

TA/TL/2022/1423

TUGAS AKHIR

**POTENSI BAKTERI ENDOFIT DENGAN BAHAN
PEMBENAH TANAH UNTUK RESTORASI LAHAN GAMBUT
TERBAKAR : PERCOBAAN SKALA RUMAH KACA**

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



**INDAH FATHIKASARI
17513020**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR
POTENSI BAKTERI ENDOFIT DENGAN BAHAN
PEMBENAH TANAH UNTUK RESTORASI LAHAN GAMBUT
TERBAKAR : PERCOBAAN SKALA RUMAH KACA

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



INDAH FATHIKASARI
17513020

Disetujui,
Dosen Pembimbing

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

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

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D
NIK. 025100406
Tanggal: 09 Februari 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**POTENSI BAKTERI ENDOFIT DENGAN BAHAN
PEMBENAH TANAH UNTUK RESTORASI LAHAN GAMBUT
TERBAKAR : PERCOBAAN SKALA RUMAH KACA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin
Tanggal : 24 Januari 2022

Disusun Oleh:

**INDAH FATHIKASARI
17513020**

Tim Penguji :

Dr. Ir. Kasam, M.T.

()

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., PhD

()

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, 15 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,



Indah Fathikasari

NIM: 17513020

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan dengan judul **“Potensi Bakteri Endofit Dengan Bahan Pembenh Tanah Untuk Restorasi Lahan Gambut Terbakar : Percobaan Skala Rumah Kaca”** .

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah subhanahu wa ta'ala, yang karena berkat nikmat sehat, kekuatan, dan anugerahNya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas ini.
2. Keluarga penulis terutama orang tua dan kakak penulis yang selalu memberikan dukungan secara moril dan materil mulai dari perencanaan dan pelaksanaan penelitian hingga pada penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.Ir Kasam, M.T. sebagai dosen pembimbing I atas bimbingan dan arahan mulai dari perencanaan penelitian, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan dan memberi semangat dalam mengerjakan penelitian tugas akhir ini.
4. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., PhD. Sebagai dosen pembimbing II atas bimbingan dan arahan mulai dari dari perencanaan penelitian, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak dan Ibu laboran di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan atas dampingan dan bimbingannya selama melakukan penelitian di laboratorium.
6. Teman-teman yang turut membantu dalam penelitian ini team wetland dan team pot experiment atas kerja keras, kesetiaan, dan selalu memberi semangat.
7. Teman-teman Support System 24/7 dan Ruang Rindu yang selalu memberi dukungan, do'a, bahkan canda tawa yang dapat melepaskan penat dengan beban tugas akhir ini
8. Semua pihak yang telah membantu sampai pada saat ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi menjadikan laporan tugas kahir ini lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat dijadikan sebagai referensi penelitian berikutnya. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 15 November 2021

Indah Fathikasari



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

INDAH FATHIKASARI. Potensi Bakteri Endofit Dengan Bahan Pembena Tanah Untuk Restorasi Lahan Gambut Terbakar : Percobaan Skala Rumah Kaca. Dibimbing oleh Dr. Ir. Kasam, M.T. dan Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., PhD.

Kebakaran hutan merupakan salah satu faktor yang dapat berdampak pada berkurangnya unsur hara pada tanah gambut. Tanah gambut mengandung sejumlah kecil unsur hara akan tetapi pada kasus kebakaran lahan, unsur hara yang terkandung di dalam tanah gambut berkurang dan kandungan logam beratnya meningkat. Untuk itu diperlukan restorasi dengan mengembalikan kesuburan tanah. Penelitian skala rumah kaca dengan lahan gambut terbakar menggunakan bahan bakteri endofit dan bahan pembena tanah (kitosan, asam humat, dan *slow release organic paramagnetic*) terhadap tanaman *Melaleuca leucadendra* untuk pertimbangan restorasi. Metode restorasi yang digunakan yaitu bioremediasi. Metode analisa yang digunakan yaitu pendekatan standar error dan melihat kecenderungan dari pertumbuhan tanaman, reduksi logam (Fe, Mn, Zn), peningkatan pH, ketersediaan *phosphate*, dan penyerapan *phosphate* oleh tanaman. Berdasarkan penelitian didapat pertumbuhan tanaman dengan perlakuan kitosan dan endofit mampu meningkatkan biomassa tanaman, mengurangi konsentrasi Mn hingga 65% dan Zn hingga 60% , membantu meningkatkan pH aktual (H₂O) menjadi 4,8783, membantu meningkatkan pH KCl menjadi 3,0297 , meningkatkan serapan konsentrasi *phosphate* pada batang *Melaleuca leucadendra* hingga 0.024 %, dan menyediakan *phosphate* tersedia hingga 65,89 mg/kg.

Kata kunci: Asam Humat, Endofit, Kitosan, *Melaleuca leucadendra*, SROP

ABSTRACT

INDAH FATHIKASARI. Potential of Endophytic Bacteria Using Soil Amendment for Restoration of Fired Pealand: Greenhouse Scale Experiment
Supervised by Dr. Ir. Kasam, M.T. dan Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., PhD.

Forest fires are one of the factors that can have an impact on the reduction of nutrients in peat soils. Peat soil contains a small amount of nutrients but in the case of land fires, the nutrients contained in the peat soil are reduced and the heavy metal content is increased. For this reason, restoration is needed to restore soil fertility. Greenhouse-scale studies using endophytic bacteria and soil amendment (chitosan, humic acid, and slow release organic paramagnetic) from Melaleuca leucadendra have potential to restore fired peatland. The restoration method used is bioremediation. The analytical method used is a standard error approach and looks at the tendency of plant growth, metal reduction (Fe, Mn, Zn), increasing pH, availability of phosphate, and absorption of phosphate by plants. Based on research, plant growth by chitosan and endophytic bacteria treatment increases the plant biomass, reduces Mn 65% and Zn concentrations to 60% in fired peat soil, increase the actual pH (H₂O) to 4.8783, increase the potential pH (KCl) to 3.0297 and increase concentration phosphate on shoot Melaleuca leucadendra plants to 0.024%, and provide availability of phosphate up to 65.89 mg/kg.

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



DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
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 Lahan gambut dan restorasi lahan	5
2.2 <i>Melaleuca leucadendra</i> (Kayu Putih).....	6
2.3 Bakteri Endofit.....	7
2.4 Bahan Pembunuh Tanah.....	7
2.5 Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	12
3.2 Pengamatan dan Pengambilan Data Primer	12
3.3 Instrumen Penelitian	13
3.3.1 Alat.....	13
3.3.2 Bahan.....	15
3.4 Tahapan Penelitian.....	16
3.4.1 Karakterisasi kimiawi tanah	17
3.4.2 Persiapan Bibit Tanaman	17
3.4.3 Sub Kultur dan Inokulasi Bakteri Endofit.....	17

3.4.4	Persiapan Media Tanam dan Penanaman	20
3.4.5	Inokulasi Bakteri Endofit.....	21
3.4.6	Pemeliharaan Tanaman.....	22
3.4.7	Pemanenan	23
3.4.8	Analisa pH tanah.....	23
3.4.9	Analisa P tersedia (P_{2O5}) tanah dan P total jaringan tanaman	24
3.4.10	Analisa Logam Berat Jaringan dan Tanah	24
3.5	Prosedur Analisa Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Hasil Analisa Parameter Pertumbuhan <i>Melaleuca leucadendra</i>	26
4.1.1	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Tinggi Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	26
4.1.2	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Diameter Batang <i>Melaleuca leucadendra</i>	27
4.1.3	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Jumlah Daun <i>Melaleuca leucadendra</i>	28
4.1.4	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Biomassa Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	29
4.2	Hasil dan Analisa Pengujian pH Tanah.....	34
4.3	Hasil dan Analisa Pengujian Phosphate	35
4.3.1	Hasil dan Analisa pengujian P tersedia.....	35
4.3.2	Hasil dan Analisa Pengujian P Total pada Jaringan Batang	37
4.4	Hasil dan Analisa Pengujian Logam berat.....	38
4.4.1	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada serapan Fe Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	39
4.4.2	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada serapan Mn Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	42
4.4.3	Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada serapan Zn Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	45

BAB V SIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Simpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	67





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3. 1 karakteristik awal tanah gambut terbakar	17
Tabel 3. 2 Identifikasi Morfologi Bakteri Endofit	18
Tabel 3. 3 Populasi endofit yang diinjeksikan	21
Tabel 3. 4 Batas kritis logam berat pada tanah dan tanaman.....	25
Tabel 3. 5 Persyaratan unsur hara pada tanah dan tanaman.....	25





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Melaleuca leucadendra</i>	6
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	16
Gambar 3. 2 Morfologi Bakteri Endofit Bacillus.....	18
Gambar 3. 3 Tahapan Sub Kultur Bakteri Endofit.....	19
Gambar 3. 4 Tahapan inokulasi Bakteri Endofit.....	20
Gambar 3. 5 Penanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	21
Gambar 4. 1 Grafik Rerata Tinggi <i>Melaleuca leucadendra</i> dengan penambahan Endofit dan Pembenh Tanah.....	26
Gambar 4. 2 Grafik Rerata Diameter <i>Melaleuca leucadendra</i> dengan penambahan Endofit dan Pembenh Tanah.....	28
Gambar 4. 3 Grafik Rerata Jumlah Daun <i>Melaleuca leucadendra</i> dengan penambahan Endofit dan Bahan Pembenh.....	29
Gambar 4. 4 Grafik Rerata Berat Basah Jaringan Batang Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	30
Gambar 4. 5 Rerata Grafik Berat Basah Jaringan Akar Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	31
Gambar 4.6 Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Batang Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	32
Gambar 4. 7 Hubungan biomassa jaringan batang dengan jumlah daun.....	32
Gambar 4. 8 Hubungan biomassa jaringan batang dengan tinggi tanaman	33
Gambar 4. 9 Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Akar Tanaman <i>Melaleuca leucadendra</i>	33
Gambar 4. 10 Grafik Rerata pH H ₂ O (<i>aktual</i>) pada tanah awal dan perlakuan.....	34
Gambar 4. 11 Grafik Rerata pH KCl (<i>potensial</i>) pada tanah awal dan perlakuan.....	35

Gambar 4. 12	Grafik Kadar P tersedia di Tanah gambut terbakar awal dan sesudah perlakuan.....	36
Gambar 4. 13	Grafik Korelasi P tersedia dengan pH aktual Tanah.....	37
Gambar 4. 14	Grafik Kadar P total pada jaringan batang sesudah perlakuan	38
Gambar 4. 15	Grafik Konsentrasi logam Fe pada tanah gambut terbakar sebelum dan sesudah perlakuan.....	39
Gambar 4. 16	Grafik Korelasi logam Fe pada tanah dengan PH.....	40
Gambar 4. 17	Grafik Konsentrasi logam Fe Jaringan Batang	41
Gambar 4. 18	Grafik Konsentrasi logam Fe Jaringan Akar.....	41
Gambar 4. 19	Grafik Konsentrasi penurunan logam Mn di tanah.....	42
Gambar 4. 20	Grafik korelasi pH tanah dengan Mn.....	43
Gambar 4. 21	Grafik Konsentrasi logam Mn pada jaringan batang	44
Gambar 4. 22	Grafik Konsentrasi logam Mn pada jaringan Akar	44
Gambar 4. 23	Grafik Konsentrasi logam Zn pada tanah	45
Gambar 4. 24	Grafik Hubungan pH tanah dengan Zn Tanah	46
Gambar 4. 25	Grafik Konsentrasi logam Zn pada jaringan batang	47
Gambar 4. 26	Grafik Konsentrasi logam Zn pada jaringan akar	47



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki lahan gambut dengan luas hingga 18,5 juta hektar yang tersebar di pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Pulau Kalimantan merupakan pulau yang memiliki sebaran lahan gambut mencapai 9,75 juta ha atau 52% dari total lahan gambut yang ada (Subekti and Sudrajat, 2019). Lahan gambut merupakan salah satu ekosistem lahan basah yang memiliki unsur hara tinggi yang terbentuk oleh adanya penimbunan bahan organik dari reruntuhan vegetasi bahan organik di lantai hutan selama beberapa waktu (Astiani, Mintari and Fernando, 2019). Proses pembentukan gambut yang terjadi di Indonesia dengan cara translokasi dan transformasi. Transformasi ialah proses pembentukan lahan gambut yang dipengaruhi oleh air, udara, dan radiasi matahari. Translokasi merupakan perpindahan bahan organik dari tempat tinggi ke rendah dan tempat yang memiliki perbedaan tekanan (Noor, Masganti and Agus, 2015).

