimbulkan dampak negatif berupa perubahan nilai pH tanah hingga pencemaran lingkungan yang kemudian dapat meracuni tanaman maupun organisme. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat logam berat yang karsinogenik, konservatif dan cenderung kumulatif dalam tubuh organisme bahkan manusia, stabil dan sulit untuk diuraikan, serta mobilitas di dalam tanah yang dapat berubah dengan cepat [4].

Pengelolaan tanah gambut yang telah mengalami peningkatan unsur logam perlu dilakukan untuk meminimalisir dampak negatif yang ditimbulkan. Salah satu pengelolaan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan teknologi fitoremediasi, yakni pengikatan kontaminan berupa logam berat dengan akar tanaman yang kemudian terakumulasi dan terdegradasi di dalam tanaman dengan bantuan enzim [5]. Tanaman *Melaleuca leucadendra* atau yang biasa disebut dengan tanaman kayu putih merupakan salah satu tanaman yang dapat digunakan dalam pengelolaan tanah gambut terdegradasi karena tanaman tersebut dapat

tumbuh dengan cepat, memiliki daur biologis yang panjang, dapat tumbuh subur di tanah dengan drainase yang baik maupun buruk, serta dapat tumbuh subur di tanah dengan kadar garam tinggi maupun asam. Tanaman *M. leucadendra* merupakan salah satu tanaman yang dapat dijadikan agen reklamasi dan revegetasi lahan kritis [6].

Pengelolaan tanah gambut terdegradasi juga dapat dilakukan dengan menambahkan bahan pembenah tanah guna mempercepat perbaikan kualitas tanah. Bahan pembenah tanah dapat memperbaiki kualitas tanah dengan memulihkan sifat tanah sehingga mampu menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman serta perkembangan biota tanah [7]. Bahan pembenah tanah seperti asam humat mampu meningkatkan permeabilitas tanah, akumulasi biomassa tanaman, serta daya serap unsur hara tanah pada tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh pada lahan kritis [8]. Terdapat bahan pembenah tanah lain selain asam humat yang dapat memperbaiki dan meningkatkan fungsi tanah, akan tetapi dalam penggunaannya perlu diperhatikan dan disesuaikan dengan kebutuhan karena sebagian besar bahan pembenah tanah hanya ditujukan untuk memperbaiki sifat tanah tertentu [9].

Informasi-informasi di atas dapat digunakan untuk mengembangkan kajian yang lebih komprehensif terkait pemanfaatan bahan pembenah tanah dan tanaman *M. leucadendra* dalam mengelola tanah gambut terdegradasi yang mengalami peningkatan unsur logam berat. Penelitian akan dilakukan dalam skala rumah kaca dengan menggunakan bahan pembenah tanah berupa chitosan, asam humat, dan SROP serta menggunakan penelitian-penelitian sebelumnya terkait restorasi tanah gambut sebagai referensi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, tanah gambut terdegradasi akibat kebakaran lahan dapat dikelola dengan fitoremediasi menggunakan tanaman *M. leucadendra* serta bantuan bahan pembenah tanah, sehingga didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP terhadap pertumbuhan tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi?
2. Bagaimana pengaruh bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP terhadap tingkat serapan logam berat Fe, Mn, dan Zn oleh tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi serta pengaruhnya terhadap pH tanah dan unsur hara makro P?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian adalah:

1. Mengidentifikasi pengaruh bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP terhadap pertumbuhan tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi.
2. Mengidentifikasi pengaruh bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP terhadap tingkat serapan logam berat Fe, Mn, dan Zn oleh tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi serta pengaruhnya terhadap pH tanah dan unsur hara makro P.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi pembelajaran yang dapat memberikan informasi untuk memperluas wawasan dan pengetahuan mengenai pemanfaatan tanaman *M. leucadendra* serta bahan pembenah tanah sebagai agen restorasi tanah gambut yang terdegradasi akibat kebakaran lahan.

2. Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan maupun melaksanakan restorasi tanah gambut terdegradasi akibat kebakaran lahan dengan metode yang serupa.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian adalah:

1. Pengujian pH tanah, unsur hara makro P, dan kandungan logam berat pada tanah gambut terdegradasi akibat kebakaran lahan.
2. Pengukuran diameter, tinggi, dan jumlah daun tanaman *M. leucadendra* sebagai parameter pertumbuhan tanaman pada tanah gambut terdegradasi.
3. Pengujian pH tanah, unsur hara makro P, dan kandungan logam berat pada jaringan tanaman dan tanah gambut setelah diberi bahan pembenah tanah.
4. Penelitian dan pengamatan dilakukan dalam skala rumah kaca.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah Gambut

Tanah gambut merupakan tanah jenuh air dengan ketebalan lebih dari 50 cm yang terbentuk dari endapan penumpukan residu jaringan tumbuhan masa lampau yang melapuk [10]. Dikatakan tanah jenuh air karena karakteristik tanah gambut yang memiliki kemampuan dalam menyerap air, kapasitas simpan air, serta kandungan air yang tinggi apabila dalam keadaan alami [2]. Secara kimia, tanah gambut memiliki karakteristik berupa pH tanah yang sangat rendah atau tingkat kemasaman yang tinggi, ketersediaan unsur hara makro P yang rendah, serta kahat unsur hara mikro khususnya Zn [1].

Menurut data yang diterbitkan oleh Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14,9 juta ha [11], dimana mayoritas dari luasan tersebut merupakan ekosistem hutan rawa gambut yang luasnya mencapai 50% dari total luas hutan rawa gambut tropis di dunia [12]. Dari seluruh luasan lahan gambut di Indonesia, sebesar 25% atau sekitar 3,74 juta ha telah mengalami degradasi [13]. Karena memiliki karakteristik spesifik berupa mudah mengalami kering tak balik (*irreversible drying*), tanah gambut terdegradasi akan berubah sifat dari *hidrofilik* menjadi *hidrofobik*. Selain itu, tanah gambut terdegradasi akan mengalami penurunan muka tanah akibat turunnya kemampuan gambut dalam menyerap air, hal ini disebabkan karena tanah gambut memiliki karakteristik mudah mengalami *subsidence* [1].

2.2 Restorasi Gambut

Tanah gambut memiliki fungsi sebagai penghasil jasa lingkungan karena mampu menyerap serta menyimpan air dalam jumlah yang besar. Namun, sekitar 25% lahan gambut yang tersebar di Sumatra, Kalimantan, serta Papua telah mengalami penurunan fungsi atau terdegradasi [13]. Umumnya tanah gambut terdegradasi disebabkan karena adanya pengalihan fungsi lahan yang kemudian

diikuti dengan pembukaan lahan [14]. Pengalihan fungsi lahan gambut yang tidak sesuai dengan kondisi alami serta melampaui kemampuan tanah gambut untuk pulih, menyebabkan rusaknya ekosistem lahan gambut. Kerusakan ekosistem menjadikan lahan gambut rentan terhadap kebakaran [15].

Kebakaran lahan gambut tidak hanya memberikan dampak negatif berupa terbakarnya tanaman dan vegetasi hutan, tetapi juga membakar lapisan gambut di permukaan dan di bawah permukaan dalam bentuk kebakaran tidak menyala. Gambut yang terbakar berubah menjadi kering, tidak dapat menyerap air (*hidrofobik*), dan tidak dapat menahan air dalam tanah sehingga menyebabkan turunnya kadar air tanah serta dangkalnya zona perakaran [16]. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2001 tentang Pengendalian Kerusakan dan/atau Pencemaran Lingkungan Hidup yang Berkaitan dengan Kebakaran Hutan dan/atau Lahan, tanah gambut yang terdegradasi akibat kebakaran hutan akan mengalami kerusakan berupa meningkatnya kadar P-tersedia, berubahnya nilai pH tanah, serta terganggunya keseimbangan unsur hara tanah.

Di dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 57 Tahun 2016 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut disebutkan bahwa salah satu upaya pemulihan untuk menjadikan fungsi ekosistem gambut atau bagian-bagiannya berfungsi kembali seperti semula yakni dengan melakukan restorasi. Restorasi tanah gambut terdegradasi diharapkan mampu menjadikan tanah produktif dengan dampak minimum melalui penerapan teknologi berwawasan lingkungan [14]. Dan untuk merealisasikan kegiatan restorasi gambut, pemerintah telah membentuk Badan Restorasi Gambut dengan berlandaskan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2016.

2.3 Tanaman *M. leucadendra*

Tanaman *M. leucadendra* adalah tanaman yang berperan sebagai bahan utama pembuatan minyak kayu putih melalui proses destilasi pada bagian daun tanaman [17]. Tanaman ini umumnya berukuran sedang dengan tinggi kurang

lebih 30 m, namun dapat mencapai tinggi lebih dari 40 m dan diameter 1,2 m di wilayah Australia. Ciri-ciri dari tanaman *M. leucadendra* adalah memiliki batang berwarna abu-abu putih, daun sepanjang 5-10 cm dan selebar 1-4 cm dengan tekstur sedikit berbulu, serta memiliki buah berbentuk kapsul dan bertipe *dehiscent* [18].

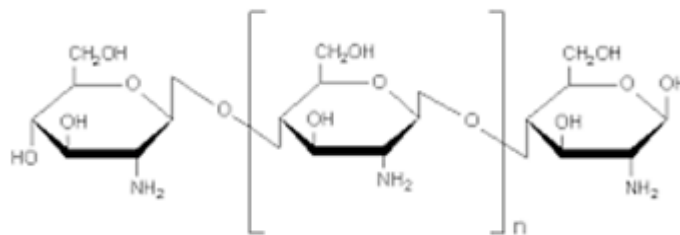
Tanaman *M. leucadendra* dikatakan bernilai ekonomi tinggi dengan potensi pasar yang prospektif karena selain daunnya dapat dimanfaatkan menjadi minyak yang bermanfaat untuk industri obat-obatan dan kosmetik, bagian batang dari tanaman juga dapat dimanfaatkan sebagai suplai kayu yang digunakan pada konstruksi [19]. Manfaat lain dari tanaman *M. leucadendra* adalah dapat digunakan sebagai agen restorasi ekosistem gambut karena tanaman ini tergolong tanaman adaptif dan mampu tumbuh dengan cepat (*fast growing species*). Tanaman *M. leucadendra* mampu tumbuh pada berbagai jenis tanah, termasuk tanah dalam kondisi ekstrim. Kondisi ekstrim yang dimaksudkan adalah kondisi pH tanah yang sangat rendah atau sangat asam, tingkat kekeringan tanah yang tinggi, maupun kadar air yang tinggi pada tanah. Tanaman *M. leucadendra* dapat mentolerir kondisi tanah yang terendam air hingga kedalaman tiga meter selama beberapa bulan hingga satu tahun [20]. Walaupun memiliki daya adaptif yang tinggi, tanaman *M. leucadendra* akan tumbuh lebih optimal pada kondisi lahan yang terletak di dataran rendah dengan konfigurasi relatif datar, tidak tergenang, serta pH tanah netral atau pada rentang 6,01 – 6,50 dengan kandungan bahan organik yang rendah [21].

2.4 Bahan Pembenh Tanah

Bahan pembenh tanah adalah bahan-bahan sintetis atau alami, organik atau mineral, berbentuk padat atau cair yang mampu memperbaiki struktur tanah, merubah kapasitas simpanan air tanah, serta memperbaiki kemampuan tanah dalam menahan unsur hara [22]. Terdapat tiga konsep utama dari penggunaan bahan pembenh tanah yakni pemantapan agregat tanah untuk mencegah erosi dan pencemaran, merubah sifat *hidrofobik* menjadi *hidrofilik* sehingga dapat meningkatkan kapasitas simpanan air tanah, serta meningkatkan kemampuan

tanah dalam menahan unsur hara dengan cara meningkatkan KTK [23]. Selain ketiga konsep utama, bahan pembenah tanah juga digunakan untuk memperbaiki sifat kimia tanah seperti untuk perbaikan reaksi tanah dan menetralkan unsur atau senyawa beracun. Tujuan akhir dari penggunaan bahan pembenah tanah adalah untuk menciptakan tanah yang mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman, perkembangan biota tanah, serta meningkatkan ketahanan tanah terhadap erosi. Sehingga bahan pembenah tanah harus mampu memfasilitasi tersedianya hara, air, dan udara yang optimal, apabila sifat fisik, kimia, dan biologi tanah terpelihara dengan baik. Beberapa contoh bahan pembenah tanah yang dapat digunakan untuk membantu mempercepat perbaikan kualitas tanah adalah chitosan, asam humat, dan SROP [7].

2.4.1 Chitosan



Sumber: Mallerba dan Raffaella, 2020 [28]

Gambar 2.1 Struktur Chitosan

Chitosan atau kitosan merupakan turunan N-deasetilasi dari kitin dalam bentuk polisakarida alami, sehingga memiliki rantai molekul yang panjang dan berat molekul yang tinggi [24]. Chitosan dihasilkan melalui proses deasetilasi kitin, yaitu pereaksian kitin dengan menggunakan alkali konsentrasi tinggi dalam waktu yang relatif lama serta dalam suhu yang tinggi [25]. Sumber utama dari kitin dan chitosan adalah cangkang serangga maupun *crustacean* seperti kepiting, lobster, udang, krill, cumi-cumi, laba-laba, kalajengking, kumbang, dan lain-lain [24].

Chitosan telah terbukti mampu menstimulasi pertumbuhan serta meningkatkan produktivitas pada tanaman [26]. Hal ini dapat terjadi karena chitosan mampu membantu akar menyerap lebih banyak nutrisi

dari tanah, sehingga meminimalisir terjadinya pelepasan nutrisi dan mengurangi penggunaan pupuk yang berlebih [27]. **Tabel 2.1** merupakan pengaruh yang diberikan oleh chitosan pada beberapa jenis tanaman.

Selain membantu pertumbuhan tanaman, keberadaan gugus hidroksil dan amino di sepanjang rantai polimer mampu menjadikan chitosan sebagai adsorben yang efektif dalam mengadsorpsi kation ion logam berat [25]. Kemampuan chitosan sebagai adsorben dapat dimanfaatkan untuk memulihkan tanah yang telah terkontaminasi Cu^{2+} serta Pb^{2+} [28]. Kapasitas penyerapan yang dimiliki chitosan adalah sebesar 59 mg/g pada Cu^{2+} dan 55,5 mg/g pada Pb^{2+} , dimana kapasitas tersebut lebih baik dibandingkan kapasitas milik *biochar* jerami jagung maupun *hardwood biochar* [29]. Tidak hanya Cu^{2+} dan Pb^{2+} , chitosan juga terbukti mampu meremediasi tanah yang telah tercemar Zn. Chitosan dapat menurunkan konsentrasi Zn sebesar 16% dan 12,83% pada tanah yang di dalamnya mengandung Zn 50 mg/kg dan 100 mg/kg. Penyerapan Zn di dalam tanah oleh chitosan bekerja dengan efektif pada jaringan akar tanaman. Penurunan konsentrasi sebesar 71,8% dan 78% terjadi pada jaringan akar tanaman yang ditanam pada tanah dengan kandungan Zn 50 mg/kg dan 100 mg/kg [30].

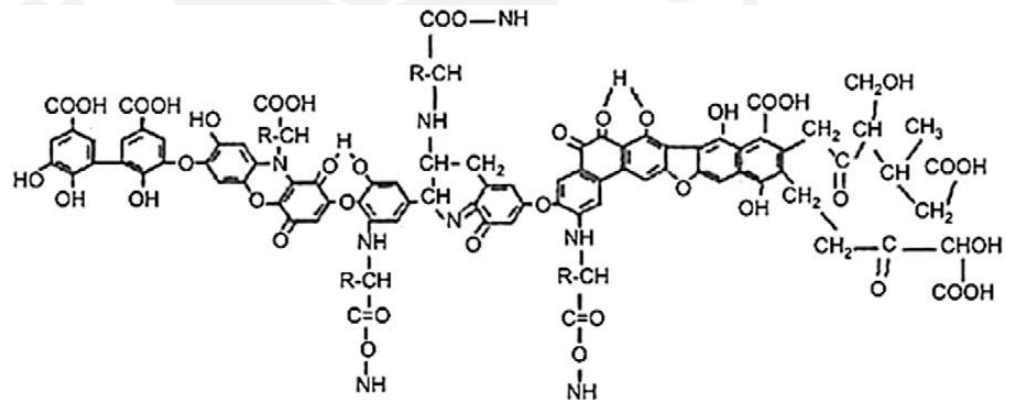
Tabel 2.1 Pengaruh Pemberian Chitosan pada Tanaman

Jenis Tanaman	Hasil
Artichoke	Meningkatkan perkecambahan biji dan pertumbuhan tanaman
Cabai	Meningkatkan luas daun dan tinggi tanaman
Timun	Memacu pertumbuhan vegetatif dan kualitas buah timun
Kopi	Meningkatkan luas daun dan tinggi tanaman
Sawi putih	Menyeragamkan perkecambahan benih dan meningkatkan pertumbuhan bibit
Anggrek <i>Dendrobium formosum</i>	Meningkatkan perkecambahan biji
Terong	Meningkatkan aktivitas antioksidan dan kandungan fenolik

	total
Okra	Meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan hasil buah
Kentang	Meningkatkan berat basah umbi dan hasil keseluruhan
Persik	Menginduksi aktivitas antioksidan dan enzim yang berhubungan dengan pertahanan
Lobak	Meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi
Stroberi	Memproduksi buah dengan umur simpan yang lebih lama
Tomat	Meningkatkan buah dan produktivitas
Teh	Meningkatkan kandungan fenolik hingga 9%
Semangka	Meningkatkan berat basah dan berat kering bibit, merangsang pertumbuhan batang primer, sistem akar, dan meningkatkan lebar stomata

Sumber: Sharif, 2018 [24]

2.4.2 Asam Humat



Sumber: Melo, dkk., 2016 [32]

Gambar 2.2 Struktur Asam Humat

Asam humat adalah fraksi senyawa humat (hasil akhir dekomposisi bahan tanaman di dalam tanah) yang larut dalam media basa, sebagian larut dalam air, dan tidak larut pada media dalam kondisi asam (pH 1 – 2) [31]. Seperti yang terlihat pada **Gambar 2.2**, asam humat memiliki gugus fungsional utama berupa asam karboksilat, fenol, alkohol, karbonil, amida, kuinon, dan peptida. Gugus fungsional fenol dan asam karboksilat memungkinkan terjadinya deprotonasi OH/OOH (pelepasan proton H⁺ dari molekul asam untuk membentuk konjugat basa) sehingga menjadikan

asam humat sebagai bahan pembenah tanah yang memiliki banyak manfaat [32].