Lahan gambut di Indonesia memiliki peran penting dalam mempertahankan keanekaragaman hayati di Asia Tenggara dan sebagai penyimpan carbon secara global (Carmenta *et al.*, 2021). Permasalahan yang sering terjadi di lahan gambut Indonesia yaitu kebakaran hutan. Hal ini dikarenakan lahan gambut memiliki beberapa titik api yang dapat dengan mudah terbakar (Arifudin, Nasrul and Maswadi, 2013). Kebakaran hutan terjadi disebabkan oleh adanya pembukaan lahan dengan pembakaran pada bulan-bulan kering (Carmenta *et al.*, 2021). Kebakaran hutan dapat berdampak pada penurunan unsur hara yang ada pada tanah lahan gambut. Tanah gambut mengandung unsur hara makro (P, K, Ca, Mg) rendah, unsur hara mikro (Fe, Mn, Zn) rendah, dan keasaman yang rendah. Terlebih jika terjadi kebakaran lahan akan meningkatkan kandungan logam berat (Fe, Mn, Zn) (Noor, Masganti and Agus, 2015).

Upaya pengelolaan lahan gambut terbakar sudah dilakukan oleh badan restorasi gambut (BRG). Rencana pengelolaan lahan gambut yang akan dilakukan oleh BRG meliputi program *rewetting* (pembasahan lahan), *revegetasi* (penghijauan), dan revitalisasi sosial ekonomi (Yuliani, 2018). Program restorasi yang dapat diaplikasikan yaitu revegetasi (penghijauan) dengan menggunakan tanaman *Melaleuca leucadendra* (Kayu Putih). Penggunaan *Melaleuca leucadendra* sebagai tanaman penghijauan dinilai memiliki prospek yang cukup baik untuk dikembangkan. Hal ini didukung dengan salah satu penelitian restorasi gambut bekas terbakar di kawasan hutan lindung Liang Anggang Kalimantan Selatan tanaman *Melaleuca leucadendra* memiliki tingkat presentase hidup 90,63% (Nurohman *et al.*, 2019). Selain penanaman *Melaleuca leucadendra*, diperlukan bahan pembenah tanah (kitosan, asam humat dan SROP) dan mikroorganisme endofit untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara maksimal serta meningkatkan daya serap logam berat yang terkandung di tanah gambut terbakar (Nurhayati, Razali and Zurida, 2014).

Penelitian mengenai pengelolaan lahan gambut terbakar atau pengembalian fungsi lahan gambut masih sedikit dilaporkan. Untuk mendukung program revegetasi yang maksimal diperlukan penggabungan metode bioremediasi yaitu dengan adanya penelitian mengenai aplikasi bakteri endofit, bahan pembenah tanah, dan tanaman *Melaleuca leucadendra* yang diharapkan dapat mendegradasi kandungan logam berat dan merestorasi lahan gambut terbakar.

1.2 Perumusan Masalah

Pemulihan lahan gambut yang terbakar menjadi masalah yang belum terselesaikan, sehingga diperlukan solusi untuk pemecahan masalah, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh bahan bakteri endofit dengan bahan pembenah tanah dalam memproduksi biomassa *Melaleuca leucadendra* ?
2. Bagaimana pengaruh bakteri endofit dengan bahan pembenah tanah (kitosan, asam humat, SROP) terhadap reduksi serapan logam berat Fe; Zn; Mn; serapan P (*Phosphate*) dan perbaikan pH di lahan gambut bekas terbakar?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa potensi bakteri endofit dengan bahan pembenah tanah dalam memproduksi biomassa *Melaleuca leucadendra* .
2. Menganalisa pengaruh bakteri endofit dengan pembenah tanah (kitosan, asam humat, SROP) terhadap reduksi serapan logam berat Fe; Zn; Mn; serapan P (*Phosphate*) dan perbaikan pH di lahan gambut bekas terbakar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai potensi bakteri endofit dengan bahan pembenah tanah dalam upaya restorasi lahan gambut bekas terbakar.
2. Menjadi bahan acuan dalam melakukan restorasi lahan gabut bekas terbakar dengan metode yang sama dan menjadi bahan acuan dalam penelitian serupa.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Inokulasi bakteri endofit dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Pengujian serapan logam berat Fe; Zn; Mn; P (*Phosphate*) dan pH pada tanah gambut dari lahan gambut bekas terbakar.
3. Pengujian logam berat pada jaringan tanaman, logam berat pada tanah gambut, P tersedia pada tanah gambut, P total pada jaringan batang serta pH pada tanah gambut setelah dilakukan inokulasi bakteri endofit dan bahan pembenah tanah.
4. Penelitian, pengamatan dan pelaksanaan dilakukan skala rumah kaca.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lahan gambut dan restorasi lahan

Lahan gambut dapat didefinisikan sebagai lahan yang memiliki kadar air jenuh pada tanahnya, berasal dari sisa jaringan tumbuhan yang terakumulasi dari jangka waktu lama. Luas lahan gambut Indonesia diperkirakan lebih dari 14,95 juta hektar dengan kondisi lahan terdegradasi 6,6 juta hektar (Masganti *et al.*, 2014). Kondisi lahan gambut yang terdegradasi disebabkan oleh adanya kebakaran hutan gambut. Kebakaran hutan gambut dapat meningkatkan bahan organik. Namun, kandungan unsur hara yang ada menurun atau bernilai rendah (Anang and Subowo, 2012). Karakteristik dari tanah gambut bekas terbakar menunjukkan sifat kemasaman yang rendah dengan nilai 3,25 – 4,01 (Astiani, Mintari and Fernando, 2019). Selain pH unsur hara fosfor dan nitrogen pada tanah gambut terdegradasi bernilai rendah dengan fosfor sebesar 7,2 – 9,6 ppm (Masganti *et al.*, 2014).

Restorasi merupakan salah satu metode rehabilitasi khusus yang bertujuan untuk memperbaiki fungsi ekologi lahan gambut ke keadaan semula (Yuliani and Rahman, 2018). Pengelolaan lahan gambut yang diupayakan dengan restorasi dapat dilaksanakan melalui pendekatan yaitu pembasahan kembali (*rewetting*), revegetasi (*revegetation*), dan revitalisasi ekonomi lokal (*revitalization of local economy*). Pembasahan lahan kembali dapat dilakukan dengan membuat sekat kanal yang ditujukan untuk menjaga kelembapan tanah gambut. Revegetasi dilakukan dengan penanaman tanaman jenis asli maupun tanaman yang dapat menyesuaikan terhadap kondisi lingkungan. Revegetasi sangat diperlukan dalam karena regenerasi secara alami dari lahan gambut berlangsung lama. Revitalisasi ekonomi dilakukan melalui kegiatan pemberdayaan ekonomi masyarakat lokal (Gunawan and Afriyanti, 2019). Penelitian ini menggunakan pendekatan revegetasi untuk restorasi lahan gambut terbakar.

2.2 *Melaleuca leucadendra* (Kayu Putih)

Penelitian ini menggunakan tanaman uji yaitu *Melaleuca leucadendra* yang akan diberi perlakuan berupa inokulasi mikroorganisme pembenah dan bahan pembenah tanah. *Melaleuca leucadendra* merupakan salah satu jenis tanaman yang berpotensi besar untuk pemulihan lahan bekas terbakar dari segi ekologis maupun ekonomis. Tanaman *Melaleuca leucadendra* sebagian besar tumbuh di zona iklim tropis dengan curah hujan rata-rata 1.300-1.750 mm per tahun. Spesies ini akan tumbuh hingga 40 m dengan diameter 1,2 m. Ciri tanaman ini yaitu batang kayu bewarna putih hingga keabuan seperti kertas, daun bewarna hijau melengkung sepanjang 5-10 cm dan lebar 1-4 cm serta berbulu, dan pucuk daun muda tertutup oleh bulu-bulu yang lembut dengan panjang 0,3-2 mm (Khomsah *et al.*, 2014). Penggunaan *Melaleuca leucadendra* dalam penelitian ini karena tanaman ini merupakan tanaman *fast growing species* (cepat tumbuh) dan cocok ditanam pada segala kondisi tanah (tanah tergenang, tanah kering, dan tanah dengan kondisi pH rendah maupun tinggi) serta mudah dalam perawatan tanaman (Sadono, Soeprijadi and Wirabuana, 2020).



Sumber : Data primer

Gambar 2. 1 *Melaleuca leucadendra*

2.3 Bakteri Endofit

Penelitian ini menggunakan mikroorganisme pembenah yaitu bakteri endofit. Bakteri endofit merupakan mikroorganisme yang hidup pada jaringan tumbuhan (Xylem dan Phloem), daun, akar, buah dan batang. Bakteri ini dapat bersimbiosis atau menguntungkan tanaman dengan memproteksi tanaman dari hama (Rusli and Rahmaniar, 2013). Selain itu bakteri endofit dapat memberi manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung dengan membantu tanaman memperoleh nutrisi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui hormon pertumbuhan yang dapat membantu tanaman bertahan dalam kondisi normal maupun kondisi tidak normal (kandungan logam berat yang tinggi) (Ma *et al.*, 2016). Bakteri endofit membantu tanaman meningkatkan ketersediaan fosfat dengan melarutkan fosfat terendap melalui mekanisme pengasaman (Afzal *et al.*, 2019). Selain itu, bakteri endofit yang ditambahkan ke dalam media tanam dapat membantu efisiensi fitoekstraksi oleh tanaman pada tanah yang terkontaminasi oleh logam berat (Rajkumar, Ae and Freitas, 2009).

2.4 Bahan Pembenah Tanah

Penelitian restorasi lahan gambut ini dilakukan dengan penambahan bahan pembenah tanah. Bahan pembenah tanah merupakan bahan organik atau bahan alami yang digunakan sebagai bahan perbaikan pada tanah yang terdegradasi (Muharam and Saefudin, 2016). Bahan pembenah tanah perlu untuk diaplikasikan dalam restorasi untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara maksimal serta meningkatkan daya serap logam berat yang terkandung di tanah gambut terbakar (Nurhayati, Razali and Zurida, 2014). Dalam penelitian ini bahan pembenah tanah yang digunakan yaitu kitosan, asam humat dan slow realese organik paramagnetic (SROP).

Kitosan merupakan biopolimer organik turunan kitin yang memiliki struktur penyusun berupa kulit udang, cangkang cumi, dan cangkang rajungan (Suptija, Jacob and Sugara, 2010). Proses perubahan kitin menjadi kitosan dilakukan melalui isolasi kitin yang terkandung dalam eksoskeleton hewan air seperti udang, cumi, dan kepiting. Berdasarkan penelitian terdahulu penggunaan larutan kitosan konsentrasi 2%-2,5% dapat menurunkan kadar logam dengan penyerapan logam timbal mencapai 94,97% dan kapasitas penyerapan hingga 5,36 mg/g menggunakan konsentrasi larutan kitosan 0,5% (Iriana, Sedjati and Yulianto, 2018). Dalam keadaan cair, pupuk kitosan yang diaplikasikan ke media tanam yaitu sebanyak 3 mL/ 1 L air (Rachmat, 2015).

Asam humat merupakan bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki proses metabolisme tanah dan sifat fisik maupun sifat kimia tanah (Lukmansyah, Niswati and Buchari, 2020). Asam humat adalah suatu zat organik makromolekul polielektroli yang memiliki kemampuan untuk adsorpsi dan desorpsi logam berat. Ion-ion yang ada pada asam humat akan berikatan dengan logam Pb (II), Cu (II), dan Fe (II). Penyerapan logam Pb (II) dengan prosentase 48,9% sampai dengan 88,73%, penyerapan logam Cu(II) dengan prosentase 4,15% sampai dengan 13,29%, dan penyerapan logam Fe (II) dengan prosentase 3,77% sampai dengan 34,78% (Yuliyati *et al.*, 2016). Penggunaan asam humat untuk bahan pembenah tanah setiap 1 kg tanah yang akan direstorasi diberi sebanyak 100 mL dengan konsentrasi 2,5 % v/v (Nur, Wilarso and Sekar, 2017).

Bahan pembenah tanah yang digunakan selanjutnya yaitu humus sintesis atau *slow release organic paramagnetic* (SROP). SROP merupakan solusi untuk meningkatkan kandungan organik yang ada pada tanah dan memiliki pelepasan nutrisi yang lambat (Kuncaka, 2018). Penggunaan SROP dengan konsentrasi 10-30% dinilai dapat meningkatkan pH tanah menjadi hampir netral dan optimal untuk pertumbuhan yaitu 6,54-7,12. Selain itu, penggunaan SROP dapat membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara N,P, dan K, serta meningkatkan nilai tukar kation (Agus *et al.*, 2020).