Asam humat memiliki mekanisme pengkeletan dengan unsur logam di dalam tanah yang berfungsi untuk menurunkan jumlah logam di dalam tanah dan memperbaiki sifat tanah [33, 34]. Contoh ion logam gabungan yang dapat diadorpsi oleh asam humat yakni Cu(II), Zn(II), Mn(II), dan Fe(II) [35]. Menurut Qun Rong (2020), asam humat sebanyak 14,8 kg/ha mampu menginaktivasi logam tersedia Cd, Pb, Cu, dan Zn dengan presentase maksimum sebesar 37%, 39%, 18%, dan 29% [36]. Penurunan logam di dalam tanah mampu meminimalisir risiko masuknya logam ke dalam air tanah (*groundwater*) [37] serta melepaskan ikatan logam dengan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga unsur hara menjadi tersedia [38].

Selain manfaat yang telah disebutkan di atas, asam humat masih memiliki banyak manfaat lainnya. Asam humat dapat meningkatkan dan mengoptimalkan asupan nutrisi maupun air oleh tanaman, membantu konversi elemen nutrisi dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman, serta menstimulasi dan meningkatkan produksi enzim pada tanaman [39]. Manfaat berupa peningkatan asupan air oleh tanaman dapat terjadi karena asam humat membantu peningkatan retensi kandungan air atau *water holding capacity* [37, 40]. Sudah banyak penelitian yang membuktikan bahwa asam humat mampu meningkatkan serapan nutrisi dan meningkatkan hasil panen tanaman tomat, cabai, dan gerbera [8].

2.4.3 SROP

SROP atau humus sintetis merupakan penggabungan konsep tanah TPI dengan konsep Hayes yang menghasilkan sebuah pupuk dengan peran sebagai pembenah tanah karena mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan berpengaruh terhadap kesuburan tanah [41, 42]. Campuran bahan pembentuk berupa *biochar*, *hydrochar*, biomolekul, dan partikel superparamagnetik menghasilkan humus sintetis dengan karbon

melimpah yang sangat stabil terhadap degradasi kimia maupun biologi [42, 43]. Humus sintesis dirancang sebagai humus alami dengan kemampuan sebagai pengontrol transfer elektron, pengontrol kadar air, sebagai tempat berkembang biak organisme tanah dan pengikat kandungan organik tanah [44].

Dalam bidang pertanian, SROP dianggap mampu memberikan manfaat berupa peningkatan hasil panen. Tanaman kentang mampu menghasilkan 30 ton/ha kentang setelah tanahnya diberi SROP sebanyak 7 – 10 ton/ha tanah. Hasil tersebut lebih banyak dibandingkan penggunaan pupuk kandang sebanyak 16 – 20 ton/ha tanah yang hanya mampu menghasilkan 15 ton/ha kentang [41]. Selain itu, penggunaan SROP sebanyak 10 – 30% pada tanah dianggap mampu meningkatkan kandungan P-tersedia tanah, meningkatkan pH tanah hingga mencapai netral, serta menurunkan toksisitas dari Fe, Mn, dan Zn pada tanah dengan efektif [45].

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan, berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi:

Tabel 2.2 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Topik	Hasil
1	I Nyoman Dibia	2015	Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Tanaman Kayu Putih (<i>Malaleuca leucadendra</i>) pada Kawasan Hutan Produksi Bali Barat (Kecamatan Grokgak) Kabupaten Buleleng Bali.	Tanaman <i>M. leucadendra</i> sangat sesuai dengan tanah yang memiliki rentang pH di antara 6,01 – 6,50 dan tidak sesuai dengan tanah yang memiliki pH di atas 8 serta di bawah 4,51. Akan tetapi pH tanah yang tidak sesuai dapat diatasi dengan

				penambahan bahan-bahan yang mampu menetralkan pH tanah.
2	Nimisha Tripathi, Girish Choppala, dan Raj S. Singh	2016	Evaluation of Modified Chitosan for Remediation of Zinc Contaminated Soils.	Chitosan dapat berperan sebagai pembenah untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi Zn. Logam Zn sebesar 50 mg/kg dan 100 mg/kg di dalam tanah mampu diturunkan konsentrasinya hingga mencapai 71,8% dan 78% dengan penambahan chitosan. Chitosan yang dicampurkan pada tanah akan membantu akar tanaman menyerap Zn sehingga konsentrasinya di dalam tanah menurun.
3	Qun Rong, Kai Zhong, He Huang, Chuanzhang Li, Chaolan Zhang, dan Xinyu Nong	2020	Humic Acid Reduces the Available Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Soil and Their Uptake by Tobacco.	Penambahan asam humat ke dalam tanah sebanyak 14,8 kg/ha secara signifikan dapat mengurangi kandungan logam tersedia di dalam tanah. Dosis tersebut mampu menginaktivasi logam Zn dengan presentase maksimum sebesar 29%.
4	Cahyono Agus, Muhamad Ginanjar Cahya Adi Kusuma, Eny Faridah, Alifah Dina,	2020	Paramagnetic Humus and <i>Callophyllum inophyllum</i> for Rehabilitation of Tropical Anthropogenic Deserted Tin-Mined Soil.	Penggunaan pupuk SROP atau humus sintesis sebanyak 10 – 30% cukup efektif untuk memperbaiki pH tanah menjadi hampir netral, membantu

	Dewi Wulandari, Idi Bantara, Benny P. Hutahaean, dan Tri Lestari			pertumbuhan tanaman, meningkatkan P-tersedia dalam tanah, serta menurunkan tingkat toksisitas <i>micronutrient</i> Fe, Mn, dan Zn di dalam tanah.
--	--	--	--	--



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2021 sampai dengan bulan Oktober 2021 di dua lokasi. Lokasi pertama berada di rumah kaca yang terletak di Dusun Klidon, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, sedangkan lokasi kedua berada di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tahapan penyemaian *M. leucadendra*, persiapan media tanam, penanaman, pemeliharaan tanaman, pengamatan, dan pemanenan tanaman dilaksanakan di lokasi pertama yakni rumah kaca. Pada tahapan pengujian pH tanah, unsur hara P, dan logam berat dilaksanakan di lokasi kedua yaitu laboratorium.

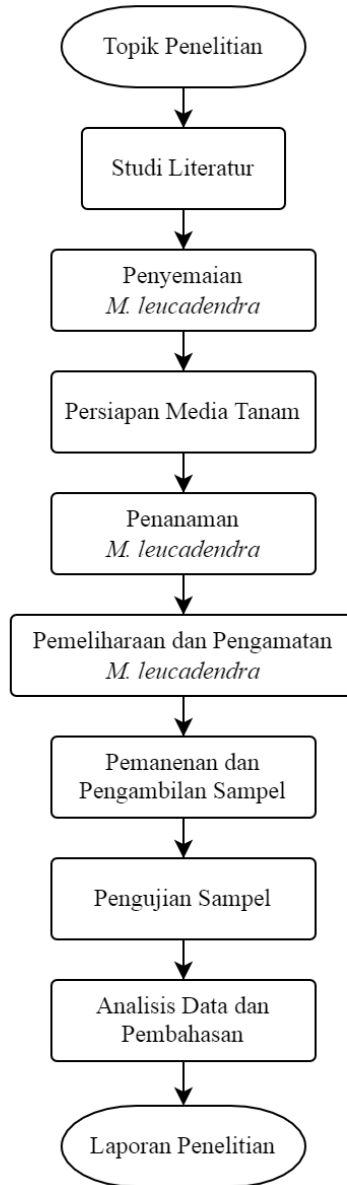
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian meliputi alat saat pengamatan tanaman *M. leucadendra* dan alat saat pengujian sampel. Pada pengamatan tanaman *M. leucadendra* dibutuhkan alat meteran serta *caliper digital*, sedangkan pada pengujian dibutuhkan alat berupa pH meter, spektrofotometer, serta AAS.

Bahan yang digunakan pada penelitian terdiri dari tanah gambut terdegradasi, chitosan, asam humat, SROP, tanaman *M. leucadendra*, aquadest, larutan KCl, pengestrak Bray dan Kurts I, pereaksi pewarna P, HNO₃, dan HClO₄. Daftar alat serta bahan yang digunakan dalam penelitian telah dicantumkan secara lengkap pada lampiran.

3.3 Tahapan Penelitian

Beberapa tahapan proses dalam penelitian digambarkan menggunakan diagram alir seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Penyemaian *M. leucadendra*

Sebelum digunakan sebagai agen restorasi tanah gambut, tanaman *M. leucadendra* mula-mula ditanam pada media pasir steril selama dua bulan. Pemeliharaan tanaman selama proses semai dilakukan dengan cara

penyiraman secara rutin setiap dua hari sekali di pagi atau sore hari, penyiraman dilakukan pada kondisi sejuk atau tidak panas [46]. Selama proses semai, tanaman *M. leucadendra* diberi *hyponex* setiap satu minggu sekali dengan takaran 1,0 gram *hyponex*/L air.

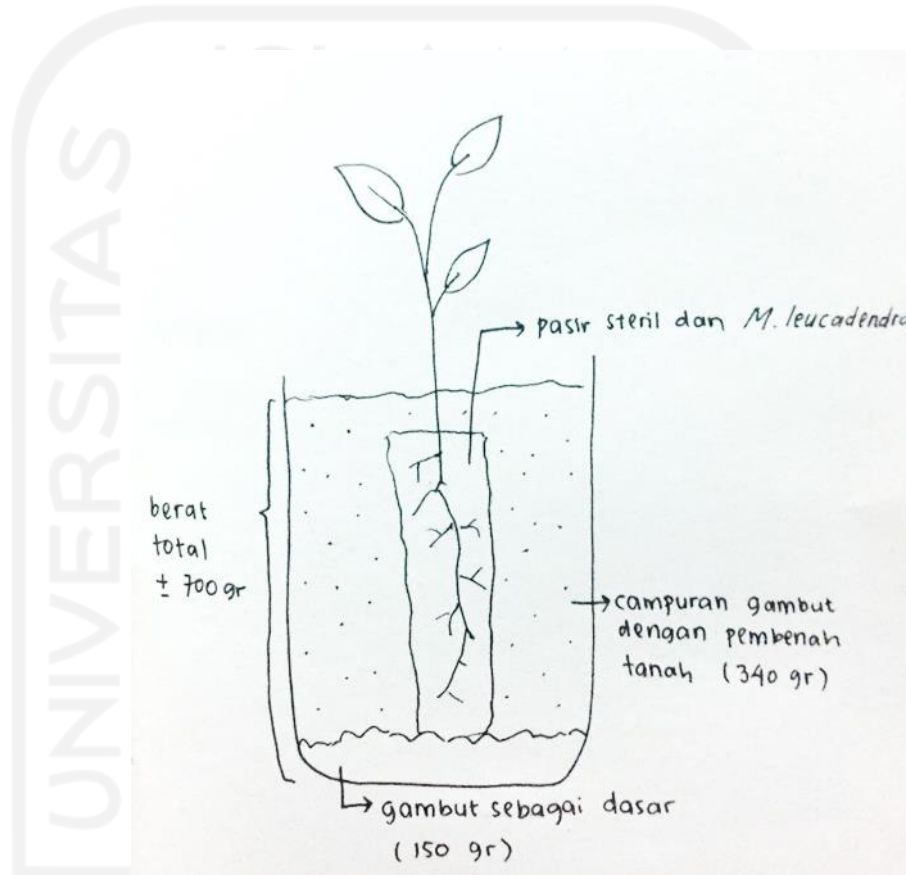
3.3.2 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan adalah campuran antara bahan pembenah tanah dengan tanah hutan gambut terdegradasi akibat kebakaran hutan sehingga memiliki kandungan metal tinggi yang diambil di KHDTK Tumbang Nusa Palangkaraya Kalimantan Tengah. Sebelum ditanami *M. leucadendra* dan diberi bahan pembenah tanah, dilakukan pengujian pH tanah, unsur hara P tanah, serta logam berat pada tanah gambut terdegradasi.

Terdapat empat jenis media tanam dalam penelitian ini yaitu tanah gambut tanpa tambahan bahan pembenah tanah yang kemudian diberi kode K, tanah gambut dengan tambahan chitosan yang diberi kode CHI, tanah gambut dengan tambahan asam humat yang diberi kode AH, serta tanah gambut dengan tambahan bahan pembenah SROP yang diberi kode S. Takaran masing-masing bahan pembenah tanah yang digunakan adalah 25 gram chitosan/1 kg tanah gambut (2,5%), 25 gram asam humat/1 kg tanah gambut (2,5%), dan 100 gram SROP/1 kg tanah gambut (10%).

3.3.3 Penanaman *M. leucadendra*

Penanaman *M. leucadendra* dilakukan dengan memasukkan media tanam serta tanaman *M. leucadendra* yang telah disemai ke dalam 35 buah *polybag* berukuran 20×20 cm, karena masing-masing media tanam memiliki tujuh pengulangan atau replikasi. Susunan media tanam dan tanaman *M. leucadendra* di dalam *polybag* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Susunan Media Tanam dan *M. leucadendra* di dalam *Polybag*

3.3.4 Pemeliharaan dan Pengamatan *M. leucadendra*

Tanaman *M. leucadendra* dipelihara selama tiga bulan di rumah kaca dengan penyiraman tanpa pemupukan setiap hari di sore hari ketika musim kemarau dan setiap dua hari sekali ketika musim penghujan, penyiraman dilakukan pada kondisi sejuk atau tidak panas. Pengamatan *M. leucadendra* yang dilakukan setiap dua minggu sekali berupa

pengukuran parameter fisik tanaman yang meliputi diameter batang, tinggi tanaman, dan jumlah daun tanaman.

3.3.5 Pemanenan dan Pengambilan Sampel

Pemanenan dilakukan setelah tiga bulan pemeliharaan dengan cara memisahkan tanah gambut dengan tanaman *M. leucadendra*. Pemisahan dilakukan berdasarkan jenis sampel yang akan digunakan, sehingga didapatkan tiga jenis sampel yakni sampel tanah, sampel jaringan akar, dan sampel jaringan batang tanaman *M. leucadendra*. Setelah dipisahkan, jaringan akar dan jaringan batang masing-masing ditimbang berat basahnya kemudian dimasukkan ke dalam amplop untuk selanjutnya dikeringkan dengan oven bersuhu 70°C selama 72 jam serta ditimbang berat keringnya menggunakan timbangan analitik. Tanah gambut yang telah dipisahkan dengan jaringan akar *M. leucadendra* dimasukkan ke dalam plastik klip untuk selanjutnya dilakukan pengayakan dan pengujian di laboratorium.

3.3.6 Pengujian Sampel

Pengujian sampel yang dilakukan di laboratorium yakni uji pH tanah, uji kandungan P-tersedia tanah, uji kadar P pada jaringan batang, dan uji kandungan Fe, Mn, serta Zn pada ketiga jenis sampel. Pengujian pH dilakukan dengan mengambil 10 gram sampel tanah yang kemudian ditambahkan aquadest (untuk pH H₂O) dan KCl (untuk pH KCl), setelah itu diukur menggunakan pH meter. Pengujian P-tersedia tanah dilakukan dengan menggunakan metode Bray yakni dengan mencampurkan 2,5 gram sampel tanah ke dalam pengekstrak Bray dan Kurts I dan ditambah pereaksi pewarna P untuk selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm. Pengujian kandungan Fe, Mn, serta Zn pada tanah dilakukan dengan mencampurkan 1 gram sampel tanah dengan aquadest dan HNO₃, kemudian dilakukan destruksi dan penyaringan menggunakan kertas saring yang selanjutnya

dimasukkan ke dalam botol vial untuk diujikan menggunakan AAS. Pengujian kadar P pada jaringan batang memiliki langkah yang serupa dengan pengujian Fe, Mn, dan Zn pada jaringan tanaman yakni dengan mencampurkan 0,5 gram sampel dengan HNO₃ dan HClO₄ kemudian dibiarkan satu malam dan didestruksi keesokan harinya. Setelah didestruksi, ekstrak untuk pengujian kadar P diencerkan kemudian ditambahkan pereaksi pewarna P dan diukur menggunakan spektrofotometer. Lain halnya dengan pengujian kadar P, pada pengujian Fe, Mn, dan Zn pada jaringan tanaman ekstrak yang didapatkan setelah destruksi tidak ditambahkan pereaksi pewarna P akan tetapi langsung diuji menggunakan AAS. Langkah pengujian sampel secara detail telah dicantumkan pada lampiran.

3.4 Prosedur Analisis Data

Pada pertumbuhan tanaman *M. leucadendra*, analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran fisik tanaman yang meliputi diameter batang, tinggi tanaman, dan jumlah daun antara tanaman *M. leucadendra* pada tanah yang telah diberi pembenah tanah berupa chitosan, asam humat, serta SROP dengan tanaman *M. leucadendra* pada media tanam kontrol atau tanah tanpa diberi pembenah tanah. Hasil tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang.

Analisis data pH tanah, kandungan P-tersedia tanah, kadar P jaringan batang, serta kandungan logam Fe, Mn, dan Zn dilakukan dengan membandingkan tiap perlakuan dengan kontrol serta membandingkan dengan ketentuan yang berlaku. Persyaratan atau ketentuan pH tanah, kadar P-tersedia tanah, serta kandungan logam Fe, Mn, dan Zn dapat dilihat pada **Tabel 3.1** sampai **Tabel 3.3**.

Tabel 3.1 Kriteria pH Tanah

Parameter	Sangat Asam	Asam	Sedikit Asam	Netral	Sedikit Basa	Basa
pH H ₂ O	< 4,5	4,5 – 5,5	5,5 – 6,5	6,6 – 7,5	7,6 – 8,5	> 8,5

Sumber: Eviati dan Sulaeman, 2009 [47]

Tabel 3.2 Kriteria P-tersedia Tanah

Parameter	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
P ₂ O ₅ Bray (ppm P)	< 4	5 – 7	8 – 10	11 – 15	> 15

Sumber: Eviati dan Sulaeman, 2009 [47]

Tabel 3.3 Persyaratan Logam Berat dalam Tanah dan Tanaman

Parameter	Batas Kritis	
	Tanah	Tanaman
Fe (ppm)	100 ¹	112 ¹
Mn (ppm)	50 ¹	55 ¹ – 495 ²
Zn (ppm)	20 ¹ – 62 ³	19,6 ¹ – 110 ⁴

1. Schulze, dkk., 2019 [48]
2. Reichman, dkk., 2004 [49]
3. Vries, dkk., 2012 [50]
4. Reichman, dkk., 2001 [51]

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Tanah Gambut Awal

Tanah gambut awal yakni tanah hutan gambut terdegradasi akibat kebakaran hutan yang diambil di KHDTK Tumbang Nusa Palangkaraya Kalimantan Tengah dan belum diberi bahan pembenah tanah serta belum ditanami tanaman *M. leucadendra*. Tanah gambut awal diidentifikasi dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dari tanah gambut terdegradasi serta untuk dijadikan pembanding dengan tanah yang telah diberi bahan pembenah tanah dan telah ditanami tanaman *M. leucadendra*. Setelah dilakukan pengujian pH tanah menggunakan pH meter, pengujian kandungan P-tersedia tanah dengan menggunakan spektrofotometer, dan pengujian kandungan logam berat di tanah dengan menggunakan AAS, didapatkan hasil seperti yang tertera pada **Tabel 4.1**. Pada **Tabel 4.1** juga disajikan data yang telah dibandingkan dengan ketentuan atau persyaratan yang berlaku.

Melihat kondisi tanah gambut awal yang terdegradasi, pengelolaan perlu dilakukan. Pengelolaan tanah yang dilakukan dalam penelitian yakni pengelolaan dengan menanam tanaman *M. leucadendra* serta menambahkan bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP. Tanaman *M. leucadendra* dipilih sebagai tanaman yang digunakan pada penelitian karena tanaman ini mampu tumbuh dengan cepat dan adaptif. Tanaman *M. leucadendra* mampu tumbuh di berbagai jenis tanah, termasuk tanah dengan pH yang sangat asam serta tingkat kekeringan yang tinggi [20]. Chitosan, asam humat, dan SROP digunakan sebagai pembenah tanah di dalam penelitian karena memiliki kelebihan yang dapat membantu mengembalikan kualitas tanah gambut terdegradasi. Chitosan dapat berperan sebagai adsorben yang efektif dalam mengadsorpsi ion logam berat di dalam tanah [25] serta mampu membantu peningkatan tinggi tanaman [24]. Asam humat memiliki mekanisme pengkeletan dengan unsur logam yang membantu memperbaiki sifat tanah [33, 34], selain itu asam humat mampu meningkatkan asupan nutrisi dan air untuk membantu pertumbuhan tanaman [39]. SROP

dirancang sebagai pengikat kandungan organik tanah [44] sehingga diduga mampu meningkatkan pH tanah hingga mencapai netral serta menurunkan toksisitas dari Fe, Mn, dan Zn pada tanah dengan efektif [45].

Tabel 4.1 Karakteristik Tanah Gambut Awal

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Keterangan
pH H ₂ O	-	3,620	Sangat Asam
pH KCl	-	2,589	-
P ₂ O ₅ Bray	ppm	69,916	Sangat Tinggi
Fe	ppm	920,258	Melewati Batas Kritis
Mn	ppm	12,413	Tidak Melewati Batas Kritis
Zn	ppm	17,917	Di Bawah Batas Kritis

Sumber: Data Primer

4.2 Hasil dan Analisis Parameter Pertumbuhan Tanaman *M. leucadendra*

Parameter pertumbuhan tanaman *M. leucadendra* meliputi parameter fisik tanaman dan biomassa. Parameter fisik tanaman terdiri dari diameter batang, tinggi tanaman, serta jumlah daun yang diukur setiap dua minggu sekali selama kurang lebih tiga bulan. Sedangkan biomassa terdiri dari data berat basah dan berat kering jaringan akar serta data berat basah dan berat kering jaringan batang.

4.2.1 Diameter Batang

Tabel 4.2 dan **Gambar 4.1** menyajikan data perkembangan diameter batang tanaman *M. leucadendra* pada masing-masing media tanam dan menunjukkan bahwa telah terjadi pertambahan diameter setiap dua minggu sekali. Pada pengukuran awal, kontrol memiliki diameter yang cukup kecil yakni 1,44 mm, akan tetapi setelah tiga bulan diameternya terus berkembang hingga 7,56 mm. Apabila dibandingkan antara pengukuran awal dengan pengukuran akhir, diameter pada kontrol telah meningkat sebesar 426%. Pada media tanam chitosan, diameter batang awalnya sebesar 1,64 mm dan diameter akhirnya sebesar 7,16 mm. Peningkatan ukuran diameter batang chitosan cukup tinggi yakni 336%.

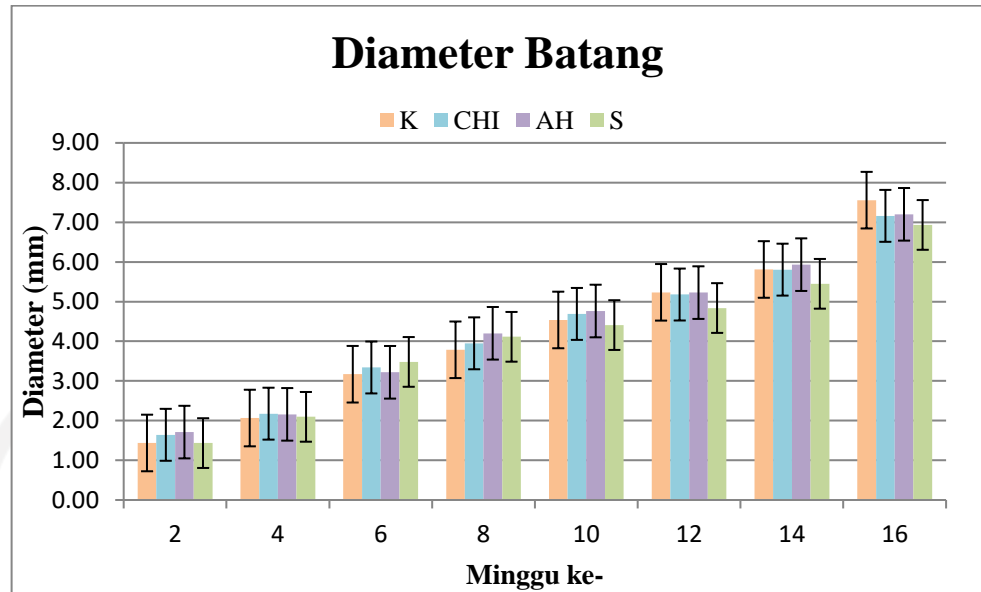
Pada asam humat, diameter batang awalnya sebesar 1,71 mm, dimana diameter tersebut merupakan diameter terbesar dibandingkan dengan media tanam lain, akan tetapi peningkatan ukurannya hanya 321% karena diameter akhir asam humat sebesar 7,20 mm. Peningkatan ukuran diameter batang pada media tanam SROP tidak kalah tinggi dibandingkan dengan kontrol. Diameter batang awal SROP sebesar 1,43 mm dan diameter batang akhirnya sebesar 6,93 mm, sehingga diameter pada SROP telah meningkat sebesar 383%.

Berdasarkan diagram batang pada **Gambar 4.1**, kontrol memiliki diameter akhir tertinggi dibandingkan dengan media tanam lainnya, yang kemudian disusul oleh asam humat, chitosan, dan yang terakhir adalah SROP. Akan tetapi, apabila dilihat dari peningkatan ukuran diameter batang awal hingga akhir, media tanam asam humat yang paling rendah dengan peningkatan sebesar 321%, kemudian chitosan sebesar 336%, SROP sebesar 383%, dan kontrol sebesar 426%.

Tabel 4.2 Diameter Batang Tanaman *M. leucadendra*

No	Kode Tanaman	Pengukuran Minggu ke-							
		2	4	6	8	10	12	14	16
1	K	1,44	2,07	3,17	3,79	4,54	5,23	5,81	7,56
2	CHI	1,64	2,18	3,34	3,95	4,69	5,18	5,81	7,16
3	AH	1,71	2,16	3,22	4,20	4,76	5,23	5,93	7,20
4	S	1,43	2,10	3,48	4,11	4,41	4,84	5,45	6,93

* Ukuran diameter batang dalam satuan mm



Gambar 4.1 Diagram Batang Diameter Batang Tanaman *M. leucadendra*

4.2.2 Tinggi Tanaman

Tanaman *M. leucadendra* dapat tumbuh dengan baik di tanah gambut yang terdegradasi sekalipun. Hal ini dapat dilihat secara nyata dari peningkatan tinggi tanaman yang terus menerus bertambah. Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.2**, setiap media tanam memberikan perubahan yang baik bagi tinggi tanaman. Media tanam kontrol mula-mula memiliki tinggi tanaman terendah yakni 20,29 cm, kemudian setelah tiga bulan meningkat menjadi 102,00 cm. Besarnya penambahan tinggi tanaman pada media tanam kontrol adalah sebesar 403%. Sama halnya dengan kontrol, media tanam chitosan juga memiliki tinggi tanaman awal terendah sebesar 20,29 cm, namun pertumbuhannya meningkat pesat hingga memiliki tinggi akhir 104,57 cm. Pertumbuhan tinggi tanaman pada media chitosan meningkat sebesar 415%. Kebalikan dari media tanam kontrol dan chitosan, asam humat memiliki tinggi awal tanaman tertinggi yaitu 24,29 cm. Setelah tiga bulan, asam humat memiliki tinggi tanaman akhir sebesar 101,14 cm, sehingga peningkatan pertumbuhan yang terjadi pada media asam humat yakni 316%. Pada media tanam SROP, pertumbuhan tinggi tanaman meningkat sebesar

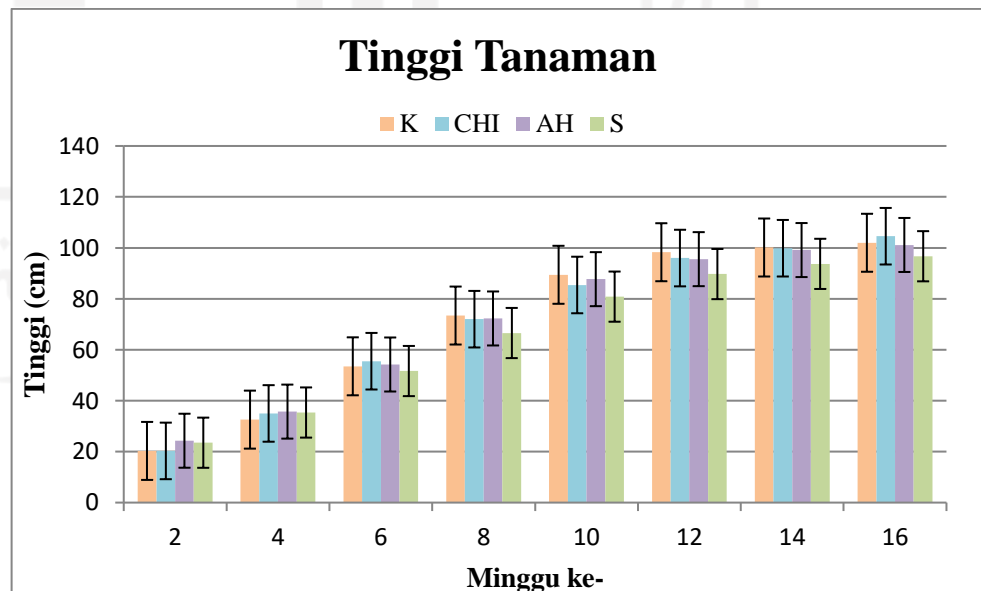
312% karena tinggi tanaman awalnya sebesar 23,50 cm dan tinggi akhirnya sebesar 96,71 cm.

Apabila diurutkan, media tanam yang memiliki peningkatan pertumbuhan tertinggi adalah chitosan, kemudian kontrol, asam humat, dan yang terakhir yaitu SROP. Urutan tersebut sama dengan urutan tinggi tanaman akhir. Tanaman *M. leucadendra* mampu tumbuh dan memiliki tinggi tanaman tertinggi pada media tanam chitosan karena di dalam struktur kimia chitosan terdapat nitrogen, dimana nitrogen sendiri membantu pertumbuhan tinggi tanaman.

Tabel 4.3 Tinggi Tanaman *M. leucadendra*

No	Kode Tanaman	Pengukuran Minggu ke-							
		2	4	6	8	10	12	14	16
1	K	20,29	32,57	53,50	73,43	89,43	98,29	100,14	102,00
2	CHI	20,29	35,00	55,50	72,00	85,43	96,00	99,86	104,57
3	AH	24,29	35,71	54,21	72,29	87,71	95,57	99,14	101,14
4	S	23,50	35,36	51,64	66,57	80,86	89,71	93,71	96,71

* Ukuran tinggi tanaman dalam cm



Gambar 4.2 Diagram Batang Tinggi Tanaman *M. leucadendra*

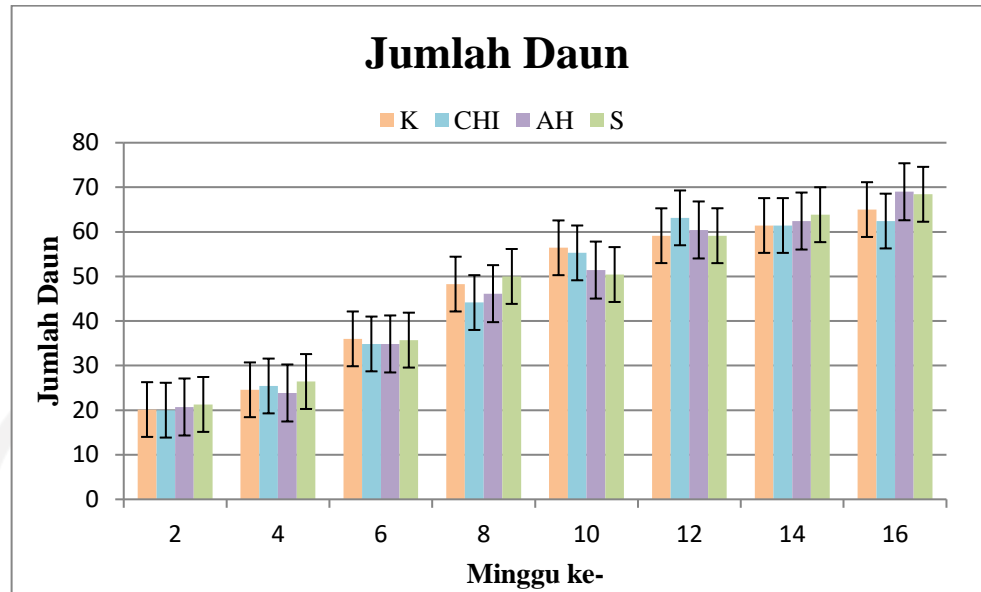
4.2.3 Jumlah Daun

Selain tinggi tanaman, jumlah daun juga menjadi faktor yang menyatakan bahwa tanaman *M. leucadendra* dapat tumbuh di tanah gambut terdegradasi. Pada pengukuran awal, jumlah daun tanaman *M. leucadendra* yang ditanam di media tanam kontrol berjumlah 20 yang kemudian bertambah menjadi 65 setelah tiga bulan. Jumlah daun pada media tanam kontrol meningkat sebesar 223%. Media tanam chitosan yang juga memiliki jumlah daun 20 di awal penanaman mengalami peningkatan jumlah daun yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Peningkatan jumlah daun media tanam chitosan sebesar 212%, karena jumlah daun akhirnya hanya 62 buah. Media tanam asam humat dan SROP memiliki jumlah daun yang sama pada awal pengukuran yaitu 21 buah, akan tetapi peningkatan jumlah daunnya berbeda. Asam humat mengalami peningkatan jumlah daun sebesar 229% karena jumlah akhir daunnya sebanyak 69. Sedangkan SROP mengalami peningkatan jumlah daun sebesar 224% karena jumlah akhir daunnya sebanyak 68.

Jika diurutkan berdasarkan jumlah daun terbanyak ke terkecil maka urutannya yaitu asam humat, SROP, kontrol, dan chitosan. Urutan tersebut sama dengan urutan perubahan jumlah daun atau peningkatan jumlah daun. Seperti yang telah disampaikan oleh Bayat [8], asam humat mampu meningkatkan hasil atau jumlah panen suatu tanaman, dan dalam penelitian ini telah dibuktikan bahwa asam humat mampu meningkatkan jumlah daun tanaman *M. leucadendra*.