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna sebagai referensi dan pembandingan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut ini daftar penelitian terdahulu :

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tema Penelitian	Hasil
1	Zain and Bachtiar, 2018 (Zain and Bachtiar, 2018)	Kontribusi Nitrogen dari Bakteri Endofit pada Tanaman Padi	Bakteri Endofit mampu meningkatkan serapan nitrogen pada tanaman dengan presentase hingga 80,19 %. Bakteri Endofit mengikat nitrogen dari udara dengan dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan.
2	Rajkumar et al, 2019 (Rajkumar, Ae and Freitas, 2009)	Bakteri Endofit dan Potensinya untuk Meningkatkan Fitoekstraksi Logam Berat	Bakteri endofit dapat berperan sebagai pelindung tanaman dari logam berat yang terakumulasi oleh tanaman. Beberapa tanaman apabila ditambahkan inokulum bakteri endofit dapat meningkatkan efisiensi fitoekstraksi di tanah yang terkontaminasi oleh logam berat.
4	Iriana et al,2018 (Iriana, Sedjati and Yulianto, 2018)	Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal	Penggunaan larutan kitosan konsentrasi 2% dapat menurunkan kadar logam dengan penyerapan logam timbal mencapai 94,97% dan kapasitas penyerapan hingga 5,36 mg/g menggunakan

No	Penulis	Tema Penelitian	Hasil
			konsentrasi larutan kitosan 0,5%
5	Agus et al, 2020 (Agus <i>et al.</i> , 2020)	Paramagnetic Humus and Callophyllum inophyllum for Rehabilitation of Tropical Anthropogenic Deserted Tinmined Soil	Penggunaan SROP dengan konsentrasi 10-30% dinilai dapat meningkatkan pH tanah menjadi hampir netral dan optimal untuk pertumbuhan yaitu 6,54-7,12. Selain itu, penggunaan SROP dapat membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara N,P, dan K, serta meningkatkan nilai tukar kation.
6	Yuliyati et al, 2016 (Yuliyati <i>et al.</i> , 2016)	Isolasi Karakterisasi T Asam Humat dan Penentuan Daya Serap Nya Terhadap Ion Logam Pb (II) Cu (II) dan Fe (II)	Penggunaan asam humat dapat membantu tanaman dalam menyerap logam berat. Penyerapan logam Pb (II) dengan prosentase 48,9% sampai dengan 88,73%, penyerapan logam Cu(II) dengan prosentase 4,15% sampai dengan 13,29%, dan penyerapan logam Fe (II) dengan prosentase 3,77% sampai dengan 34,78%.

Berdasarkan analisis terhadap penelitian terdahulu, didapatkan informasi yang dapat membantu dalam keberhasilan penelitian ini.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada skala rumah kaca. Penelitian dilakukan mulai dari tahapan persiapan media tanam, penanaman *Melaleuca leucadendra*, Pengambilan sampel data, pemanenan *Melaleuca leucadendra* dilakukan di rumah kaca yang berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.

Pengujian sampel akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Kegiatan penelitian akan dilaksanakan pada bulan Maret 2021 hingga bulan Agustus 2021.

Media tanam berupa tanah gambut bekas terbakar yang diambil dari KTHDTK Tumbang Busa Palangkaraya Kalimantan Tengah pada 21 Juli 2019. Adapun penelitian pertumbuhan bakteri akan dilakukan di Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.2 Pengamatan dan Pengambilan Data Primer

Adapun metode pengumpulan data pada penelitian ini yaitu observasi (pengamatan) dan pengambilan data primer. Pengambilan data primer yaitu mengenai data terkait kandungan logam berat, P (*Phosphate*) dan pH pada sampel tanah gambut bekas terbakar yang diteliti. Selanjutnya sampel akan diambil dan diuji di laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Selain itu, penelitian ini memerlukan data pertumbuhan tanaman berupa tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang.

3.3 Instrumen Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. **Polybag**, wadah untuk media tanam dan tanaman
2. **Measuring tape**, mengukur tinggi tanaman
3. **Caliper**, mengukur diameter batang
4. **Timbangan analitik**, mengukur berat jaringan tanaman dan bahan kimia
5. **Amplop**, menyimpan jaringan tanaman setelah pemanenan
6. **Cawan petri**, sebagai tempat pembiakan bakteri
7. **Erlenmeyer 250 ml**, sebagai tempat pembiakan bakteri
8. **Pipet**, alat injeksi bakteri
9. **Laminar air flow**, meja steril untuk inokulasi
10. **Aluminium foil**, menutup alat agar tetap steril
11. **Kertas sampul**, menutup cawan petri saat inkubasi bakteri
12. **Shaker**, menghomogenkan larutan dengan gerakan satu arah
13. **Inkubator**, menginkubasi bakteri endofit pada suhu tertentu
14. **Tabung reaksi**, untuk mencampur, mencampur bahan kimia
15. **Rak tabung reaksi**, meletakkan tabung reaksi
16. **Kompor listrik**, memanaskan larutan atau zat kimia
17. **Jarum ose**, untuk memindahkan biakan bakteri dari media lama ke media baru
18. **Bunsen**, mengkondisikan area pada keadaan aseptis
19. **Magnetic stirrer**, menghomogenkan larutan dengan pengadukan
20. **Autoklaf**, mensterilkan benda dengan uap bertekanan tinggi
21. **Oven**, mengeringkan jaringan tanaman setelah panen
22. **Kaca arloji**, wadah untuk menimbang bahan kimia
23. **Blender**, menghancurkan jaringan tanaman
24. **Ayakan 50 mesh**, mensaring jaringan tanaman dan tanah agar menjadi halus
25. **Pipet ukur**, memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain sesuai dengan volume

26. **Corong**, sebagai alat bantu untuk memindahkan cairan dengan dimensi yang lebih kecil
27. **Labu ukur**, wadah untuk mengencerkan zat sesuai batas
28. **Gelas ukur**, gelas yang memiliki skala untuk mengukur larutan secara tepat
29. **Sendok sungu**, memindahkan serbuk kimia atau jaringan tanaman untuk ditimbang
30. **Gelas beaker**, wadah untuk mereaksikan bahan dan tempat melarutkan bahan
31. **AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)**, alat yang digunakan untuk pembacaan unsur logam berat pada tanah dan jaringan tanaman
32. ***Spekrofotometri uv-vis***, alat yang digunakan sebagai pembacaan unsur phosphate pada tanah dan jaringan tanaman
33. **Kuvet**, sebagai wadah larutan untuk dimasukkan dalam spektrofotometri uv-vis
34. **Kertas saring whatman no 1 dan 42**, untuk menyaring partikel tersuspensi dari cairan
35. **pH meter**, mengukur kadar pH pada tanah uji
36. **Botol vial**, sebagai wadah sampel untuk uji AAS

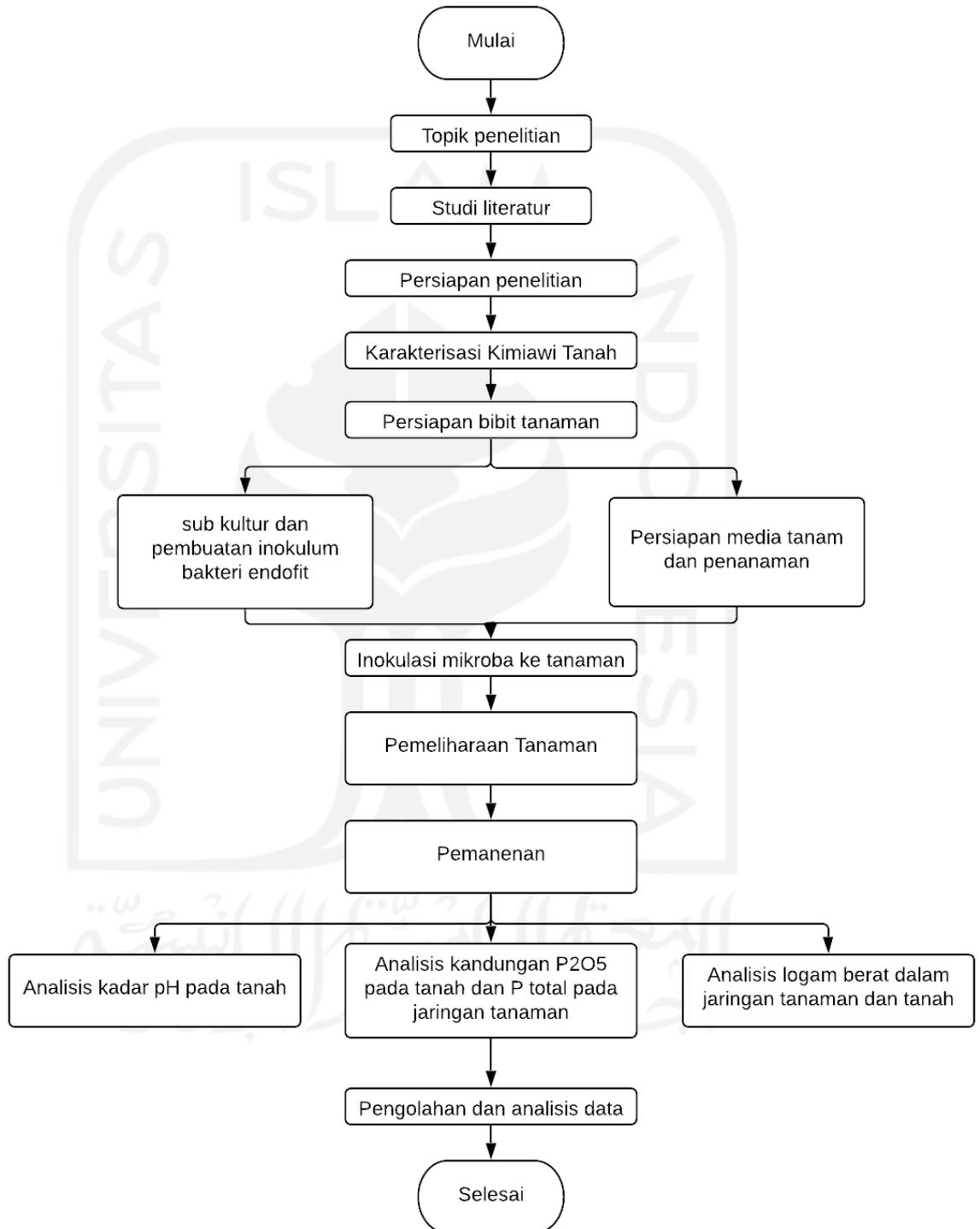
3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. **Bibit *Melaleuca leucadendra***, digunakan sebagai tanaman uji dalam penelitian
2. **Tanah gambut bekas terbakar yang sudah steril**, digunakan sebagai media tanam
3. ***Nutrient broth***, media cair untuk perkembangbiakan bakteri endofit
4. ***Nutrient agar***, media padat untuk perkembangbiakan bakteri endofit
5. **HNO_3** , melarutkan logam dari sampel sebelum dilakukan pengujian metode aas
6. **$HClO_4$** , bahan destruksi jaringan tanaman
7. **Alkohol 75%**, bahan untuk mensterilkan alat
8. ***Aquadest***, melarutkan bahan kimia
9. **Bahan pembenah (chitosan, asam humat, srop)**, sebagai bahan pembenah tanah dalam penelitian

3.4 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan dari penelitian yang akan dilakukan yaitu pada bagan berikut ini:



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.4.1 Karakterisasi kimiawi tanah

Pada tahapan ini dilakukan pengujian parameter logam berat yang terkandung dalam tanah. Kandungan logam berat awal pada tanah gambut disebabkan oleh nilai derajat keasaman yang rendah. Pengujian tanah bekas gambut terbakar menggunakan alat laboratorium AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), *Spekrofotometri uv-vis*, pH meter. Adapun parameter yang di uji yaitu kandungan logam berat berupa Fe, Zn, Mn, kandungan P (*Phosphate*), dan kadar pH. Berikut ini karakteristik kimiawi tanah awal:

Tabel 3. 1 karakteristik awal tanah gambut terbakar

Parameter	Konsentrasi awal
pH H ₂ O (1:5)	3,62
P ₂ O ₅ Bray 1 (ppm)	69,94286704
Fe (ppm)	920,25
Mn (ppm)	53,9326475
Zn (ppm)	17,918476

Sumber : Data primer

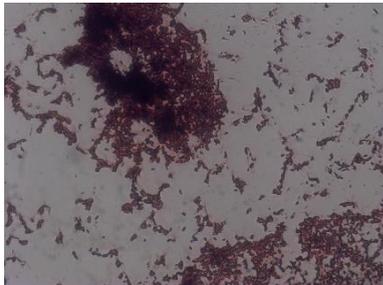
3.4.2 Persiapan Bibit Tanaman

Persiapan bibit tanaman dilakukan dengan menyemai benih *Melaleuca leucadendra* pada pasir steril. Tanaman dipelihara selama 2 bulan di rumah kaca dengan pemberian pupuk hyponex fosfat 1 ppm. Peelakuan pada bibit berupa penyiraman setiap dua hari sekali dan pemberian pupuk hyponex setiap satu minggu sekali.