Tabel 4.4 Jumlah Daun Tanaman *M. leucadendra*

No	Kode Tanaman	Pengukuran Minggu ke-							
		2	4	6	8	10	12	14	16
1	K	20	25	36	48	56	59	61	65
2	CHI	20	25	35	44	55	63	61	62
3	AH	21	24	35	46	51	60	62	69
4	S	21	26	36	50	50	59	64	68



Gambar 4.3 Diagram Batang Jumlah Daun Tanaman *M. leucadendra*

4.2.4 Biomassa Tanaman

Tabel 4.5, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 menunjukkan data berat basah tanaman *M. leucadendra*, yaitu berat tanaman saat dipanen dan sebelum dikeringkan di dalam oven. Pada jaringan batang, tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam SROP memiliki berat basah paling besar dibandingkan dengan media tanam lainnya, akan tetapi pada jaringan akar media tanam SROP memiliki berat basah paling rendah. Berat basah terendah pada jaringan batang adalah sebesar 30,7429 gram yang dimiliki oleh media tanam kontrol. Sedangkan berat basah tertinggi pada jaringan akar adalah sebesar 6,7857 gram yang dimiliki oleh media tanam chitosan.

Data berat kering tanaman *M. leucadendra* didapatkan dari hasil penimbangan tanaman yang telah dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 70°C selama 72 jam. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.6, jaringan batang *M. leucadendra* memiliki berat kering terbesar saat ditanam pada media tanam asam humat yakni sebesar 12,0213 gram. Kemudian diikuti oleh media tanam SROP sebesar 11,3152 gram, kontrol sebesar 10,6312 gram, dan chitosan sebesar 10,2342 gram. Sedangkan

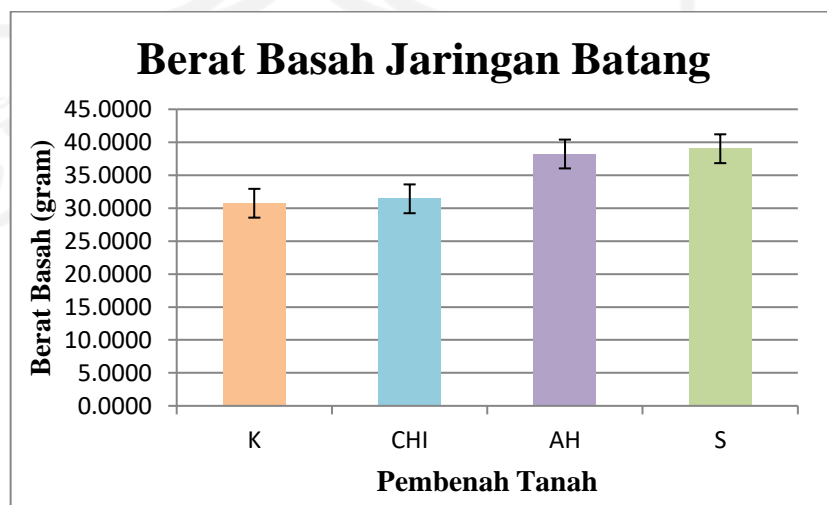
pada jaringan akar *M. leucadendra*, berat kering terbesar terdapat pada media tanam kontrol dengan berat 2,4374 gram, yang selanjutnya diikuti oleh asam humat dengan berat 2,0385 gram, chitosan dengan berat 1,9685 gram, dan SROP dengan berat 1,4427 gram.

Apabila data berat kering jaringan batang dibandingkan dengan data jumlah daun akhir seperti pada **Gambar 4.8**, maka dapat dilihat bahwa kedua hal tersebut memiliki hubungan yang berbanding lurus. Seperti yang diketahui, biomassa tanaman merupakan hasil fotosintesis yang tersimpan di dalam bagian tanaman [52]. Artinya, sebagian besar hasil fotosintesis tanaman *M. leucadendra* akan disimpan pada bagian daun, sehingga peningkatan biomassa tanaman tersebut, khususnya pada jaringan batang, akan dipengaruhi oleh jumlah daunnya.

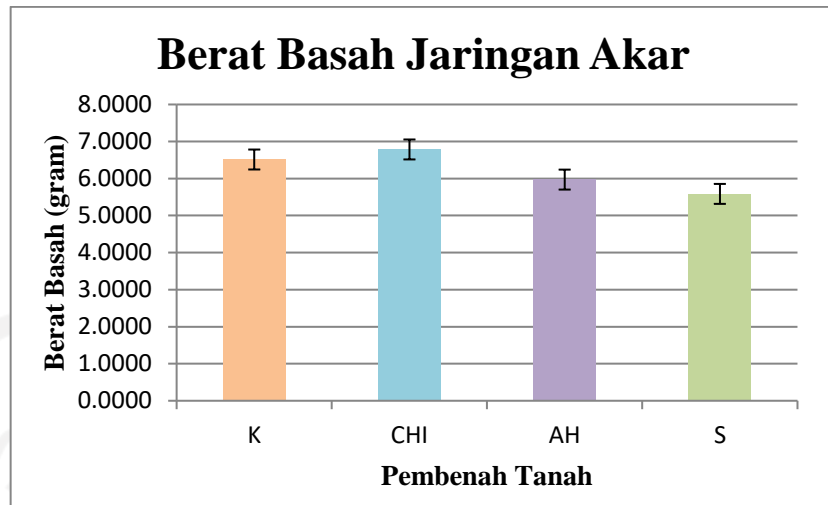
Tabel 4.5 Berat Basah dan Berat Kering Tanaman *M. leucadendra*

No	Kode Tanaman	Berat Basah (gram)		Berat Kering (gram)	
		JB	JA	JB	JA
1	K	30,7429	6,5143	10,6312	2,4374
2	CHI	31,4143	6,7857	10,2342	1,9685
3	AH	38,2143	5,9714	12,0213	2.0385
4	S	39,0143	5,5857	11,3152	1,4427

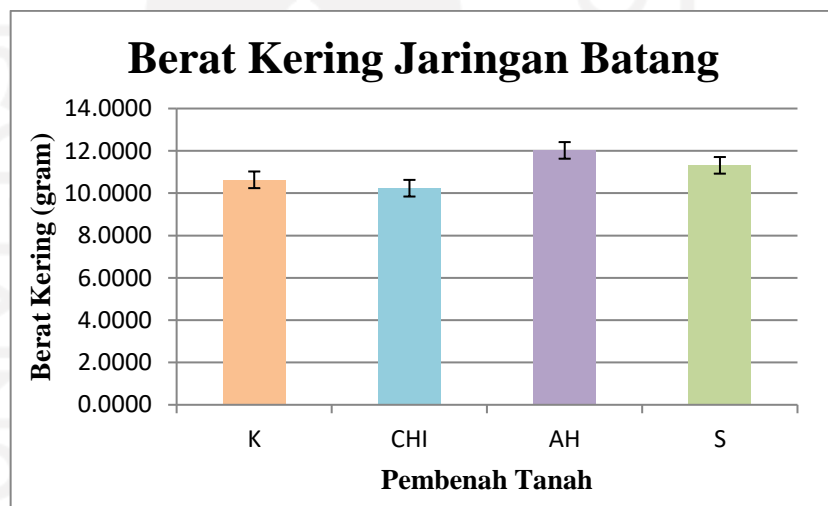
* JB = Jaringan Batang, JA = Jaringan Akar



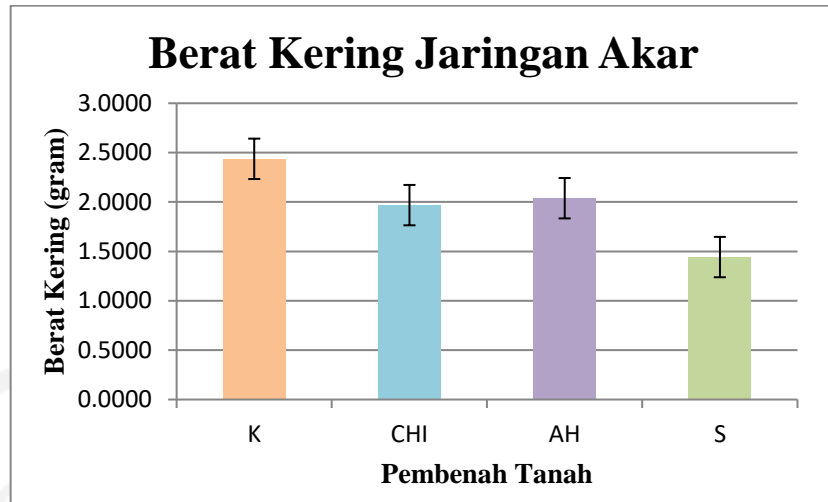
Gambar 4.4 Berat Basah Jaringan Batang Tanaman *M. leucadendra*



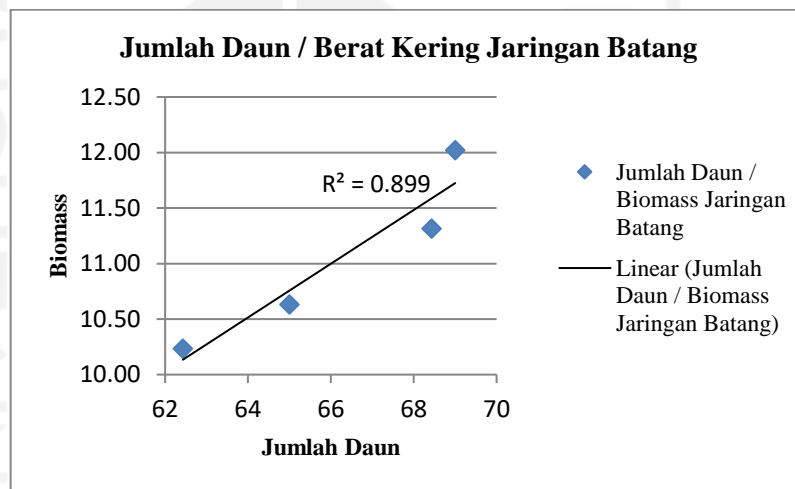
Gambar 4.5 Berat Basah Jaringan Akar Tanaman *M. leucadendra*



Gambar 4.6 Berat Kering Jaringan Batang Tanaman *M. leucadendra*



Gambar 4.7 Berat Kering Jaringan Akar Tanaman *M. leucadendra*

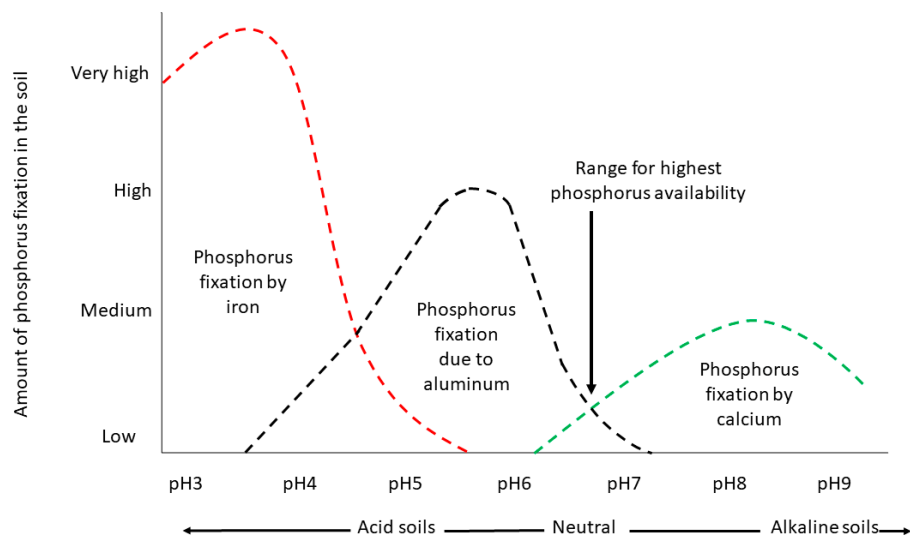


Gambar 4.8 Hubungan antara Jumlah Daun dengan Berat Kering Jaringan Batang *M. leucadendra*

4.3 Hasil dan Analisis Parameter Tingkat Serapan Logam Berat, pH tanah, serta Unsur Hara Makro P

Pengujian pH tanah, unsur hara makro P, dan tingkat serapan logam berat pada sampel dilakukan untuk mengetahui pengaruh bahan pembenah tanah serta penanaman *M. leucadendra* terhadap tanah gambut terdegradasi. Selain itu, pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pH tanah, unsur hara makro P, dan kandungan logam berat.

Menurut Chad J. Penn dan James J. Camberato (2019), pH tanah dianggap sebagai variabel utama kimia tanah karena memiliki hubungan pada reaksi kimia yang berlangsung dengan nutrisi yang penting bagi tanaman, elemen fitotoksik, dan polutan. Seperti yang tersaji pada **Gambar 4.9**, pH tanah mempengaruhi ketersediaan P dalam tanah, dimana pada pH 3 sampai 4 kandungan P-tersedia di dalam tanah akan rendah karena adanya ikatan antara P dengan logam Fe. Kandungan P-tersedia akan mencapai titik tertingginya pada pH 6,6 kemudian pada pH 4,5. Selain hubungan dengan P-tersedia, pH tanah juga mempengaruhi kandungan Fe di dalam tanah, dimana kandungan Fe di dalam tanah akan terus meningkat ketika tanah memiliki pH 4,5 atau lebih [53].



Sumber: Chad J. Penn dan James J. Camberato, 2019 [53]

Gambar 4.9 Hubungan antara pH Tanah dan P-tersedia

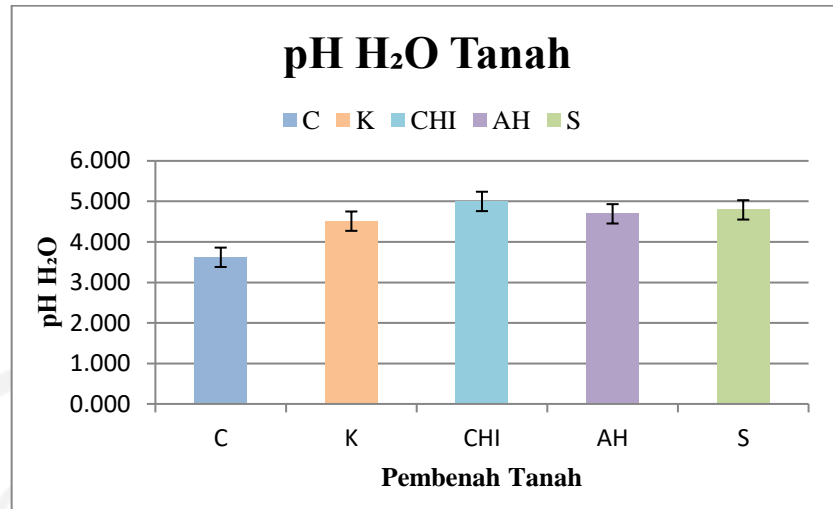
4.3.1 pH Tanah

Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui tingkat kemasaman tanah gambut yang terdegradasi dan tanah gambut setelah diberi bahan pembenah tanah serta ditanami *M. leucadendra*. Pada penelitian, pengujian pH dilakukan dengan menggunakan H₂O dan menggunakan KCl. pH H₂O merupakan pH aktual yang menyatakan kandungan ion H⁺ di dalam tanah, sedangkan pH KCl merupakan pH potensial yang menyatakan kemasaman cadangan untuk tujuan ekologis [54].

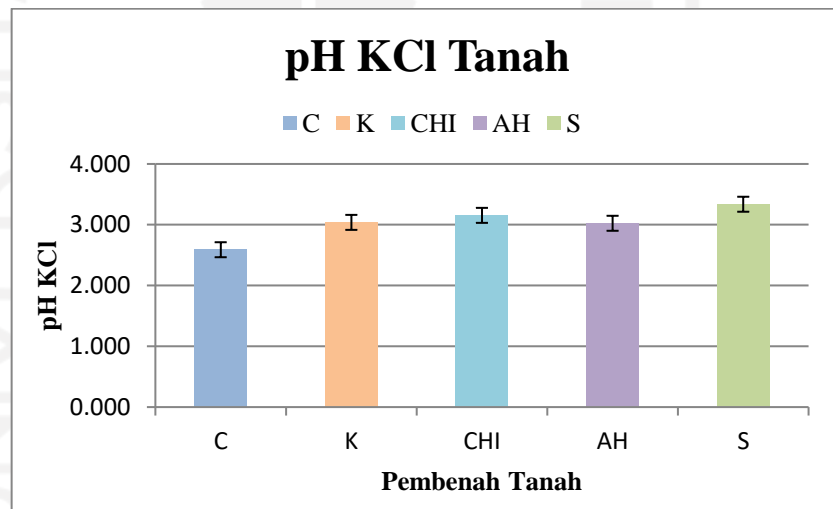
Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.6**, **Gambar 4.10**, dan **Gambar 4.11**, tanah gambut awal yang merupakan tanah gambut terdegradasi memiliki pH yang sangat rendah yakni 3,620 pada pH H₂O dan 2,589 pada pH KCl, sehingga tanah tersebut dapat digolongkan ke dalam tanah yang sangat asam. Setelah penanaman *M. leucadendra*, pH tanah mengalami peningkatan menjadi 4,512 pada pH H₂O dan 3,039 pada pH KCl. Ketika ditambahkan bahan pembenah tanah, pH tanah semakin meningkat hingga 4,999 pada pH H₂O dan 3,337 pada pH KCl dan menjadikan tanah masuk ke dalam golongan tanah asam. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan bahan pembenah tanah dan penanaman *M. leucadendra* mampu memberikan dampak positif terhadap kenaikan pH tanah. Dan dari ketiga bahan pembenah, chitosan menjadi bahan pembenah tanah yang paling baik dalam meningkatkan pH H₂O tanah serta SROP menjadi bahan pembenah tanah yang paling baik dalam meningkatkan pH KCl tanah.