3.4.3 Sub Kultur dan Inokulasi Bakteri Endofit

Subkultur bakteri endofit berasal dari akar tumbuhan *Combretocarpus* sp. yakni pionir yang tumbuh di lahan gambut yang sudah di isolasi dan ditumbuhkan dalam media padat, agar dapat diuji potensi bakteri dalam mendegradasi logam berat. Bakteri endofit yang digunakan diidentifikasi secara morfologi dapat dilihat pada **Tabel 3. 2** dan lebih detail pada **Gambar 3. 2**.

Tabel 3. 2 Identifikasi Morfologi Bakteri Endofit

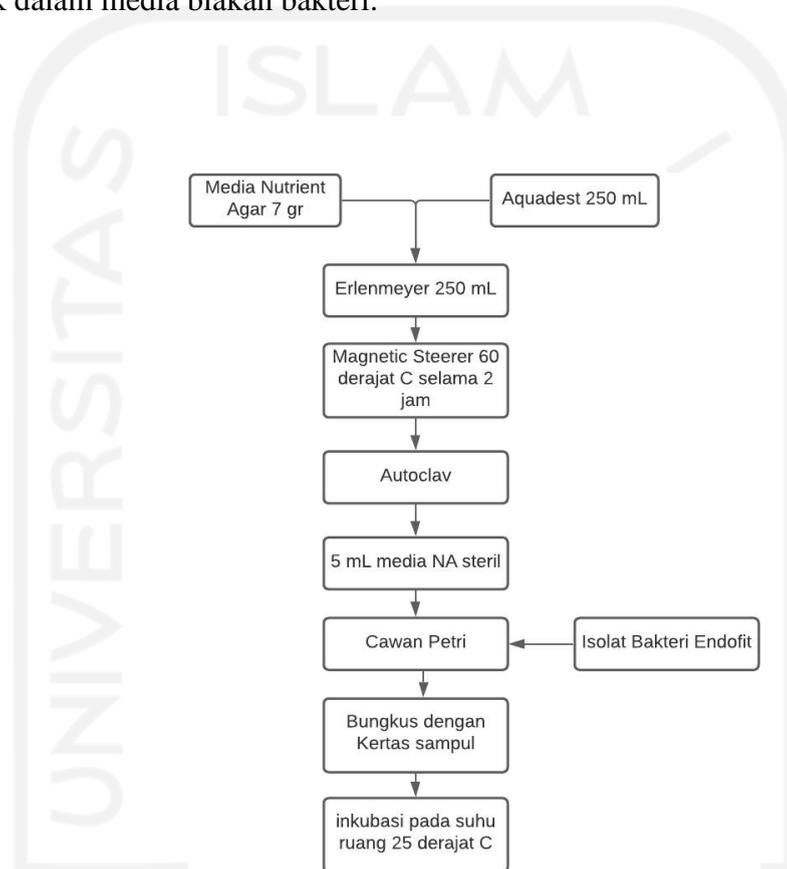
Keterangan	Isolat Bakteri Endofit 1	Isolat Bakteri Endofit 2
Gambar morfologi		
Gambar Shape		
Shape	Bacillus	Bacillus
Gram	Negatif (Merah)	Negatif (Merah)
Forms	Irregular	Irregular
Margins	Rhizoid	Rhizoid
Elevation	Raised	Raised
Apperance	Glistening	Glistening
Optical Property	Transparant	Transparant

Sumber : Data primer

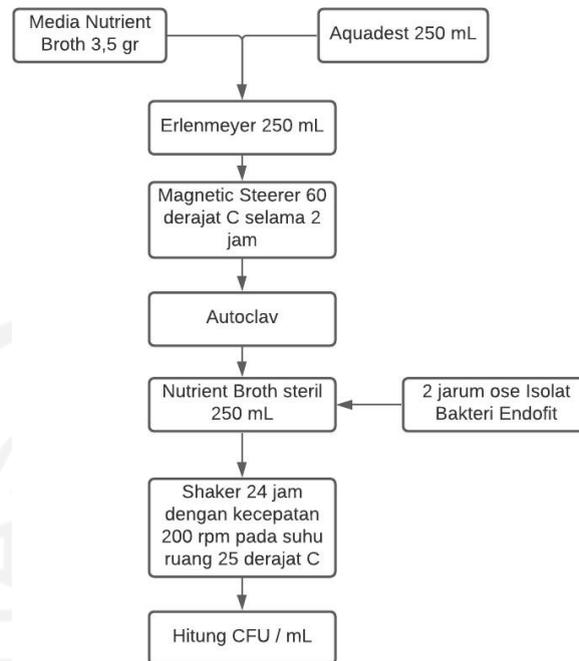


Gambar 3. 2 Morfologi Bakteri Endofit Bacillus

Bakteri endofit yang sudah diisolasi pada penelitian sebelumnya di subkultur pada media yang tepat yaitu NA (Nutrient Agar). Subkultur dalam penelitian ini bertujuan untuk memperbanyak biakan bakteri yang ada. Selain subkultur, dilakukan pembuatan inokulum menggunakan NB (Nutrient Broth) yang bertujuan untuk memperbanyak bakteri dalam media cair agar mudah di inokulasi. Subkultur dan pembuatan inokulum dilakukan pada *laminar airflow* agar mencegah kontaminan masuk dalam media biakan bakteri.



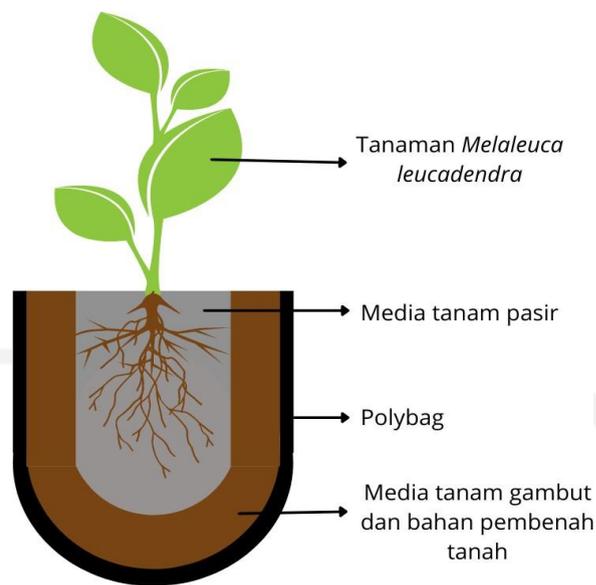
Gambar 3. 3 Tahapan Sub Kultur Bakteri Endofit



Gambar 3. 4 Tahapan inokulasi Bakteri Endofit

3.4.4 Persiapan Media Tanam dan Penanaman

Tanah gambut bekas terbakar digunakan sebagai media tanam yang sudah dalam kondisi steril. Sterilisasi ditujukan untuk mengetahui pengaruh inokulasi bakteri tanpa adanya pengaruh dari mikroorganisme lain. Media tanam terdiri dari 4 (empat) perlakuan yaitu tanpa bahan pembenah, dengan kitosan, asam humat dan slow release organik paramagnetic (SROP). Untuk perlakuan tanpa bahan pembenah berat dari tanah gambut sebanyak 700 gram. Dosis bahan pembenah tanah dalam persen yang ditambahkan untuk kitosan sebanyak 2,5% dengan perbandingan berat dalam gram kitosan dan tanah gambut 17,5 : 682,5 ; asam humat sebanyak 2,5% dengan perbandingan berat dalam gram asam humat dan tanah gambut 17,5 : 682,5 ; dan SROP sebanyak 10% dengan perbandingan berat dalam gram SROP dan tanah gambut 70 : 630. Setelah media tanam dicampur dengan pembenah tanah akan dimasukkan ke polybag dengan tujuh kali perulangan. Tiap perulangan pada polibag dilakukan penanaman *Melaleuca leucadendra* yang berumur 2 bulan.



Gambar 3. 5 Penanaman *Melaleuca leucadendra*

3.4.5 Inokulasi Bakteri Endofit

Inokulasi dilakukan dengan memindahkan inokulum dari media NB ke media tanam *Melaleuca leucadendra*. Inokulasi dilakukan dengan menginjeksi 3 mL mikroba ke 700 gram media tanam tanam dengan kedalaman lubang 4-5 cm dan ditutup kembali lubang bekas injeksi. Jumlah koloni bakteri endofit yang diinjeksi disajikan pada **Tabel 3. 3** Analisa koloni pada **Tabel 3. 3** dilakukan dengan menghitung populasi bakteri endofit dikali dengan pengenceran yang dilakukan.

Tabel 3. 3 Populasi endofit yang diinjeksikan

Kode	Pengenceran	Jumlah populasi	Koloni	Rerata Koloni
Endofit A1	5	48	4800000 CFU/m	46500000 CFU/mL
Endofit A2	5	45	4500000 CFU/m	

Sumber : Data primer

3.4.6 Pemeliharaan Tanaman

Penyiraman merupakan salah satu perawatan tanaman yang dilakukan setiap hari pada musim kemarau dan 2 hari sekali pada musim hujan serta dilakukan pada pagi hari pukul 08.00. Pemeliharaan tanaman ini dilakukan tanpa pemberian pupuk. Parameter pertumbuhan yang dilakukan yaitu diameter batang (mm), jumlah daun, dan ketinggian tanaman (cm). Pengukuran parameter dilakukan setiap 2 minggu sekali selama 3 bulan dimulai dari hari ke 0 (pada saat penanaman *Melaleuca leucadendra*).



3.4.7 Pemanenan

Tahapan panen dilaksanakan setelah pengamatan 3 bulan dengan memisahkan jaringan batang dengan jaringan akar. Pada pemotongan jaringan dilakukan pada leher akar, ditimbang berat basahnya, dan di letakkan pada amplop pembungkus. Media tanam juga dimasukkan pada plastik beridentitas. Tanaman yang sudah dipanen akan dikeringkan dalam oven dengan suhu 70 °C selama 72 jam dan setelah itu ditimbang dengan ketelitian 0,001 gram untuk mendapat berat kering sampel. Sampel tanah yang sudah dimasukkan ke plastik dilakukan pengeringan angin sebelum di uji di laboratorium.

3.4.8 Analisa pH tanah

Analisa pH tanah dilakukan dengan dua jenis larutan yaitu H_2O dan KCl. Pengukuran pH menggunakan instrumen pH meter. Sampel yang digunakan sebanyak 10 gram sampel tanah dicampurkan dengan H_2O (pH H_2O) sebanyak 50 mL aquadest dan 10 gram sampel tanah dicampurkan dengan KCl (pH KCl). Kemudian homogenkan dengan *shaker* selama 30 menit. Suspeni tanah kemudian diukur pH yang sudah dikalibrasi dengan buffer 7 dan 4.

3.4.9 Analisa P tersedia (P_2O_5) tanah dan P total jaringan tanaman

Analisa P tersedia pada tanah diuji menggunakan *spektrofotometri uv-vis* dengan mencampurkan pengestrak Bray dan Kurts I sebanyak 25 mL, sampel tanah sebert 2,5 gram, dan homogeakan selama 5 menit. Setelah dihomogenkan sampel akan disaring hingga mendapatkan ekstrak jernih. Analisa P total pada jaringan tanaman menggunakan *spektrofotometri uv-vis*. Destruksi jaringan tanaman dengan mencampurkan berat sampel 0,5 gram, ditambahkan 5 mL HNO_3 dan 0,5 mL $HClO_4$. Setelah destruksi sampel disaring, diekstraksi dengan menambahkan aquadest hingga tanda batas pada labu ukur 25 mL. Setelah dihomogenkan sampel akan disaring hingga mendapatkan ekstrak jernih. Masing-masing sampel dipipet 2 mL dan diberi pewarna P sebanyak 10 mL, kocok dan diamkan 30 menit hingga bereaksi. Kemudian sampel diuji absorbansinya pada *spektrofotometri uv-vis* dengan panjang gelombang 693 nm.

3.4.10 Analisa Logam Berat Jaringan dan Tanah

Analisa logam berat dilakukan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Dengan kondisi sampel tanah yang sudah kering angin dan diambil 1 gr ditambah HNO_3 sebanyak 5 mL, 50 mL aquadest, dan didestruksi di lemari asam hingga tersisa 10 mL. Sampel jaringan tanaman didestruksi hingga tersisa 0,5 mL sampel cair. Destruksi jaringan tanaman dengan mencampurkan berat sampel 0,5 gram, ditambahkan 5 mL HNO_3 dan 0,5 mL $HClO_4$. Setelah destruksi sampel disaring, diekstraksi dengan menambahkan aquadest hingga tanda batas pada labu ukur 25 mL. Kemudian sampel dimasukkan ke botol vial dan diuji dengan parameter uji logam berat.