Tabel 4.6 pH Tanah Gambut Terdegradasi

No	Kode Sampel	pH	
		H ₂ O	KCl
1	Tanah Awal (C)	3,620	2,589
2	K	4,512	3,039
3	CHI	4,999	3,154
4	AH	4,693	3,024
5	S	4,790	3,337



Gambar 4.10 Diagram Batang pH H₂O Tanah Gambut Terdegradasi



Gambar 4.11 Diagram Batang pH KCl Tanah Gambut Terdegradasi

4.3.2 Unsur Hara Makro P

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah awal memiliki kandungan P-tersedia atau P₂O₅ sebesar 69,9156 ppm. Apabila dibandingkan dengan **Tabel 3.2**, tanah tersebut masuk ke dalam kategori tanah dengan kandungan P-tersedia sangat tinggi. Selain itu, tanah gambut pada umumnya memiliki kandungan P-tersedia sebesar 13,2 – 65,1 ppm [1], sehingga dapat dikatakan bahwa tanah gambut awal yang merupakan tanah gambut terdegradasi mengalami kenaikan kandungan unsur hara

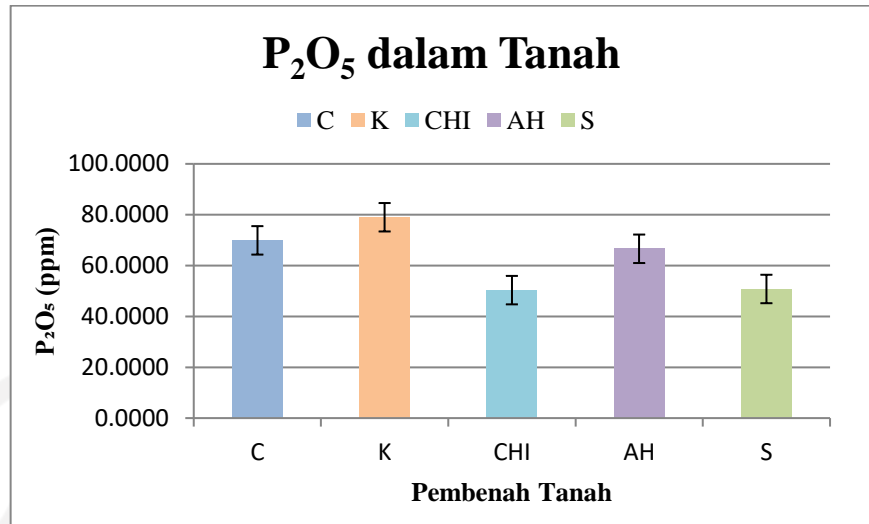
makro P, dimana kenaikan ini dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan unsur hara tanah.

Dengan penanaman *M. leucadendra* dan penambahan bahan pembenah tanah, kandungan P-tersedia di dalam tanah dapat berubah. Pada media tanam kontrol, kandungan P-tersedia semakin tinggi dengan kandungan sebesar 79,0083 ppm. Tidak seperti media tanam kontrol, media tanam chitosan, asam humat, dan SROP mampu menurunkan kandungan P-tersedia di dalam tanah hingga menjadi 50,3377 ppm, 66,5980 ppm, dan 50,7883 ppm. Apabila diurutkan dari yang kandungan P-tersedia tertinggi menuju ke rendah maka susunannya menjadi media tanam kontrol, asam humat, SROP, dan chitosan. Susunan tersebut sesuai dengan teori Chad J. Penn dan James J. Camberato (2019), ketika pH tanah 4,5 maka P-tersedia akan tinggi, kemudian ketika pH tanah meningkat P-tersedia akan semakin turun karena terjadinya ikatan antara P dengan logam Al [53].

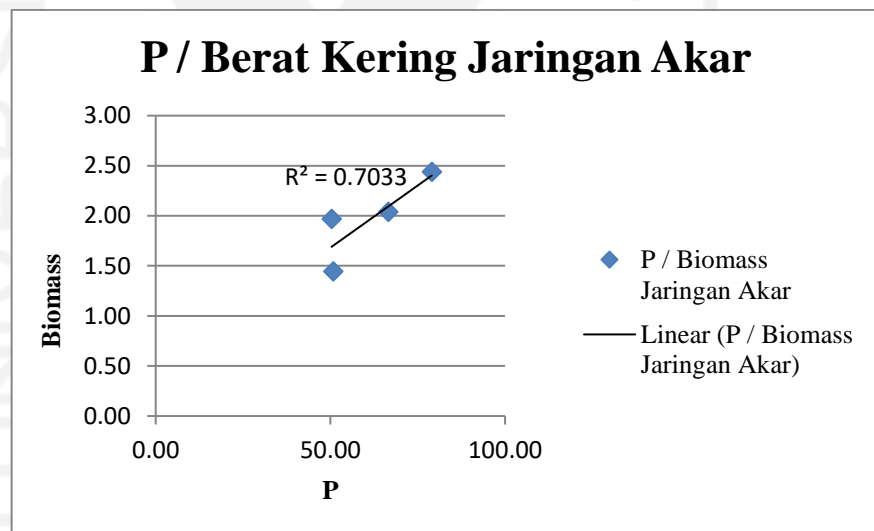
P-tersedia dalam konsentrasi yang tinggi di tanah dapat menyebabkan dampak negatif bagi keseimbangan unsur hara lain, akan tetapi juga memberikan dampak positif bagi pertumbuhan akar tanaman. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13**, kandungan P-tersedia yang tinggi dapat meningkatkan biomassa atau berat kering dari jaringan akar tanaman *M. leucadendra*. Artinya, biomassa jaringan akar tanaman *M. leucadendra* bergantung pada kandungan P-tersedia di dalam tanahnya.

Tabel 4.7 Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Tanah

No	Kode Sampel	P ₂ O ₅ (ppm)
1	C	69,9156
2	K	79,0083
3	CHI	50,3377
4	AH	66,5980
5	S	50,7883



Gambar 4.12 Diagram Batang Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Tanah



Gambar 4.13 Hubungan antara Kandungan Unsur Hara P dalam Tanah dengan Berat Kering Jaringan Akar *M. leucadendra*

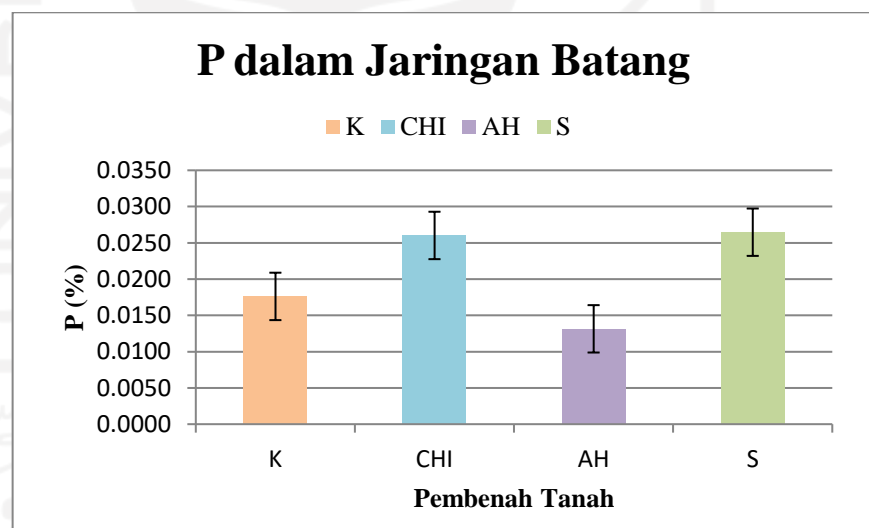
Unsur hara makro P dalam jaringan batang dinyatakan dalam bentuk persen (%). Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.14**, jaringan batang dengan kandungan P terendah terdapat pada *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam asam humat dengan kandungan sebesar 0,0131%, sedangkan jaringan batang dengan kandungan P tertinggi terdapat pada media tanam SROP dengan kandungan sebesar 0,0265%. Kandungan P dalam jaringan batang pada

media tanam chitosan tidak berbeda jauh dengan SROP yaitu sebesar 0,0260%. Dan kandungan P dalam jaringan batang pada media tanam kontrol sebesar 0,0176%.

Jika diurutkan dari kandungan P dalam jaringan batang tertinggi ke terendah, maka susunannya menjadi SROP, chitosan, kontrol, dan asam humat. Serapan kandungan P dalam jaringan batang dapat dipengaruhi oleh pH tanahnya, dimana serapan akan optimum apabila pH tanah berada pada angka 4,7 [53].

Tabel 4.8 Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	P (%)
1	K	0,0176
2	CHI	0,0260
3	AH	0,0131
4	S	0,0265



Gambar 4.14 Diagram Batang Kandungan Unsur Hara Makro P dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*

4.3.3 Logam Fe

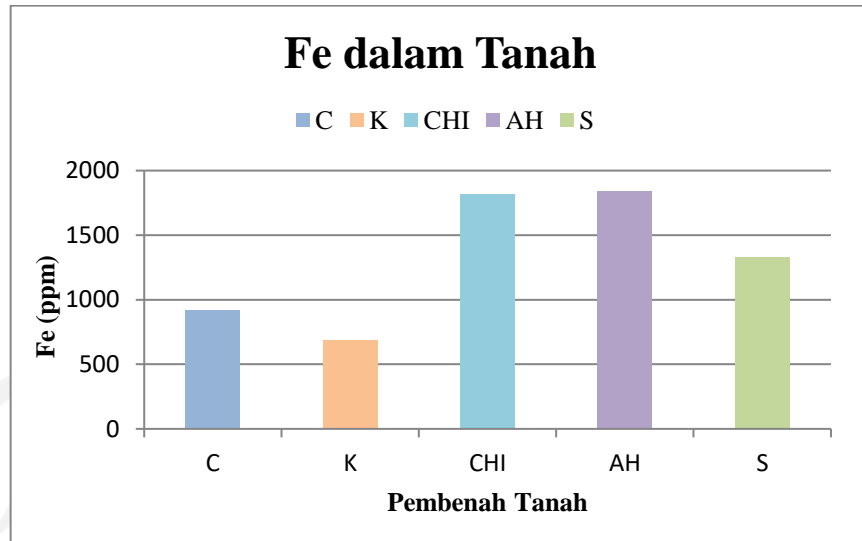
Berdasarkan diagram batang yang disajikan pada **Gambar 4.15**, pemberian bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP pada tanah gambut terdegradasi memberikan dampak negatif berupa

penambahan kandungan Fe di dalam tanah. Tanah gambut terdegradasi sebelum ditanami *M. leucadendra* dan sebelum diberi pembenah tanah memiliki kandungan Fe sebesar 920,25 ppm. Setelah ditanami *M. leucadendra*, tanah gambut mengalami penurunan kandungan Fe menjadi 686 ppm. Akan tetapi, pada saat tanah gambut ditanami *M. leucadendra* dan diberi pembenah tanah chitosan, asam humat, serta SROP, kandungan Fe di dalam tanah meningkat menjadi 1817,45 ppm, 1841,25 ppm, serta 1328 ppm.

Berbagai faktor dapat menjadi penyebab dari kenaikan kandungan Fe di dalam tanah. Salah satu penyebabnya yaitu karena adanya pengaruh pH tanah. Pada pH 3 sampai 4,5 logam Fe di dalam tanah akan rendah karena pada pH tersebut, Fe akan berikatan dengan P membentuk senyawa kompleks tak larut berupa ferri oksihidroksida yang mengendap pada lapisan permukaan akar. Keberadaan endapan tersebut dapat menyebabkan dampak negatif berupa pembentukan senyawa besi fosfat yang dapat menghambat penyerapan unsur hara P, sehingga menyebabkan kandungan P di dalam jaringan tanaman rendah [53, 55]. Sedangkan tanah dengan pH lebih dari 4,5 akan memiliki kandungan Fe yang tinggi karena P di dalam tanah tidak lagi berikatan dengan Fe melainkan dengan Al [53].

Tabel 4.9 Kandungan Fe dalam Tanah

No	Kode Sampel	Fe (ppm)
1	C	920,25
2	K	686,00
3	CHI	1817,45
4	AH	1841,25
5	S	1328,00

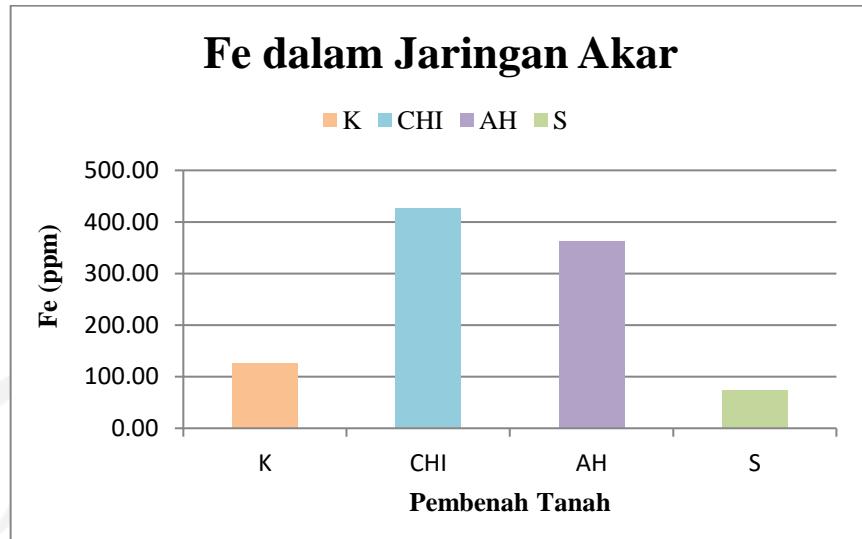


Gambar 4.15 Diagram Batang Kandungan Fe dalam Tanah

Pada tanah yang tidak diberi tambahan pembenah tanah, tanaman *M. leucadendra* mampu menyerap logam Fe sebesar 126,58 ppm pada jaringan akarnya. Penyerapan logam Fe tertinggi oleh jaringan akar terdapat pada tanaman *M. leucadendra* yang ditanam di media tanam chitosan. Chitosan mampu membantu akar tanaman menyerap 426,35 ppm logam Fe. Tidak jauh berbeda dengan chitosan, asam humat mampu membantu akar tanaman menyerap 361,81 ppm logam Fe. Dibandingkan dengan media tanam lainnya, daya serap logam Fe oleh akar tanaman yang ditanam pada media tanam SROP sangat rendah. Media tanam SROP hanya mampu membantu akar tanaman menyerap 74 ppm logam Fe.

Tabel 4.10 Kandungan Fe dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Fe (ppm)
1	K	126,58
2	CHI	426,35
3	AH	361,81
4	S	74,00



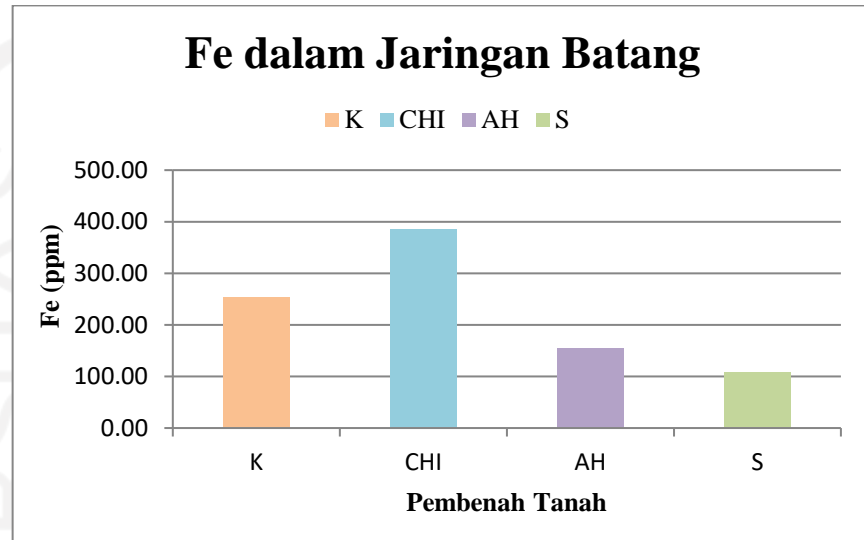
Gambar 4.16 Diagram Batang Kandungan Fe dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*

Chitosan tidak hanya mampu membantu tanaman *M. leucadendra* menyerap logam Fe dalam jumlah besar di jaringan akarnya, akan tetapi juga mampu membantu jaringan batang menyerap logam Fe sebesar 385,65 ppm. Kandungan logam Fe tersebut merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan media tanam lainnya. Pada kondisi tanah tanpa pembenah, tanaman *M. leucadendra* mampu menyerap logam Fe ke dalam jaringan batangnya sebesar 252,30 ppm. Sedangkan media tanam asam humat dan SROP masing-masing mampu membantu jaringan batang menyerap logam Fe sebesar 154,15 ppm dan 107,01 ppm.

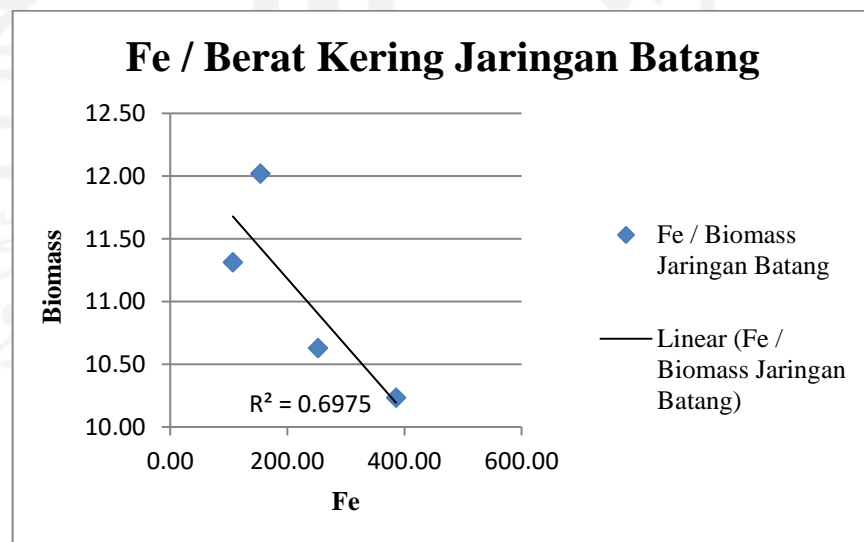
Kandungan Fe yang tinggi pada jaringan batang dapat memberikan dampak negatif berupa penurunan biomassa atau berat kering pada jaringan batang itu sendiri, hubungan ini dapat dilihat pada **Gambar 4.18**. Hal tersebut dapat terjadi karena Fe dalam jumlah yang tinggi menyebabkan keracunan pada tanaman yang berdampak pada penurunan jumlah klorofil serta pengeringan daun tanaman [56].

Tabel 4.11 Kandungan Fe dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Fe (ppm)
1	K	252,30
2	CHI	385,65
3	AH	154,15
4	S	107,01



Gambar 4.17 Diagram Batang Kandungan Fe dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*



Gambar 4.18 Hubungan antara Kandungan Fe dalam Jaringan Batang dengan Berat Kering Jaringan Batang *M. leucadendra*

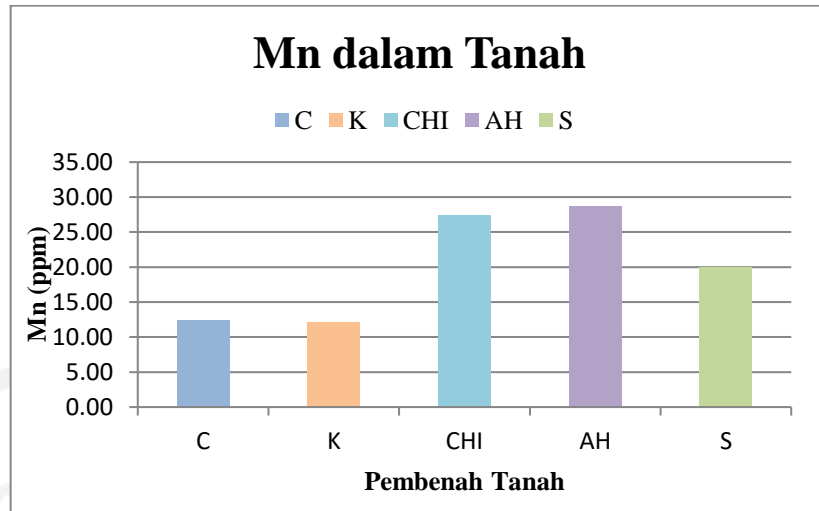
Dari data-data terkait kandungan logam Fe pada jaringan akar dan jaringan batang, dapat diketahui bahwa bahan pembenah tanah chitosan yang paling baik dalam membantu penyerapan Fe ke dalam tanaman *M. leucadendra*. Artinya, proses fitoremediasi oleh tanaman *M. leucadendra* dengan bantuan chitosan terjadi secara optimum pada jaringan batang maupun jaringan akarnya. Sedangkan apabila tanpa pembenah tanah, tanaman *M. leucadendra* akan lebih banyak menyerap logam Fe ke dalam jaringan batangnya.

4.3.4 Logam Mn

Tanah awal memiliki kandungan Mn sebesar 12,41 ppm. Kandungan tersebut tidak melewati batas kritisnya, akan tetapi dengan kandungan tersebut ditakutkan tanaman akan mengalami defisiensi unsur Mn karena sedikitnya kandungan Mn yang dapat diserap dari tanah. Ketika tanah ditanami *M. leucadendra*, kandungan Mn di dalam tanah semakin turun menjadi 12,05 ppm. Tidak seperti kontrol, bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP mampu meningkatkan kandungan Mn di dalam tanah menjadi 27,32 ppm, 28,61 ppm, dan 19,99 ppm. Kandungan tersebut masih berada di batas wajar dan tidak melebihi batas kritis.

Tabel 4.12 Kandungan Mn dalam Tanah

No	Kode Sampel	Mn (ppm)
1	C	12,41
2	K	12,05
3	CHI	27,32
4	AH	28,61
5	S	19,99

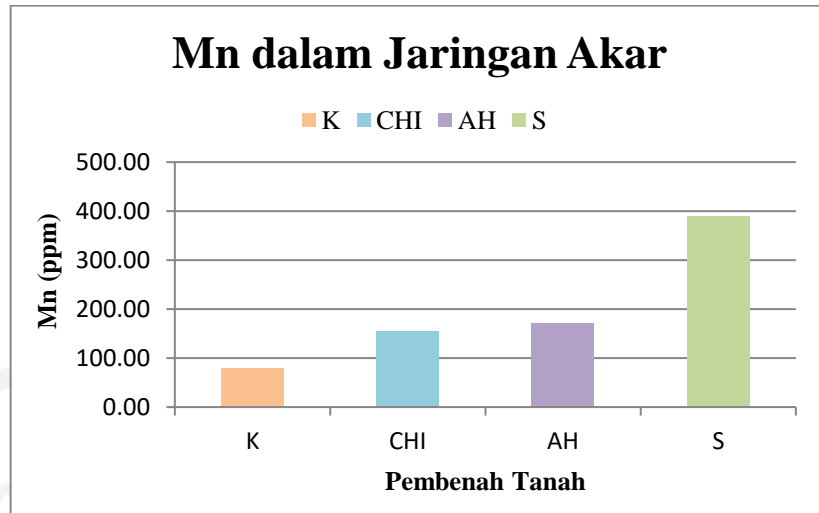


Gambar 4.19 Diagram Batang Kandungan Mn dalam Tanah

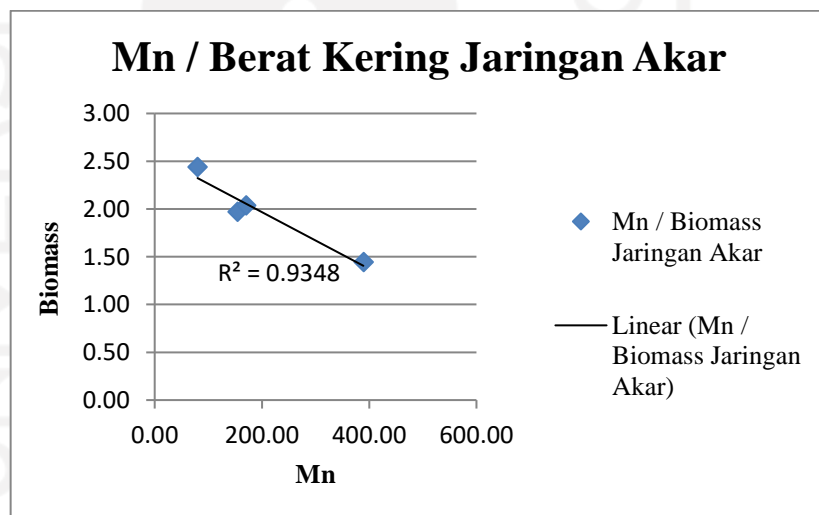
Walaupun kandungan Mn di dalam tanah tergolong rendah, kandungan Mn yang ditemukan di dalam jaringan akar cukup tinggi. Tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada tanah gambut terdegradasi memiliki kandungan Mn sebesar 79,90 ppm di dalam jaringan akarnya. Ketika diberi pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP kandungan Mn di dalam jaringan akarnya meningkat menjadi 154,20 ppm, 170,58 ppm, dan 389,18 ppm. Media tanam SROP memiliki kandungan Mn tertinggi di dalam jaringan akar *M. leucadendra*, artinya dengan penambahan SROP ke dalam tanah, tanaman *M. leucadendra* dapat menyerap lebih banyak logam Mn ke dalam jaringan akarnya. Akan tetapi apabila akar tanaman memiliki kandungan Mn melebihi batas kritisnya akan menyebabkan terjadinya fitotoksisitas yang dapat menghambat pertumbuhan akar dan menurunkan berat kering jaringan akar [57, 58].

Tabel 4.13 Kandungan Mn dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Mn (ppm)
1	K	79,90
2	CHI	154,20
3	AH	170,58
4	S	389,18



Gambar 4.20 Diagram Batang Kandungan Mn dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*



Gambar 4.21 Hubungan antara Kandungan Mn dalam Jaringan Akar dengan Berat Kering Jaringan Akar *M. leucadendra*

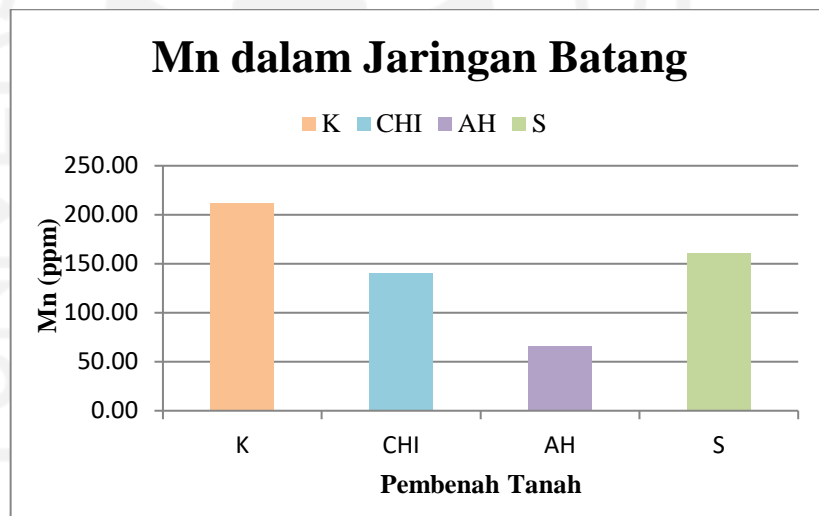
Pada kondisi tanah tanpa pembenah, tanaman *M. leucadendra* dapat menyerap logam Mn sebanyak 212,01 ppm ke dalam jaringan batangnya. Sedangkan pada media tanam chitosan, asam humat, dan SROP, tanaman *M. leucadendra* hanya menyerap logam Mn sebesar 139,94 ppm, 65,39 ppm, dan 160,36 ppm ke dalam jaringan batangnya. Hal tersebut menandakan bahwa pada kondisi umumnya, tanaman *M. leucadendra* akan lebih banyak menyerap logam Mn ke dalam jaringan batang. Akan

tetapi, dengan adanya tambahan pembenah tanah, tanaman *M. leucadendra* akan menyerap logam Mn lebih banyak pada jaringan akar.

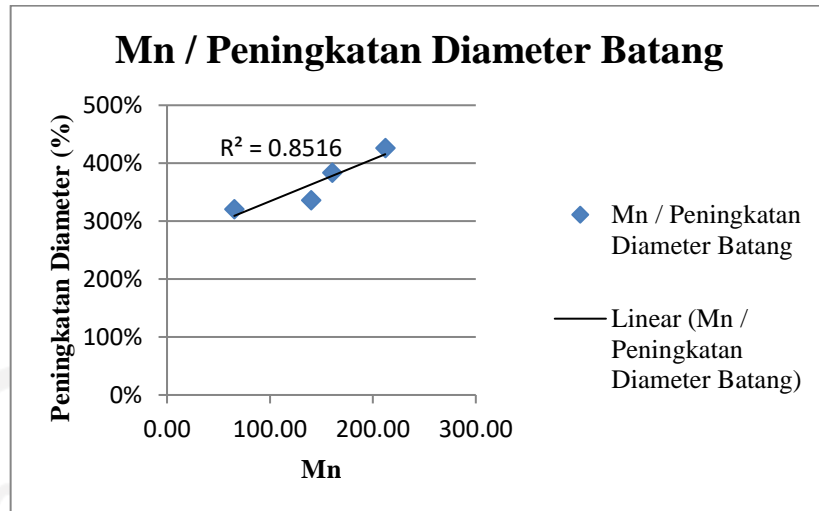
Kandungan Mn di dalam jaringan batang *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam chitosan, asam humat, dan SROP tergolong kecil tetapi tidak di bawah batas kritisnya. Walau begitu, kurangnya kandungan Mn di dalam jaringan batang dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan pertumbuhan diameter batang tanaman terhambat [58].

Tabel 4.14 Kandungan Mn dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Mn (ppm)
1	K	212,01
2	CHI	139,94
3	AH	65,39
4	S	160,36



Gambar 4.22 Diagram Batang Kandungan Mn dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*



Gambar 4.23 Hubungan antara Kandungan Mn dalam Jaringan Batang dengan Peningkatan Ukuran Diameter *M. leucadendra*

Dari data kandungan logam Mn di dalam jaringan akar dan jaringan batang *M. leucadendra*, dapat diketahui bahwa proses fitoremediasi atau penyerapan logam Mn pada tanaman *M. leucadendra* akan terjadi secara maksimal pada jaringan batangnya. Namun dengan penambahan bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, maupun SROP, proses fitoremediasinya akan dimaksimalkan pada jaringan akar tanaman *M. leucadendra*.

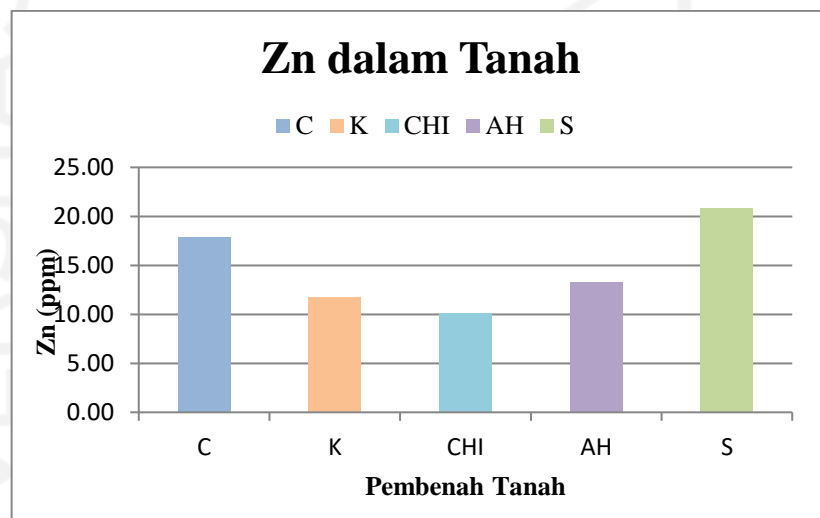
4.3.5 Logam Zn

Batas kritis kandungan logam Zn di dalam tanah yakni 20 – 62 ppm, artinya apabila di bawah 20 ppm dapat menyebabkan tanaman mengalami defisiensi dan apabila di atas 62 ppm dapat menimbulkan efek toksik pada tanaman [48, 50]. Kandungan Zn pada tanah awal berada di bawah batas kritis yakni 17,92 ppm. Setelah ditanami *M. leucadendra*, kandungan Zn di dalam tanah semakin kecil yaitu 11,77 ppm. Kandungan Zn di dalam tanah juga mengalami penurunan ketika diberi bahan pembenah tanah chitosan dan asam humat. Penurunan tertinggi berada pada media tanam chitosan dengan kandungan Zn di dalamnya sebesar 10,17 ppm. Pada media tanam asam humat, kandungan Zn berada pada angka 13,24 ppm.

Dan kandungan Zn mengalami kenaikan pada media tanam SROP yaitu sebesar 20,88 ppm.

Tabel 4.15 Kandungan Zn dalam Tanah

No	Kode Sampel	Zn (ppm)
1	C	17,92
2	K	11,77
3	CHI	10,17
4	AH	13,24
5	S	20,88



Gambar 4.24 Diagram Batang Kandungan Zn dalam Tanah

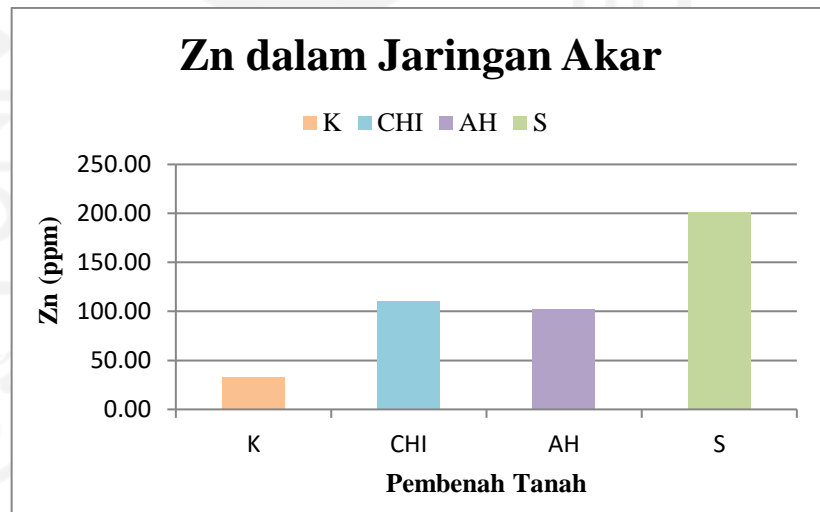
Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.16**, kandungan Zn di dalam jaringan akar lebih besar dibandingkan di dalam tanah. Pada jaringan akar tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam kontrol terdapat logam Zn sebesar 32,98 ppm. Kandungan tersebut tidak berada di bawah batas kritis maupun di atas batas kritis. Sedangkan jaringan akar tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam chitosan dan SROP memiliki kandungan logam Zn di atas batas kritis yaitu sebesar 110,52 ppm dan 201,10 ppm. Tidak berbeda jauh dengan media tanam chitosan, media tanam asam humat membantu penyerapan logam pada akar tanaman *M. leucadendra* sehingga terdapat kandungan Zn sebesar 102,78 ppm. Apabila tidak dibandingkan dengan batas kritis, media tanam SROP

memiliki kemampuan yang baik dalam membantu penyerapan logam Zn pada jaringan akar tanaman. Akan tetapi, apabila dibandingkan dengan batas kritis, media tanam asam humat yang paling baik, karena selain membantu penyerapan logam Zn ke dalam jaringan akar, media tanam asam humat juga tidak melewati batas kritisnya.