3.5 Prosedur Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan membandingkan empat jenis media tanam (kontrol, penambahan bahan pembenah tanah kitosan, asam humat, dan SROP) oleh *Melaleuca leucadendra* yang dibantu bakteri endofit disajikan dalam bentuk grafik dan pendekatan *standard error*. Hasil akhir penelitian untuk melihat kecenderungan bahan pembenah tanah dan bakteri endofit yang mampu mendegradasi jenis logam tertentu, meningkatkan pH tanah, dan serapan *phosphate* pada tanaman.

Tabel 3. 4 Batas kritis logam berat pada tanah dan tanaman

No	Parameter	Batas Kritis	
		Tanah	Tanaman
1	Fe (ppm)	100 ¹ - 300 ¹	112 ² - 140 ³
2	Mn (ppm)	50 ²	55 ² - 495 ⁴
3	Zn (ppm)	20 ² - 62 ⁵	19,6 ² - 100 ³

1. (Noor *et al.*, 2016)
2. (Schulze *et al.*, 2019)
3. (Huang *et al.*, 2020)
4. (Reichman *et al.*, 2004)
5. (de Vries *et al.*, 2013)

Tabel 3. 5 Persyaratan unsur hara pada tanah dan tanaman

No	Parameter	Persyaratan Unsur hara	
		tanah	tanaman
1	pH H ₂ O (1:5)	4 ¹ – 8,5 ¹	-
2	pH KCl	4 ⁴	-
2	P ₂ O ₅ Bray 1 (ppm)	17,9 ² – 71,8 ²	-
3	P total (%)	-	0,1 ³ – 0,4 ³

1. (Subhan and R. Benung, 2020)
2. (Masganti, Anwar and Susanti, 2020)
3. (Zewide and Reta, 2021)
4. (Sahrawat, 2000)

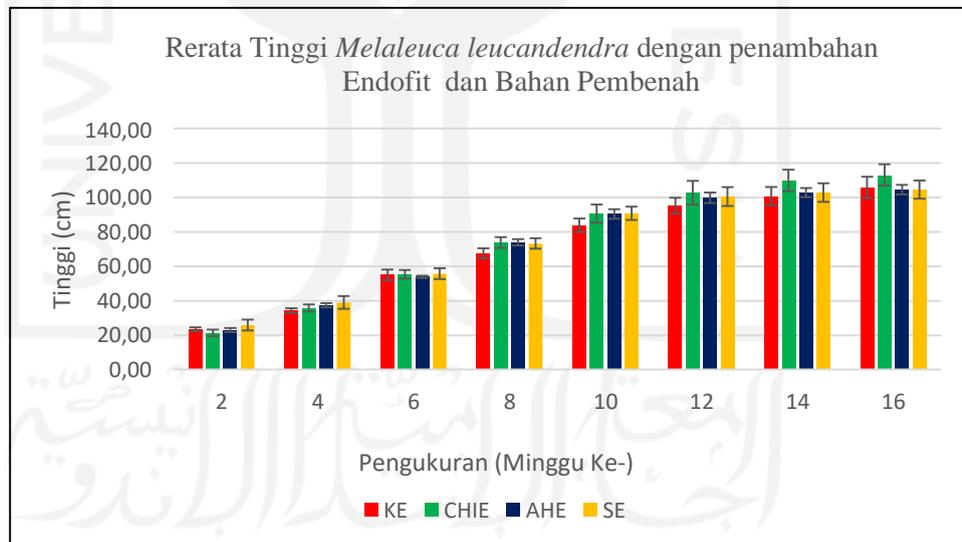
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisa Parameter Pertumbuhan *Melaleuca leucadendra*

Parameter pertumbuhan tanaman diukur setiap 2 minggu sekali dalam waktu 16 minggu. Adapun parameter pertumbuhan yang diukur yaitu tinggi tanaman, diameter batang tanaman, jumlah daun dan di akhir minggu ke 16 dilakukan pengukuran biomassa.

4.1.1 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Tinggi Tanaman *Melaleuca leucadendra*

Tinggi tanaman merupakan parameter yang diamati dalam penelitian ini. Pada **Gambar 4. 1** menunjukkan pertambahan tinggi tanaman *Melaleuca leucadendra* selama 16 minggu dengan media tanam gambut bekas terbakar (KE), gambut dengan kitosan (CHIE), gambut dengan asam humat (AHE) dan gambut dengan SROP (SE) serta penambahan bakteri endofit pada tiap media tanam.

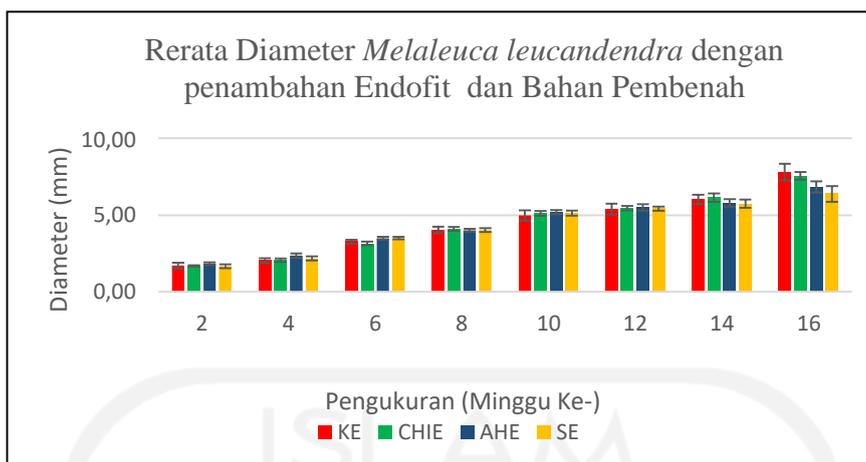


Gambar 4. 1 Grafik Rerata Tinggi *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Pembenh Tanah

Data pengukuran pada **Gambar 4. 1** menunjukkan bahwa setiap perlakuan memiliki pertambahan tinggi di setiap minggunya. Perlakuan media tanam yang berbeda dapat mempengaruhi pertambahan tinggi tanaman. Pada tanaman *Melaleuca leucadendra* perlakuan KE menunjukkan rerata tinggi 105,7 cm pada minggu ke-16. Perlakuan CHIE menunjukkan rerata tinggi 113 cm. Perlakuan AHE dan SE menunjukkan rerata tinggi 104,43 pada minggu ke-16. Tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan CHIE memiliki perbedaan tinggi yang nampak apabila di bandingkan dengan perlakuan KE. Tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan AHE dan SE jika dibandingkan dengan KE perbedaan tinggi tidak jauh berbeda. Tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan CHIE memiliki tinggi yang signifikan dan menunjukkan respon baik dibanding perlakuan yang lainnya. Pemberian kitosan berperan dalam ketersediaan sumber karbon bagi bakteri endofit. Sehingga dapat membantu meningkatkan proses transformasi senyawa organik dan pertumbuhan tanaman (Sasmita and Haryanto, 2016).

4.1.2 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Diameter Batang *Melaleuca leucadendra*

Hasil analisa dari pertumbuhan diameter batang dapat dilihat pada **Gambar 4. 2** Grafik Rerata Diameter *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Pembenh Tanah . Diameter batang mengalami peningkatan dari setiap minggunya. Tanaman *Melaleuca leucadendra* perlakuan KE dan CHIE menunjukkan peningkatan besar diameter yang stabil pada setiap minggunya. Berbanding terbalik dengan perlakuan AHE dan SE yang menunjukkan perlambatan pertumbuhan diameter pada minggu ke-10.



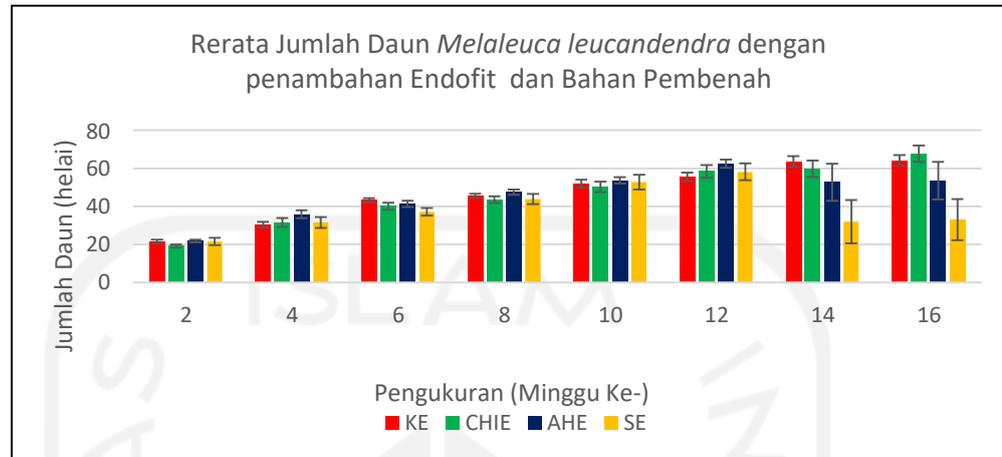
Gambar 4. 2 Grafik Rerata Diameter *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Pembenh Tanah

Diameter batang tanaman *Melaleuca leucadendra* perlakuan KE dan CHIE memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada pengukuran minggu ke-16 dengan masing-masing diameter 7,80 mm dan 7,54 mm. Begitu juga dengan perlakuan AHE dan perlakuan SE memiliki perbedaan yang tidak signifikan, masing-masing berdiameter 6, 83 mm dan 6,38 mm. Jika dilihat dari pengukuran tersebut, perlakuan KE memiliki diameter yang paling besar daripada perlakuan yang lain.

4.1.3 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada Jumlah Daun *Melaleuca leucadendra*

Jumlah daun yang mengalami peningkatan berkaitan dengan pertambahan tinggi. Semakin tinggi tanaman maka ruas daun yang tumbuh semakin banyak. Selain itu bakteri endofit juga berperan dalam peningkatan pertumbuhan daun (Puspita, Saputra and Merini, 2019). Berdasarkan data pada **Gambar 4. 3** Grafik Rerata Jumlah Daun *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Bahan Pembenh setiap minggunya jumlah daun ada yang bertambah dan ada pula yang mengalami penurunan. Jumlah daun pada perlakuan KE setiap minggu mengalami kenaikan yang stabil. Namun, pada minggu ke-14 mengalami perlambatan penambahan helai daun. Perlakuan CHIE mengalami peningkatan setiap minggu dan penambahan jumlah daun stabil. Perlakuan AHE dan SE mengalami peningkatan yang stabil pada setiap minggunya. Namun, pada minggu ke-14 jumlah daun berkurang sangat signifikan. Hal ini disebabkan oleh adanya

kemampuan bakteri endofit dalam fitroekstraksi, sehingga terjadi pengeringan daun dan penurunan jumlah daun (Rajkumar, Ae and Freitas, 2009).



Gambar 4. 3 Grafik Rerata Jumlah Daun *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Bahan Pembenhah

Hasil analisa pada **Gambar 4. 3** Grafik Rerata Jumlah Daun *Melaleuca leucadendra* dengan penambahan Endofit dan Bahan Pembenhah menunjukkan bahwa pada minggu ke-16 perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE berurutan memiliki jumlah daun 64, 68, 54 dan 33 helai daun. Jumlah daun yang paling banyak terdapat pada perlakuan CHIE. Perlakuan kitosan dikombinasikan dengan endofit mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman dan melindungi tanaman dari patogen (Eris *et al.*, 2019).