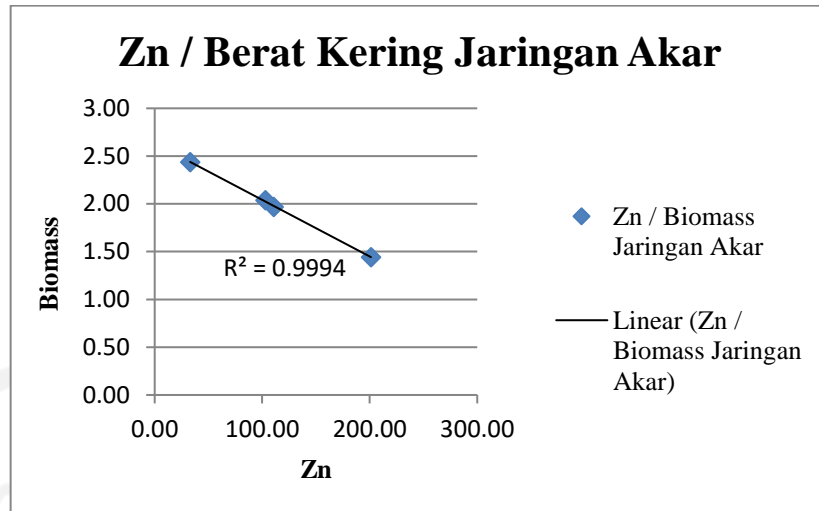
Logam Zn yang berlebih pada jaringan akar akan menimbulkan dampak negatif yang tidak jauh berbeda dengan logam Mn. Kandungan Zn yang berlebih akan menyebabkan penurunan biomassa atau berat kering jaringan akar yang mengakibatkan terhambatnya penyerapan air serta nutrisi untuk tanaman [59, 60].

Tabel 4.16 Kandungan Zn dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Zn (ppm)
1	K	32,98
2	CHI	110,52
3	AH	102,78
4	S	201,10



Gambar 4.25 Diagram Batang Kandungan Zn dalam Jaringan Akar *M. leucadendra*



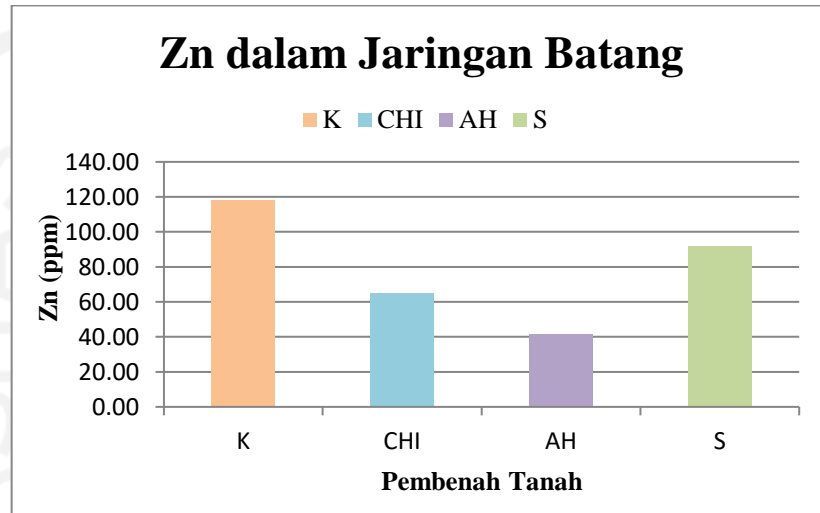
Gambar 4.26 Hubungan antara Kandungan Zn dalam Jaringan Akar dengan Berat Kering Jaringan Akar *M. leucadendra*

Tabel 4.17 dan **Gambar 4.27** menunjukkan bahwa tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam kontrol mampu menyerap logam Zn ke dalam jaringan batang paling tinggi dibandingkan dengan media tanam lainnya yaitu sebesar 118,28 ppm. Akan tetapi, kandungan tersebut sedikit melebihi batas kritis. Tanaman *M. leucadendra* yang ditanam pada media tanam chitosan, asam humat, dan SROP menunjukkan angka penyerapan logam Zn ke dalam jaringan batang yang jauh lebih kecil dibandingkan media tanam kontrol. Media tanam chitosan, asam humat, dan SROP membantu tanaman *M. leucadendra* menyerap logam Zn sebesar 64,99 ppm, 41,59 ppm, dan 91,79 ppm ke dalam jaringan batang. Kandungan tersebut menandakan bahwa bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, dan SROP memaksimalkan penyerapan logam Zn dilakukan pada jaringan akar.

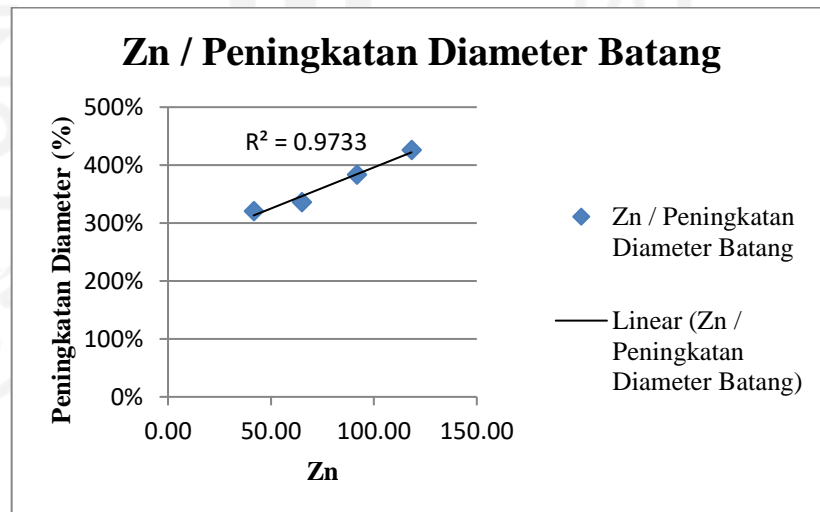
Kecilnya kandungan Zn di dalam jaringan batang dapat menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman *M. leucadendra*. Pada umumnya, tanaman membutuhkan 50 ppm Zn untuk pertumbuhan. Apabila kebutuhan tersebut tidak terpenuhi, tanaman dapat tumbuh dengan lambat atau memiliki diameter batang yang kecil [61].

Tabel 4.17 Kandungan Zn dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*

No	Kode Sampel	Zn (ppm)
1	K	118,28
2	CHI	64,99
3	AH	41,59
4	S	91,79



Gambar 4.27 Diagram Batang Kandungan Zn dalam Jaringan Batang *M. leucadendra*



Gambar 4.28 Hubungan antara Kandungan Zn dalam Jaringan Batang dengan Peningkatan Ukuran Diameter *M. leucadendra*

Sama seperti pada pembahasan logam Mn, proses fitoremediasi atau penyerapan logam Zn pada tanaman *M. leucadendra* akan terjadi secara maksimal pada jaringan batangnya. Namun dengan penambahan bahan pembenah tanah chitosan, asam humat, maupun SROP, proses fitoremediasinya akan dimaksimalkan pada jaringan akar tanaman *M. leucadendra*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Chitosan dan asam humat sebagai pembenah tanah terbukti mampu membantu pertumbuhan tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi. Chitosan membantu pertumbuhan tinggi tanaman hingga mencapai 415% dari tinggi awal. Sedangkan asam humat membantu meningkatkan jumlah daun serta berat kering jaringan batang.
2. Chitosan dan SROP sebagai pembenah tanah terbukti mampu membantu penyerapan logam berat Fe, Mn, dan Zn oleh tanaman *M. leucadendra* pada tanah gambut terdegradasi. Chitosan membantu jaringan akar dan jaringan batang menyerap logam Fe sebesar 426,35 dan 385,65 ppm. Sedangkan SROP membantu jaringan akar menyerap logam Mn dan Zn sebesar 389,18 dan 201,10 ppm. Selain itu, chitosan juga membantu meningkatkan pH H₂O tanah hingga mencapai 4,999 serta berhasil menurunkan kadar P-tersedia di dalam tanah.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian kandungan bahan pembenah tanah yang digunakan agar mendapatkan takaran yang sesuai dengan kebutuhan.
2. Melakukan pengujian kandungan P di dalam jaringan akar supaya lebih jelas dalam menganalisis data.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan bahan pembenah tanah yang dapat digunakan dalam membantu penyerapan logam pada tanah gambut terdegradasi, sehingga selanjutnya dapat diterapkan pada lahan gambut terbuka.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noor, Muhammad, dkk. 2016. *Pembentukan dan Karakteristik Gambut Tropika Indonesia dalam Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- [2] Dariah, Ali dan Maswar. 2016. *Isu Lingkungan Gambut Tropika Indonesia dalam Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- [3] Wasis, Basuki. 2013. *Dampak Kebakaran Gambut terhadap Ketersediaan Unsur Hara dan Keracunan Unsur Hara Mikro di Kawasan Pertanian, Lokasi PU VI Desa Kuala Satong, Kecamatan Matan Hilir Utara, Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat*. Makalah Paparan/Ekspose di Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat (Disempurnakan Pada Juli 2020).
- [4] Haryono, P. dan Catur Puspawati. 2018. *Penyehatan Tanah*. Jakarta: Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan.
- [5] Prabakaran, K, dkk. 2019. *Managing Environmental Contamination Through Phytoremediation by Invasive Plants: A Review*. Ecological Engineering, Volume 138, Pg: 28 – 37.
- [6] Malau, Ruth Saurmaria dan Wani Hadi Utomo. 2017. *Kajian Sifat Fisik Tanah pada Berbagai Umur Tanaman Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) di Lahan Bekas Tambang Batubara PT Bukit Asam (Persero)*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, Volume 4 Nomor 2, Pg: 525 – 531.
- [7] Dariah, Ai, dkk. 2015. *Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanian*. Jurnal Sumberdaya Lahan, Volume 9 Nomor 2, Pg: 67 – 84.

- [8] Bayat, Hassan, dkk. 2021. *Comparative Effects of Humic and Fulvic Acids as Biostimulants on Growth, Antioxidant Activity and Nutrient Content of Yarrow (Achillea millefolium L.)*. Scientia Horticulturae, Volume 279.
- [9] Xu, Miaomiao, dkk. 2020. *Evaluation of Ferrihydrite-Humic Acid Coprecipitate as Amendment to Remediate a Cd- and Pb-Contaminated Soil*. Geoderma, Volume 361.
- [10] Dariah, Ai, dkk. 2014. *Karakteristik Lahan Gambut dalam Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- [11] Wahyunto, dkk. 2016. *Perkembangan Pemetaan dan Distribusi Lahan Gambut di Indonesia dalam Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- [12] Rachmanadi, Dony, dkk. 2021. *Pengaruh Genangan dan Kompetisi Cahaya terhadap Tingkat Keberhasilan Penanaman pada Hutan Rawa Gambut Terdegradasi*. Jurnal Galam, Volume 1 Nomor 2, Pg: 123 – 140.
- [13] Sukarman. 2014. *Pembentukan, Sebaran dan Kesesuaian Lahan Gambut Indonesia dalam Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- [14] Sabiham, Supiandi dan Maswar. 2016. *Strategi Pengelolaan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Pertanian Berkelanjutan: Landasan Ilmiah dalam Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- [15] Rachmanadi, Dony, dkk. 2017. *Karakteristik Kerusakan Hutan Rawa Gambut Tropis Terdegradasi di Kalimantan Tengah*. Jurnal Hutan Tropis, Volume 5 Nomor 2, Pg: 99 – 112.
- [16] Novitasari, dkk. 2018. *Pengaruh Karakteristik Gambut Terdegradasi terhadap Kebakaran Lahan Gambut (Studi Kasus Lahan Gambut PLG Blok A*

- di Kalimantan Tengah). Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, Volume 3 Nomor 2, Pg: 347-351.
- [17] Muyassaroh. 2016. *Distilasi Daun Kayu Putih dengan Variasi Tekanan Operasi dan Kekeringan Bahan untuk Mengoptimalkan Kadar Sineol dalam Minyak Kayu Putih*. Jurnal Teknik Kimia, Volume 10 Nomor 2, Pg: 36 – 40.
- [18] Kartikawati, Noor Khomsah, dkk. 2014. *Budidaya dan Prospek Pengembangan Kayuputih (Melaleuca cajuputi)*. Bogor: IPB Press.
- [19] Marizka, Zahra. 2020. *Keanekaragaman Fungi Mikoriza Vesikular-Arbuskular di Bawah Tegakan Kayu Putih (Melaleuca leucadendra (L.) L.) di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Kemampo*. Skripsi. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- [20] Tran, Da B., dkk. 2012. *An Assessment of Potential Responses of Melaleuca Genus to Global Climate Change*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Volume 18, Pg: 851 – 867.
- [21] Sadono, Ronggo, dkk. 2019. *Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Tanaman Kayu Putih dan Implikasinya Terhadap Teknik Silvikultur*. Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Volume 10 Nomor 1, Pg: 43 – 51.
- [22] Juarsah, Ishak, dkk. 2018. *Kajian Pemanfaatan Pembenh Tanah untuk Pertanian Berkelanjutan Pada Lahan Sawah Sub Optimal di Propinsi Lampung*. Jurnal Wacana Pertanian, Volume 14 Nomor 1, Pg: 1 – 9.
- [23] Luta, Devi Andriani, dkk. 2020. *Peran Aplikasi Pembenh Tanah Terhadap Sifat Kimia Tanah Pada Tanaman Bawang Merah*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, Volume 7 Nomor 1, Pg: 121 – 125.
- [24] Sharif, Rahat, dkk. 2018. *The Multifunctional Role of Chitosan in Horticultural Crops; A Review*. Molecules, Volume 23.
- [25] Pratiwi, Rianta. 2014. *Manfaat Kitin dan Kitosan bagi Kehidupan Manusia*. Jurnal Oseana, Volume 39 Nomor 1, Pg: 35 – 43.

- [26] Malerba, Massimo and Raffaella Cerana. 2016. *Chitosan Effects on Plant Systems*. International Journal of Molecular Sciences, Volume 17.
- [27] Agustini, Verena, dkk. 2020. *Peran Chitosan sebagai Pemacu Pertumbuhan Kultur Anggrek Dendrobium lasianthera J.J.Sm. Secara In Vitro*. Jurnal Biologi Papua, Volume 12 Nomor 1, Pg: 43 – 49.
- [28] Malerba, Massimo and Raffaella Cerana. 2020. *Chitin- and Chitosan-Based Derivatives in Plant Protection against Biotic and Abiotic Stresses and in Recovery of Contaminated Soil and Water*. Polysaccharides, Volume 1, Pg: 21 – 30.
- [29] Arabyarmohammadi, Hoda, dkk. 2017. *Utilization of a Novel Chitosan/Clay/Biochar Nanobiocomposite for Immobilization of Heavy Metals in Acid Soil Environment*. J Polym Environ, Volume 26, Pg: 2107 – 2119.
- [30] Tripathi, Nimisha, dkk. 2016. *Evaluation of Modified Chitosan for Remediation of Zinc Contaminated Soils*. Journal of Geochemical Exploration.
- [31] Santosa, Sri Juari, dkk. 2014. *Dekontaminasi Ion Logam dengan Biosorben Berbasis Asam Humat, Kitin dan Kitosan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [32] Melo, B., dkk. 2016. *Humic Acids: Structural Properties and Multiple Functionalities for Novel Technological Developments*. Materials Science and Engineering C, Volume 62, Pg: 967 – 974.
- [33] Yang, Ting dan Mark E. Hodson. 2019. *Investigating the Use of Synthetic Humic-Like Acid as a Soil Washing Treatment for Metal Contaminated Soil*. Science of the Total Environment, Volume 647, Pg: 290 – 300.
- [34] Firda, dkk. 2016. *Pembentukan, Karakterisasi serta Manfaat Asam Humat terhadap Adsorpsi Logam Berat (Review)*. Soilrens, Volume 14 Nomor 2, Pg: 9 – 13.