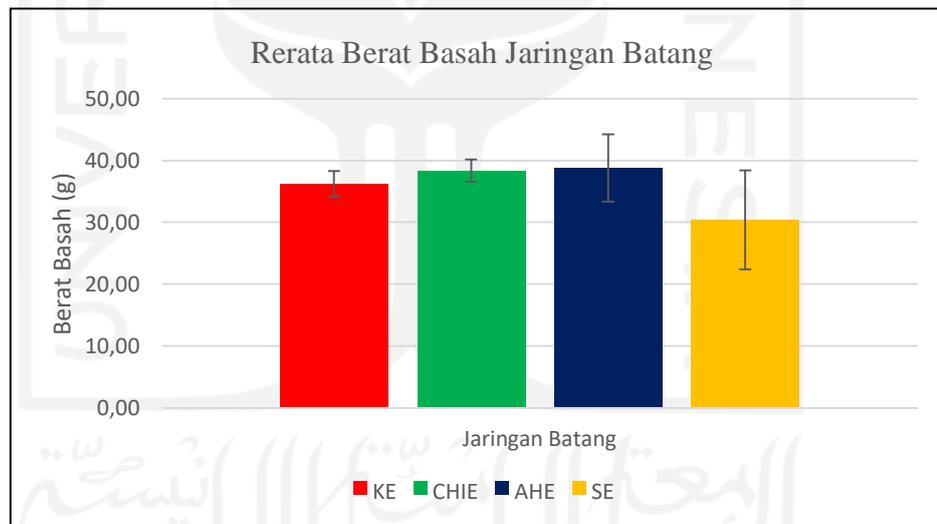
4.1.4 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenhah Tanah pada Biomassa Tanaman *Melaleuca leucadendra*

1. Berat Basah Tanaman

Berat basah merupakan salah satu pedekatan untuk mengetahui pertambahan biomassa pada tanaman. Berat basah tanaman akan bervariasi tergantung dari kandungan air pada tanaman dan proses fotosintesa dari tanaman (Kusumaningrum, Hastuti and Haryanti, 2007). Berat basah pada penelitian ini yaitu berat tanaman setelah dilakukan proses panen. Berat basah tanaman dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian jaringan batang dan jaringan bawah.

a. Berat Basah Jaringan Batang

Berdasarkan **Gambar 4. 4** Grafik Rerata Berat Basah Jaringan Batang Tanaman *Melaleuca leucadendra* menunjukkan berat basah jaringan batang pada tanaman dengan perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE masing-masing 36, 21 gram; 38,31 gram; 38,77 gram; dan 30,39 gram. Berat basah paling tinggi pada perlakuan AHE dengan perbedaan yang tidak signifikan apabila dibandingkan dengan perlakuan CHIE. Jika perlakuan AHE dibandingkan dengan SE memiliki perbedaan berat yang signifikan. Perlakuan AHE dapat berpengaruh pada penambahan biomassa jaringan batang. Hal ini dapat terjadi karena pada tanaman terdapat pertumbuhan jaringan yang beragam (Kusumaningrum, Hastuti and Haryanti, 2007).

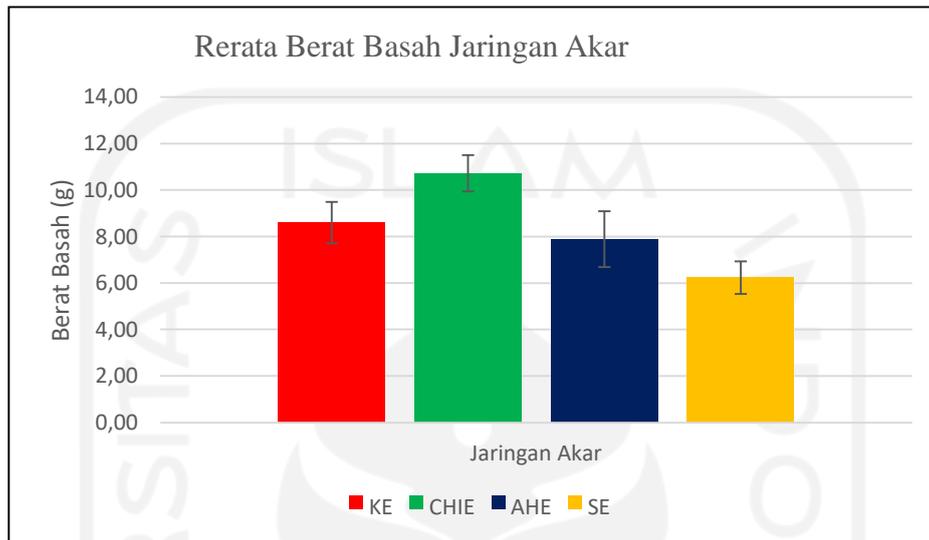


Gambar 4. 4 Grafik Rerata Berat Basah Jaringan Batang Tanaman *Melaleuca leucadendra*

b. Berat Basah Jaringan Akar

Berdasarkan **Gambar 4. 5** Rerata Grafik Berat Basah Jaringan Akar Tanaman *Melaleuca leucadendra* menunjukkan berat basah jaringan akar pada tanaman dengan perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE masing-masing 8,59 gram; 10,71 gram; 7,89 gram; dan 6,23 gram. Berat basah jaringan akar paling tinggi pada perlakuan

CHIE dengan perbedaan yang signifikan apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan CHIE (kitosan dan endofit) dapat berpengaruh pada penambahan biomassa dengan menstimulasi bagian akar tanaman (Eris *et al.*, 2019).



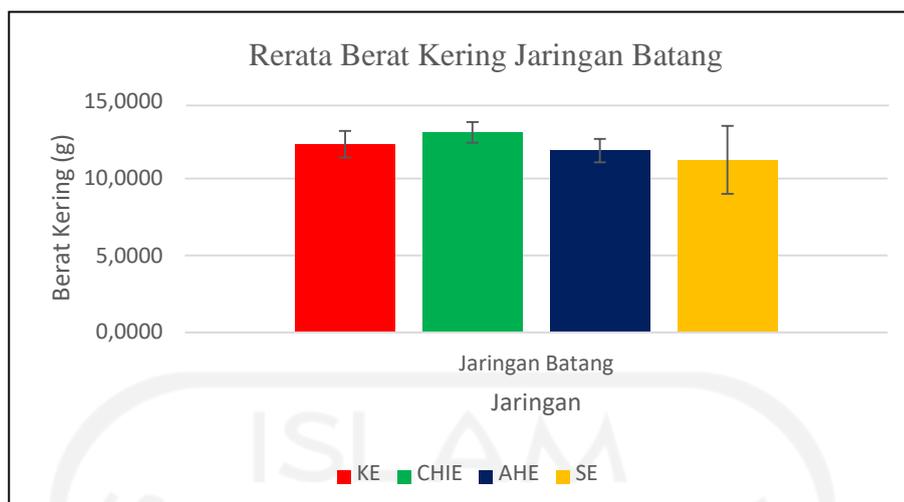
Gambar 4. 5 Rerata Grafik Berat Basah Jaringan Akar Tanaman *Melaleuca leucadendra*

2. Berat Kering Tanaman

Berat kering merupakan pendekatan lain untuk mengetahui penambahan biomassa pada tanaman. Berat kering tanaman dapat menunjukkan akumulasi senyawa organik dari sintesa senyawa anorganik (Kusumaningrum, Hastuti and Haryanti, 2007). Berat kering tanaman dibagi ke dalam dua bagian yaitu berat kering jaringan batang dan berat kering jaringan akar.

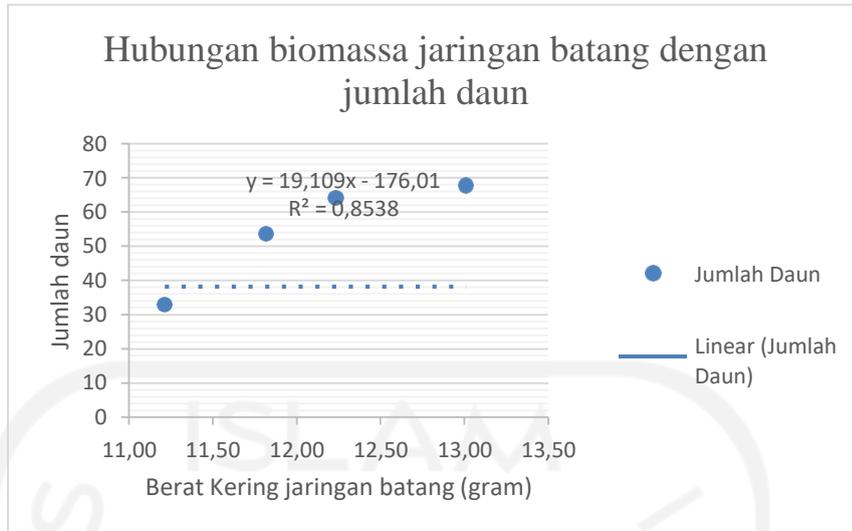
a. Berat Kering Jaringan Batang

Berat kering jaringan batang ditunjukkan pada **Gambar 4.6** Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Batang Tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE secara berturut-turut 12,2321 gram; 13,0104 gram; 11,8177 gram; dan 11,2132 gram.

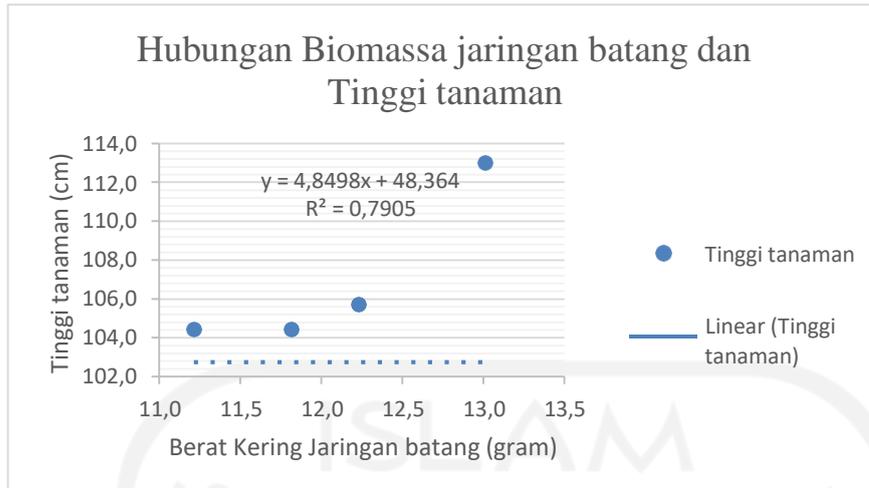


Gambar 4.6 Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Batang Tanaman *Melaleuca leucadendra*

Berat jaringan batang antara perlakuan CHIE, AHE, dan SE tidak memiliki perbedaan yang signifikan apabila dibandingkan dengan KE. Namun, Perbedaan yang signifikan terjadi pada perlakuan CHIE, AHE, dan SE dengan perlakuan KE yang paling unggul. Perbedaan terjadi karena adanya pengaruh dari jumlah daun dan tinggi tanaman yang dapat tumbuh lebih baik dari perlakuan lainnya. Selain itu pada perlakuan CHIE memiliki jumlah daun yang paling tinggi sehingga dapat berpengaruh terhadap berat kering jaringan batang. Hal ini dapat terjadi karena adanya penumpukan hasil fotosintesa dan terjadi produksi biomassa yang tinggi yang berhubungan dengan banyaknya jumlah daun serta tinggi tanaman (Kusumaningrum, Hastuti and Haryanti, 2007). Hubungan antara biomassa jaringan batang dan jumlah daun dapat dilihat pada **Gambar 4. 7** Hubungan biomassa jaringan batang dengan jumlah daun. Hubungan antara biomassa jaringan batang dan tinggi tanaman dapat dilihat pada **Gambar 4. 8** Hubungan biomassa jaringan batang dengan tinggi tanaman.



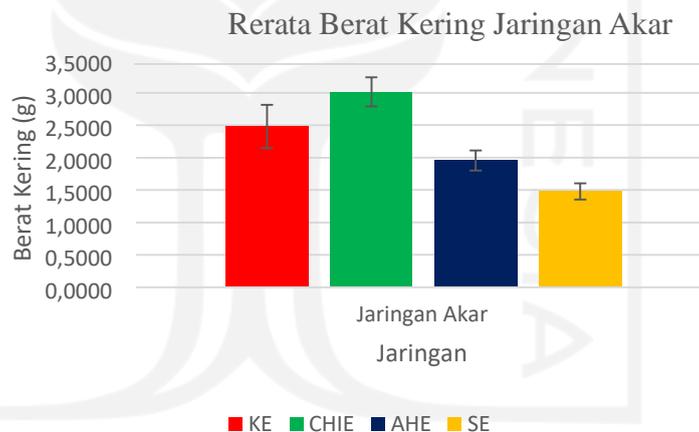
Gambar 4.7 Hubungan biomassa jaringan batang dengan jumlah daun



Gambar 4. 8 Hubungan biomassa jaringan batang dengan tinggi tanaman

b. Berat Kering Jaringan Akar

Berat kering jaringan akar ditunjukkan pada **Gambar 4. 9** Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Akar Tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE secara berturut-turut 2,4826 gram; 3,0151 gram; 1,9579 gram; dan 1,4781 gram.



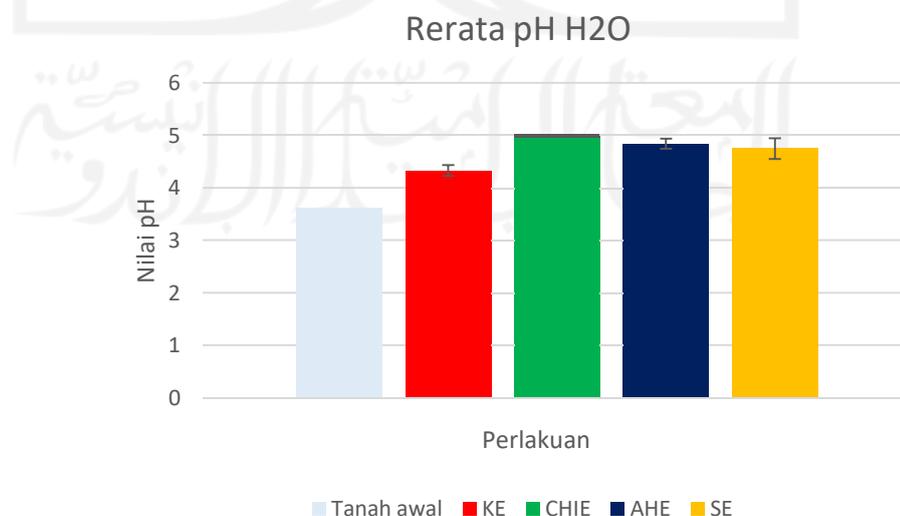
Gambar 4. 9 Grafik Rerata Berat Kering Jaringan Akar Tanaman *Melaleuca leucadendra*

Berat jaringan akar antara perlakuan CHIE, AHE, dan SE memiliki perbedaan yang signifikan apabila dibandingkan dengan KE. Pada perlakuan CHIE memiliki perbedaan yang signifikan lebih unggul daripada KE. Perlakuan AHE dan SE berat kering berada dibawah berat kering dari perlakuan KE. Terjadinya berat kering yang kecil dapat dipengaruhi oleh penghambatan produksi biomassa pada fase pertumbuhan tanaman (Kusumaningrum, Hastuti and Haryanti, 2007).

4.2 Hasil dan Analisa Pengujian pH Tanah

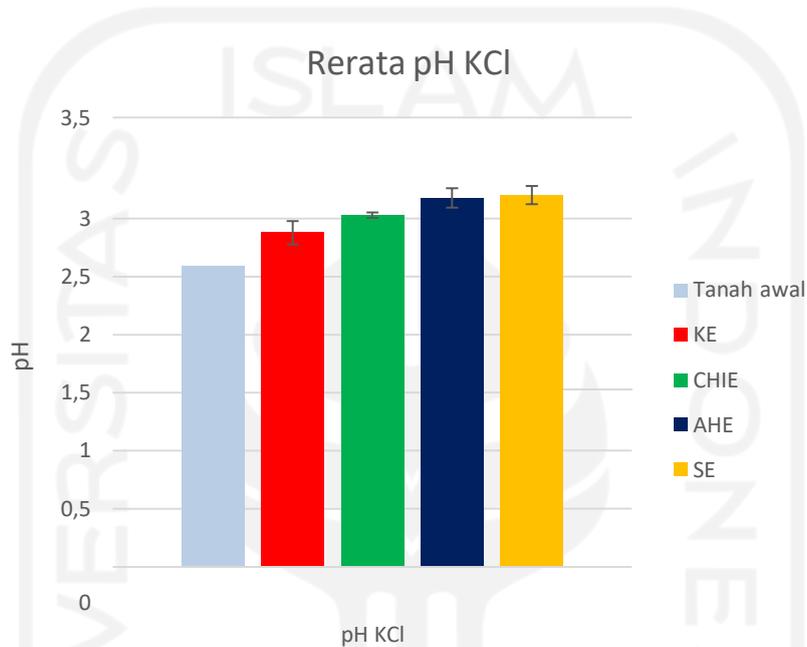
Pengukuran pH tanah dilakukan melalui dua cara yaitu dengan ekstraksi H_2O dan ekstraksi KCl. Derajat keasaman (pH) H_2O menunjukkan nilai pH aktual tanah sesuai dengan kondisi tanah sebenarnya atau menunjukkan ion H^+ yang masih bebas dalam larutan tanah. Derajat keasaman (pH) KCl menunjukkan keasaman potensial atau berada dalam kondisi terserap oleh permukaan tanah. Parameter pH H_2O digunakan karena ion H^+ dapat dimanfaatkan oleh tanaman dalam mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman. Parameter pH KCl menunjukkan penambahan ion H^+ pada tanah yang dapat menurunkan pH dalam tanah sehingga pH potensial memiliki nilai yang kecil dari pH aktual. pH KCl tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman secara langsung dan tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Sulaeman, Suparto and Eviati, 2009).

Berdasarkan **Gambar 4. 10** Grafik Rerata pH H_2O (*aktual*) pada tanah awal dan perlakuan menunjukkan pH aktual yang ada pada tanah gambut terjadi peningkatan berkat adanya penambahan bahan pembenah tanah dan bakteri endofit. Tanah gambut awal memiliki pH aktual 3,62 yang dapat dikategorikan dalam tanah sangat masam. Setelah perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE terjadi peningkatan pH aktual yang berturut-turut 4,3272 ; 4,8783 ; 4,8377; dan 4,7447. Tanah dengan perlakuan masih tergolong tanah sangat masam. Namun, dengan adanya bahan pembenah tanah dan bakteri endofit dapat meningkatkan pH aktual. Hal ini sesuai dengan persyaratan pH aktual untuk penanaman tanaman *Melaleuca leucadendra* yaitu 4-8,5 (Subhan and R. Benung, 2020) .



Gambar 4. 10 Grafik Rerata pH H_2O (*aktual*) pada tanah awal dan perlakuan

Berdasarkan **Gambar 4. 11** Grafik Rerata pH *KCl* (*potensial*) pada tanah awal dan perlakuan menunjukkan pH potensial yang ada pada tanah gambut terjadi peningkatan berkat adanya penambahan bahan pembenah tanah dan bakteri endofit. Tanah gambut awal memiliki pH potensial 2,589. Setelah perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE terjadi peningkatan pH potensial yang berturut-turut 2,8789 ; 3,0297 ; 3,1767; dan 3,2020.



Gambar 4. 11 Grafik Rerata pH *KCl* (*potensial*) pada tanah awal dan perlakuan

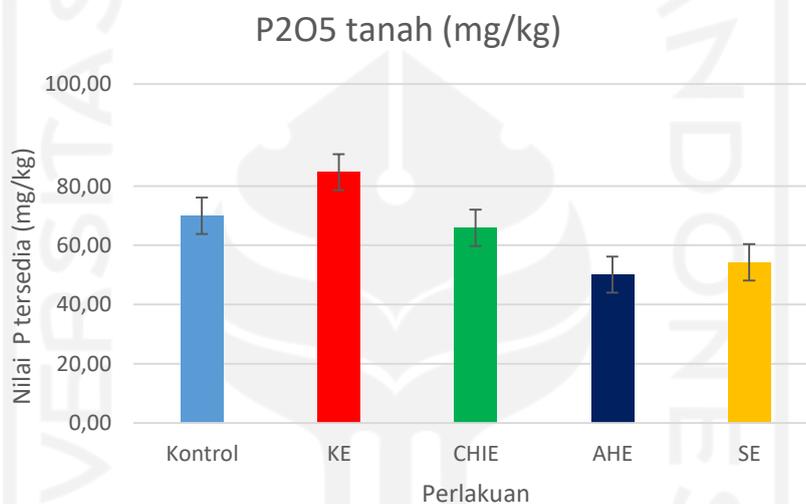
4.3 Hasil dan Analisa Pengujian Phosphate

Phosphate dalam kehidupan menjadi nutrisi penting bagi pertumbuhan tanaman. Phosphate berperan penting dalam aktifitas metabolisme tanaman seperti seperti produksi energi, fotosintesis dan respirasi, pembentukan nukleotida, perkecambahan dan pembentukan benih tanaman (Mwende Muindi, 2019). Pada penelitian ini dilakukan pengujian P tersedia dalam tanah dan P total pada jaringan.

4.3.1 Hasil dan Analisa pengujian P tersedia

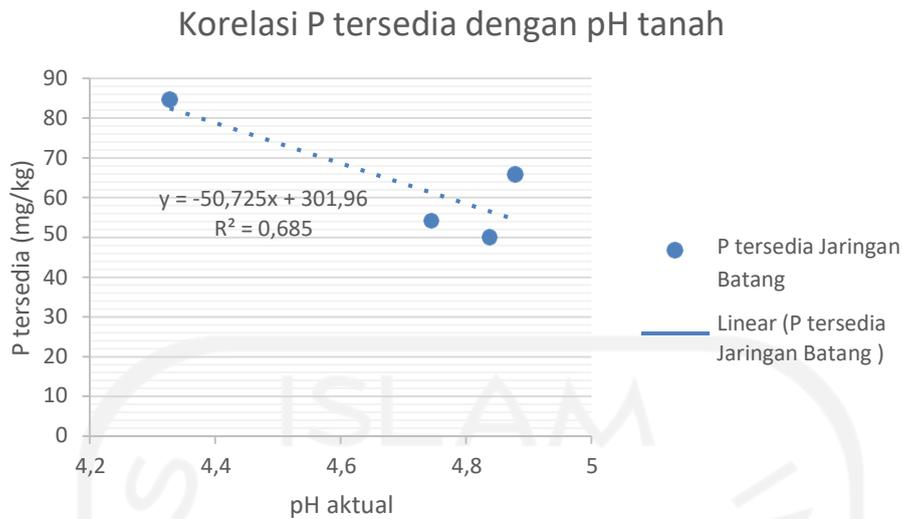
P tersedia pada tanah menunjukkan adanya ketersediaan unsur hara P pada tanah yang siap diserap oleh tanaman untuk proses metabolisme. Unsur P diserap dari tanah dalam bentuk $H_2PO_4^-$ dan/atau $H_2PO_4^{2-}$. Tanah seperti itu cenderung subur, karena sejumlah besar unsur hara P yang tersedia bermanfaat bagi tanaman (Susanto, 2005). Persyaratan P tersedia untuk tanaman *Melaleuca leucadendra* yaitu 17,9 mg/kg hingga

71,8 mg/kg [34]. Pada **Gambar 4. 12** tanah gambut awal memiliki kadar P tersedia dengan nilai 69,94 mg/kg yang masuk dalam kategori sangat tinggi. Pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE menunjukkan ketersediaan P sebesar 84,65 mg/kg; 65,89 mg/kg; 50,07 mg/kg; dan 54,21 mg/kg. Pada perlakuan KE memiliki P tersedia yang lebih tinggi signifikan daripada perlakuan lain. Semua menunjukkan bahwa hanya dengan penambahan bakteri endofit dapat meningkatkan ketersediaan tanah. Hal ini dikarenakan bakteri endofit dapat mengatur siklus unsur hara dengan cara mempengaruhi proses dekomposisi bahan organik yang berpengaruh terhadap pelepasan dan retensi unsur hara (E, Ch and Y, 2017).



Gambar 4. 12 Grafik Kadar P tersedia di Tanah gambut terbakar awal dan sesudah perlakuan

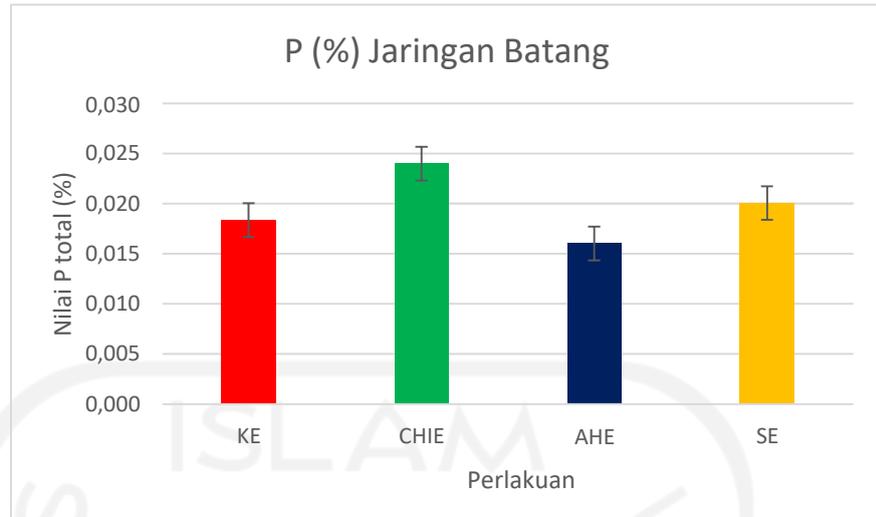
Berdasarkan **Gambar 4. 13** analisa P tersedia dengan pH aktual pada tanah memiliki tingkat hubungan yang kuat dengan nilai korelasi 0,685. Pada gambar 4.11 menunjukkan korelasi negatif yang berarti bahwa semakin tinggi pH maka semakin rendah kadar P tersedia di tanah. Apabila dibandingkan dengan teori, ketersediaan P akan meningkat dengan kondisi pH aktual yang meningkat pula. Hal ini terjadi karena pada pH rendah P akan berikatan dengan Fe menjadi Fe-P yang sukar larut dan menjadikan P tidak bisa tersedia untuk tanaman (Siregar and Fauzi, 2017).