- [35] Buhani dan Suharso. 2006. *The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu(II), Zn(II), Mn(II), and Fe(II) on Humic Acid*. Indonesian Journal of Chemistry, Volume 6 Nomor 1, Pg: 43 – 46.
- [36] Rong, Qun, dkk. 2020. *Humic Acid Reduces the Available Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Soil and Their Uptake by Tobacco*. Applied Sciences, Volume 10.
- [37] Rahmandhias, Deris Trian dan Diah Rachmawati. 2020. *Pengaruh Asam Humat terhadap Produktivitas dan Serapan Nitrogen pada Tanaman Kangkung Darat (Ipomoea reptans Poir.)*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI), Volume 25 Nomor 2, Pg: 316 – 322.
- [38] Wahyuningsih, dkk. 2016. *Serapan Fosfor dan Pertumbuhan Kedelai (Glycine max) pada Tanah Ultisol dengan Pemberian Asam Humat*. Biosfera, Volume 33 Nomor 2, Pg: 66 – 70.
- [39] Suwahyono, Untung. 2011. *Prospek Teknologi Remediasi Lahan Kritis dengan Asam Humat (Humic Acid)*. Jurnal Teknik Lingkungan, Volume 12 Nomor 1, Pg: 55 – 65.
- [40] Riyandi, dkk. 2020. *Pengaruh Pemberian Asam Humat pada Media Tanam terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Polifenol Daun Binahong (Anredera cordifolia)*. BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed, Volume 2 Nomor 2, Pg: 243 – 247.
- [41] Kuncaka, Agus. 2015. *Humus Sintetis/Pupuk Srop sebagai Mesin Penjerap Carbon (Modeling Adsorpsi Glukosa)*. Proceeding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Pascasarjana, PPS UNDIP.
- [42] Kuncaka, Agus, dkk. 2018. *Synthetic Humus (Slow Release of Organic Paramagnetic Fertilizer) as The Best Alternative of Overcome Food Crisis Caused by World Population Explosion*. The 7th International Conference of The Indonesian Chemical Society (ICICS) 2018.

- [43] Agus, Cahyono, dkk. 2019. *Role of Organic Soil Amendment of Paramagnetic Humus and Compost for Rehabilitation of Post Tin-Mined Tropical Land*. International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Volume 8 Nomor 5, Pg: 556 – 561.
- [44] Agus, Cahyono, dkk. 2019. *Environmental Site Engineering and Integrated Bio-Cycles Management for Rehabilitation of Degraded Tin Mining Land in Tropical Ecosystem*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 398 (2019).
- [45] Agus, Cahyono, dkk. 2020. *Paramagnetic Humus and Callophyllum inophyllum for Rehabilitation of Tropical Anthropogenic Deserted Tin-Mined Soil*. International Journal of Advanced Science and Technology, Volume 29 Nomor 7, Pg: 2931 – 2941.
- [46] Wibisono, Iwan Tri Cahyo, dkk. 2005. *Panduan Rehabilitasi dan Teknik Silvikultur di Lahan Gambut*. Bogor: Wetlands International – Indonesia Programme.
- [47] Eviati dan Sulaeman. 2009. *Petunjuk Teknis Edisi 2: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- [48] Schulze, Ernst-Detlef, dkk. 2019. *Plant Ecology*. Heidelberg: Springer.
- [49] Reichman, S.M., dkk. 2004. *Seedling Responses of Four Australian Tree Species to Toxic Concentrations of Manganese in Solution Culture*. Plant and Soil 258, Pg: 341 – 350.
- [50] Vries, W., dkk. 2012. *Critical Loads of Heavy Metals for Soils dalam Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability*. Heidelberg: Springer.
- [51] Reichman, S.M., dkk. 2001. *Seedling Responses of Three Australian Tree Species to Toxic Concentrations of Zinc in Solution Culture*. Plant and Soil 235, Pg: 151 – 158.

- [52] Tuah, Nasib, dkk. 2017. *Penghitungan Biomassa dan Karbon di atas Permukaan Tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kab Kampar*. JOM Faperta UR, Volume 4 Nomor 1.
- [53] Penn, Chad J dan James J. Camberato. 2019. *A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants*. Agriculture, Volume 9 Nomor 6.
- [54] Čapka, Darija, dkk. 2009. *Determination of Soil pH in Dominant Soil Types in the Republic of Croatia*. Agriculturae Conspectus Scientificus, Volume 74 Nomor 1, Pg: 13 – 19.
- [55] Effendi, Muhammad Ikhsan, dkk. 2015. *Pengaruh Toksisitas Besi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Biomassa Pada Tiga Klon Tanaman Nanas*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, Volume 2 Nomor 2, Pg: 179 – 189.
- [56] Noor, Aidi, dkk. 2012. *Pengaruh Konsentrasi Besi dalam Larutan Hara terhadap Gejala Keracunan Besi dan Pertumbuhan Tanaman Padi*. Jurnal Agronomi Indonesia, Volume 40 Nomor 2, Pg: 91 – 98.
- [57] Li, Ping, dkk. 2012. *Silicon Ameliorates Manganese Toxicity by Regulating Manganese Transport and Antioxidant Reactions in Rice (Oryza sativa L.)*. Plant Soil, Volume 354, Pg: 407 – 419.
- [58] Santos, Elcio Ferreira, dkk. 2017. *Physiological Highlights of Manganese Toxicity Symptoms in Soybean Plants: Mn Toxicity Responses*. Plant Physiology and Biochemistry, Volume 13, Pg: 6 – 19.
- [59] Tsonev, Tsonko dan Fernando Jose Cebola Lidon. 2012. *Zinc in Plants – An Overview*. Emirates Journal of Food and Agriculture, Volume 24 Nomor 4, Pg: 322 – 333.
- [60] Williams, Stephanie J. Watts dan Stephen D. Tyerman. 2017. *The Dual Benefit of Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Soil Zinc Deficiency and Toxicity: Linking Plant Physiology and Gene Expression*. Plant and Soil, Volume 420, Pg: 375 – 388.

- [61] Hafeez, B., dkk. 2013. *Role of Zinc in Plant Nutrition – A Review*. American Journal of Experimental Agriculture, Volume 3 Nomor 2, Pg: 374 – 391.



LAMPIRAN

Lampiran 1 : Alat yang digunakan pada penelitian

No	Alat	Kegunaan dalam Penelitian
1	Polybag	Sebagai wadah bagi media tanam dan tanaman
2	Meteran	Alat ukur tinggi tanaman
3	<i>Caliper digital</i>	Alat ukur diameter batang
4	Gunting dahan	Alat pemotong jaringan akar dan jaringan batang
5	Timbangan analitik	Alat ukur berat basah dan berat kering jaringan tanaman, alat ukur berat sampel yang digunakan, serta alat ukur berat bahan kimia yang digunakan
6	Oven	Mengeringkan sampel tanaman untuk mengetahui berat keringnya
7	Blender	Penghalus jaringan tanaman agar dapat diayak
8	Ayakan 50 mesh	Penghalus sampel tanah dan jaringan tanaman agar mempermudah pengujian
9	Sendok sungsu	Alat untuk mengambil sampel dan bahan yang akan ditimbang
10	Kaca arloji	Sebagai wadah untuk menimbang sampel dan bahan yang akan digunakan
11	Plastik klip	Sebagai wadah untuk sampel setelah dihaluskan dan ditimbang
12	Erlenmeyer 250 mL	Sebagai wadah untuk mencampur dan menampung larutan
13	Gelas beaker 250 mL	Sebagai wadah untuk mencampur dan menampung larutan
14	pH meter	Alat pengukur pH tanah
15	Shaker	Alat untuk menghomogenkan larutan
16	Labu ukur 1 L	Sebagai wadah untuk pengenceran dalam jumlah yang besar
17	Piper ukur 5 mL	Alat untuk mengambil larutan dengan volume tertentu

18	Pipet ukur 10 mL	Alat untuk mengambil larutan dengan volume tertentu
19	Corong kaca	Sebagai penahan kertas saring dan mempermudah larutan masuk ke dalam labu ukur maupun erlenmeyer
20	Tabung reaksi	Sebagai wadah untuk mencampur dan menampung larutan sebelum diujikan
21	Rak tabung reaksi	Alat untuk meletakkan tabung reaksi
22	Spektrofotometer	Pembaca absorbansi untuk pengujian unsur hara P
23	Kuvet	Sebagai wadah blanko dan sampel yang akan diuji menggunakan spektrofotometer
24	Gelas beaker 100 mL	Sebagai wadah untuk mencampur dan menampung larutan pada saat destruksi
25	Aluminium foil	Penutup gelas beaker saat sampel ditinggal selama satu malam sebelum destruksi
26	Kompur listrik	Alat untuk memanaskan larutan pada tahap destruksi
27	Labu ukur 25 mL	Sebagai wadah untuk pengenceran 25 kali
28	Labu ukur 10 mL	Sebagai wadah untuk pengenceran 10 kali
29	Botol vial	Sebagai wadah sampel yang akan diuji menggunakan AAS
30	AAS	Alat yang digunakan untuk pembacaan unsur-unsur logam pada tanah dan jaringan tanaman

Lampiran 2 : Bahan yang digunakan pada penelitian

No	Bahan	Kegunaan dalam Penelitian
1	Bibit <i>M. leucadendra</i>	Sebagai vegetasi penguji dalam penelitian
2	Tanah gambut terdegradasi	Sebagai media tanam dan media yang diujikan
3	Chitosan	Sebagai bahan pembenah tanah yang diujikan
4	Asam humat	Sebagai bahan pembenah tanah yang diujikan
5	SROP	Sebagai bahan pembenah tanah yang diujikan
6	Aquadest	Sebagai pelarut dan pengencer larutan
7	KCl	Sebagai pereaksi dalam pengujian pH KCl
8	NH ₄ F	Sebagai pembentuk pengestrak Bray dan Kurts I
9	HCl 5 N	Sebagai pembentuk pengestrak Bray dan Kurts I
10	Ammonium molybdate	Sebagai pembentuk pereaksi P pekat
11	Antimony potassium tartrate	Sebagai pembentuk pereaksi P pekat
12	H ₂ SO ₄ pekat	Sebagai pembentuk pereaksi P pekat
13	Asam askorbat	Sebagai pembentuk pereaksi pewarna P
14	Kertas saring Whatman no.42	Sebagai penyaring agar tidak terdapat sedimen atau bahan pengotor lain di dalam larutan yang diujikan
15	HNO ₃	Sebagai pelarut saat destruksi agar unsur-unsur logam dapat terbaca saat pengujian AAS
16	HClO ₄	Sebagai pelarut saat destruksi agar unsur-unsur logam dapat terbaca saat pengujian AAS

Lampiran 3 : Langkah Pengujian Sampel

A. Preparasi Sampel Tanah

1. Sampel tanah dari masing-masing perlakuan (K, CHI, AH, dan S) dikering anginkan sampai tidak lembab.
2. Tanah digerus dan diayak menggunakan ayakan 50 mesh.
3. Tanah yang telah diayak dimasukkan ke dalam plastik klip.

B. Preparasi Sampel Jaringan Tanaman

1. Sampel jaringan tanaman dari masing-masing perlakuan dipotong menjadi dua bagian yakni jaringan akar dan jaringan batang.
2. Jaringan akar dan jaringan batang ditimbang berat basahanya menggunakan timbangan analitik.
3. Jaringan akar dan batang dikering anginkan sampai tidak lembab kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 70°C selama 72 jam.
4. Sampel jaringan akar dan jaringan batang yang telah dioven selanjutnya ditimbang berat keringnya menggunakan timbangan analitik.
5. Setelah ditimbang, sampel jaringan tanaman dihaluskan menggunakan blender.
6. Sampel jaringan tanaman digerus dan diayak menggunakan ayakan 50 mesh.
7. Sampel yang telah diayak dimasukkan ke dalam plastik klip.

C. Pengujian pH Tanah

1. Sampel tanah diambil 10 gram dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL atau gelas beaker 250 mL.
2. Kemudian ditambahkan 50 mL aquadest untuk pengujian pH H₂O dan 50 mL KCl untuk pengujian pH KCl.
3. Kocok dengan *shaker* selama 30 menit.
4. Sampel kemudian diukur menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan *buffer* pH 7,0 dan pH 4,0.

D. Pengujian P-tersedia Tanah Menggunakan Metode Bray

1. Sebanyak 1,11 gram NH_4F dilarutkan dengan aquadest 600 mL kemudian ditambahkan 5 mL HCl 5 N, selanjutnya diencerkan sampai 1 L. Campuran ini merupakan larutan pengekstrak Bray dan Kurts I.
2. Larutkan 12 gram ammonium molybdate dengan 100 mL aquadest dalam labu ukur 1 L. Tambahkan 0,277 gram antimony potassium tartrate dan 140 mL H_2SO_4 pekat secara perlahan. Selanjutnya diencerkan sampai 1 L. Campuran ini merupakan pereaksi P pekat.
3. Campurkan 1,06 gram asam askorbat dan 100 mL pereaksi P pekat, kemudian jadikan 1 L dengan aquadest. Campuran ini merupakan pereaksi pewarna P yang hanya bertahan selama 3 jam.
4. Setelah pereaksi selesai disiapkan, campurkan 2,5 gram sampel tanah dengan 25 mL pengekstrak Bray dan Kurts I. Kemudian kocok selama 5 menit.
5. Saring dengan kertas saring Whatman no.42 selama 5 menit.
6. Sampel tanah yang telah disaring dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 2 mL.
7. Tambahkan pereaksi pewarna P sebanyak 10 mL, selanjutnya kocok dan biarkan selama 30 menit.
8. Sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 693 nm.

E. Pengujian P Jaringan Batang

1. Sampel jaringan batang sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 5 mL HNO_3 serta 0,5 mL HClO_4 . Diamkan selama satu malam.
2. Sampel didestruksi di dalam lemari asam selama kurang lebih 2 jam pada suhu 100 – 200°C sampai tersisa 0,5 mL.
3. Saring hasil destruksi yang telah dingin menggunakan kertas saring Whatman no.42.
4. Ekstrak diencerkan dengan aquadest sampai tanda batas di dalam labu ukur ukuran 25 mL lalu dikocok hingga homogen.
5. Ambil 1 mL ekstrak dan tambahkan aquadest 9 mL (pengenceran 10 kali).

6. Ambil 2 mL ekstrak encer, masukkan ke dalam tabung reaksi dan tambahkan 10 mL pereaksi pewarna P.
7. Kocok tabung reaksi dan biarkan selama 30 menit.
8. Ukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm.

F. Pengujian Logam Berat Fe, Mn, dan Zn Tanah Menggunakan AAS

1. Sampel tanah sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker kemudian dicampurkan dengan 50 mL aquadest.
2. Tambahkan 5 mL HNO₃ dan lakukan destruksi di dalam lemari asam sampai tersisa 10 mL.
3. Saring hasil destruksi yang telah dingin menggunakan kertas saring Whatman no.42.
4. Encerkan ekstrak dengan menambahkan aquadest sampai tanda batas di dalam labu ukur 25 mL lalu dikocok hingga homogen.
5. Masukkan ke dalam botol vial dan dilakukan pengujian menggunakan AAS.

G. Pengujian Logam Berat Fe, Mn, dan Zn Jaringan Tanaman

1. Sampel jaringan tanaman sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 5 mL HNO₃ serta 0,5 mL HClO₄. Diamkan selama satu malam.
2. Sampel didestruksi di dalam lemari asam selama kurang lebih 2 jam pada suhu 100 – 200°C sampai tersisa 0,5 mL.
3. Saring hasil destruksi yang telah dingin menggunakan kertas saring Whatman no.42.
4. Ekstrak diencerkan dengan aquadest sampai tanda batas di dalam labu ukur ukuran 25 mL lalu dikocok hingga homogen.
5. Masukkan ke dalam botol vial dan dilakukan pengujian menggunakan AAS.

Lampiran 4 : Dokumentasi



Bibit *M. leucadendra* sebelum ditanam pada tanah gambut terdegradasi



Pencampuran bahan pembenah tanah dengan tanah gambut terdegradasi



Pencampuran bahan pembenah tanah dengan tanah gambut terdegradasi



Penanaman *M. leucadendra* pada media tanam



Pemanenan *M. leucadendra* sebelum dipisahkan antara tanah dengan jaringan tanamannya



Jaringan tanaman *M. leucadendra* saat dipanen



Pengujian pH tanah menggunakan pH meter



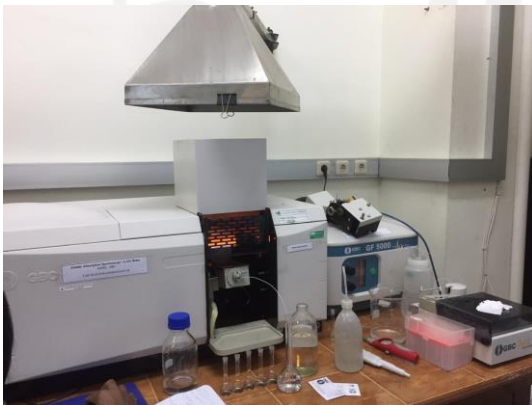
Sampel pengujian unsur hara makro P sebelum dimasukkan ke dalam kuvet



Destruksi sampel tanah di dalam lemari asam



Penyaringan ekstrak hasil destruksi dengan kertas saring Whatman



Pembacaan larutan standar pada AAS



Pengujian sampel dengan AAS

RIWAYAT HIDUP

Penulis dengan nama Annisa Dwi Candra Ramadhani atau yang biasa dipanggil Annisa merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Asmu'i dan Ibu Trianita Yuwanti yang lahir di Yogyakarta pada tanggal 3 Januari 1998. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan selama 12 tahun sebelum akhirnya masuk ke Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Jenjang pendidikan yang telah dilalui penulis yakni sekolah dasar di SD Muhammadiyah Sokonandi (2004-2010), sekolah menengah pertama di SMP Negeri 4 Yogyakarta (2010-2013), dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 9 Yogyakarta (2013-2016).

Selain berkuliah, penulis juga aktif mengikuti aktivitas kepanitiaan di berbagai macam acara seperti Enviro Gathering, Enviro Champions, Lintas Lingkungan, dan Pekan Ta'aruf. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan organisasi mahasiswa dengan menjabat sebagai *staff* Bidang Sosial Masyarakat Lembaga Eksekutif Mahasiswa pada periode 2018/2019.

Pada Oktober 2021, penulis berkesempatan untuk belajar dan ikut serta dalam penelitian yang digagaskan oleh Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.. Penelitian tersebut dilaksanakan di rumah kaca milik Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang kemudian digunakan untuk menyelesaikan studi penulis di program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.