Gambar 4. 13 Grafik Korelasi P tersedia dengan pH aktual Tanah

4.3.2 Hasil dan Analisa Pengujian P Total pada Jaringan Batang

P total pada jaringan batang merupakan P yang dapat di serap selama proses metabolisme tanaman. Berdasarkan **Gambar 4. 14** kadar P total yang diserap oleh tanaman *Melaleuca leucadendra* dengan perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE secara berurutan 0,018 % ; 0,024% ; 0,016 %; dan 0,020%. Kemampuan tanaman menyerap unsur hara paling tinggi yaitu pada perlakuan CHIE. Kadar P total pada tanaman berbeda nyata jika dibandingkan dengan persyaratan unsur hara tanaman. P total pada tanaman seharusnya memiliki nilai 0,1 % -0,4 % (Zewide and Reta, 2021). Penyerapan unsur hara P total pada tanaman *Melaleuca leucadendra* tidak dilakukan secara optimal. Hal ini disebabkan oleh adanya P yang berikatandengan Fe sehingga P tidak tersedia bagi tanaman.



Gambar 4. 14 Grafik Kadar P total pada jaringan batang sesudah perlakuan

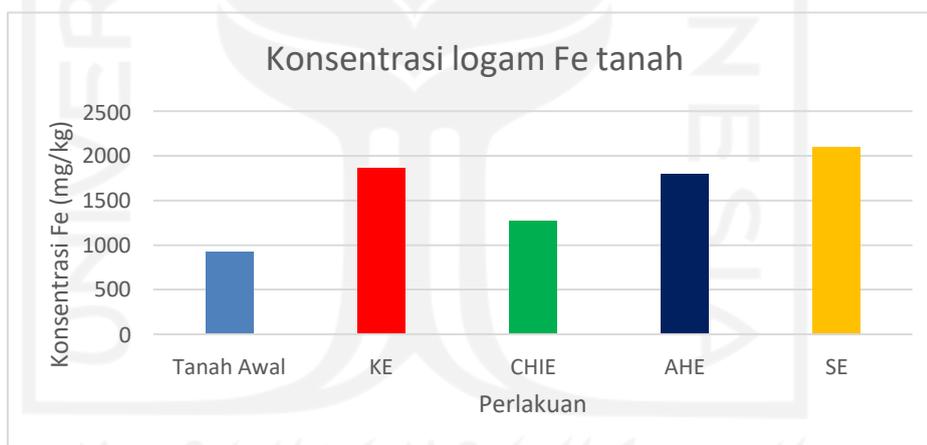
4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Logam berat

Keberadaan logam Fe, Mn, dan Zn pada tanah serta tanaman pada kadar tertentu menjadi unsur hara mikro yang dapat membantu pertumbuhan tanaman. Namun, apabila melebihi batas yang sudah ditentukan dapat memicu keracunan pada tanah maupun tanaman.

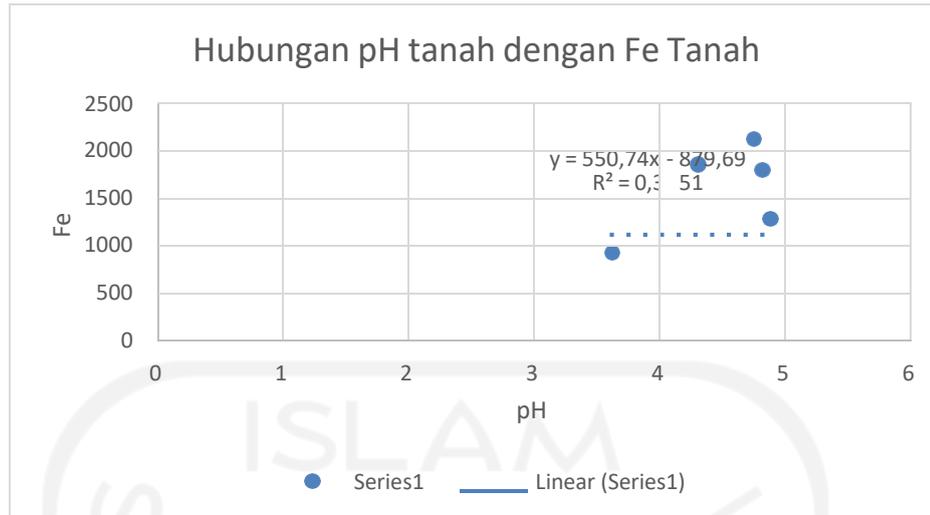
4.4.1 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembena Tanah pada serapan Fe Tanaman *Melaleuca leucadendra*

Berdasarkan analisa data pada **Gambar 4. 15** menunjukkan bahwa kadar Fe pada setiap perlakuan meningkat. Penambahan bahan pembena tanah dan bakteri endofit tidak dapat mendegradasi kandungan Fe pada tanah. Pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami peningkatan kandungan Fe dari tanah awal dengan konsentrasi masing-masing sebesar 1855,25 mg/kg; 1266,75 mg/kg; 1796,5 mg/kg; dan 2103,75 mg/kg.

Penambahan bahan pembena tanah dan bakteri endofit dapat berdampak pada peningkatan Fe dalam tanah sehingga melebihi baku mutu yaitu 100-300 mg/kg (Noor et al., 2016) . Hal ini terjadi karena adanya pelepasan ikatan Fe-P oleh bahan organik dari interaksi bakteri endofit dan bahan pembena tanah (Sari, Sudarsono and Darmawan, 2017). Selain itu nilai pH aktual juga berpengaruh pada peningkatan Fe pada tanah. Sesuai dengan **Gambar 4. 16** yang menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara Fe dan pH.



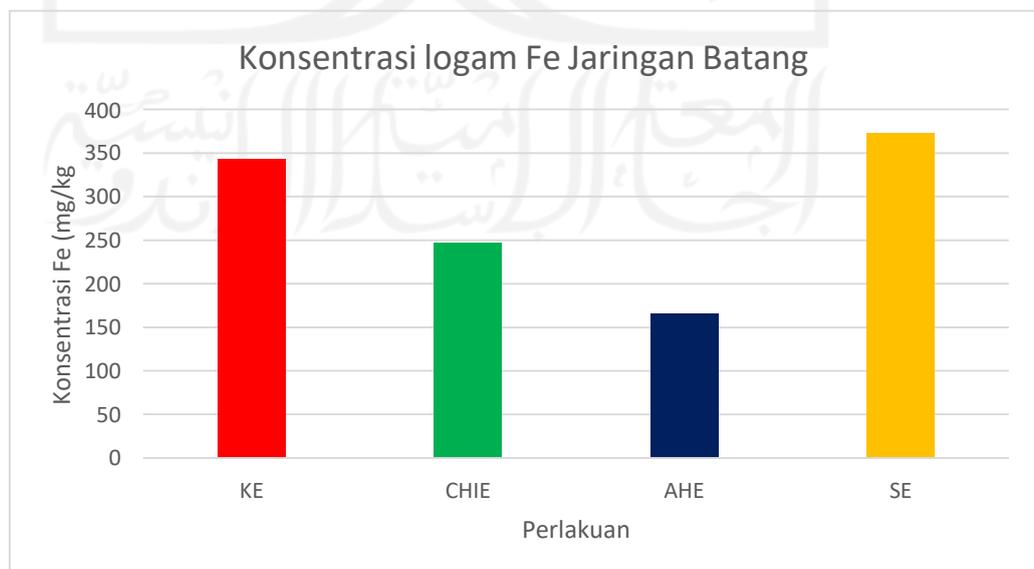
Gambar 4. 15 Grafik Konsentrasi logam Fe pada tanah gambut terbakar sebelum dan sesudah perlakuan



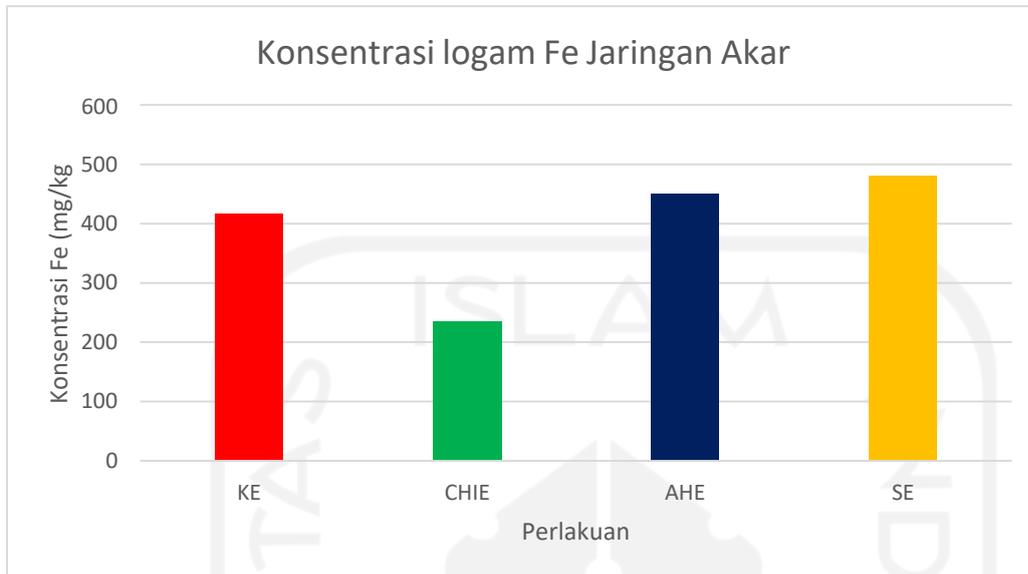
Gambar 4. 16 Grafik Korelasi logam Fe pada tanah dengan PH

Serapan logam Fe oleh jaringan batang dan jaringan akar dengan aplikasi bahan pembenah tanah dan endofit bervariasi. Perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami penyerapan Fe pada jaringan batang dari tanah dengan konsentrasi masing-masing sebesar 416,1mg/kg; 234,45 mg/kg; 450,05 mg/kg; dan 480,15 mg/kg.

Perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami penyerapan Fe pada jaringan akar dari tanah dengan konsentrasi masing-masing sebesar 342,75 mg/kg; 246,9 mg/kg; 165,55mg/kg; dan 373,3 mg/kg. Berdasarkan grafik **Gambar 4. 17** dan **Gambar 4. 18** menunjukkan perlakuan SE dapat mengakumulasi Fe lebih baik dari perlakuan lainnya. Akumulasi Fe pada perlakuan SE paling baik yaitu pada jaringan batang.



Gambar 4. 17 Grafik Konsentrasi logam Fe Jaringan Batang

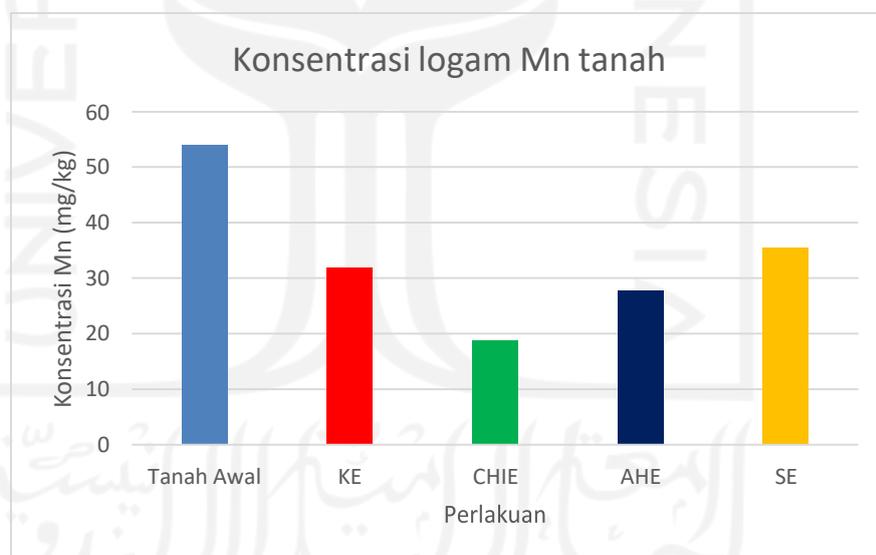


Gambar 4. 18 Grafik Konsentrasi logam Fe Jaringan Akar

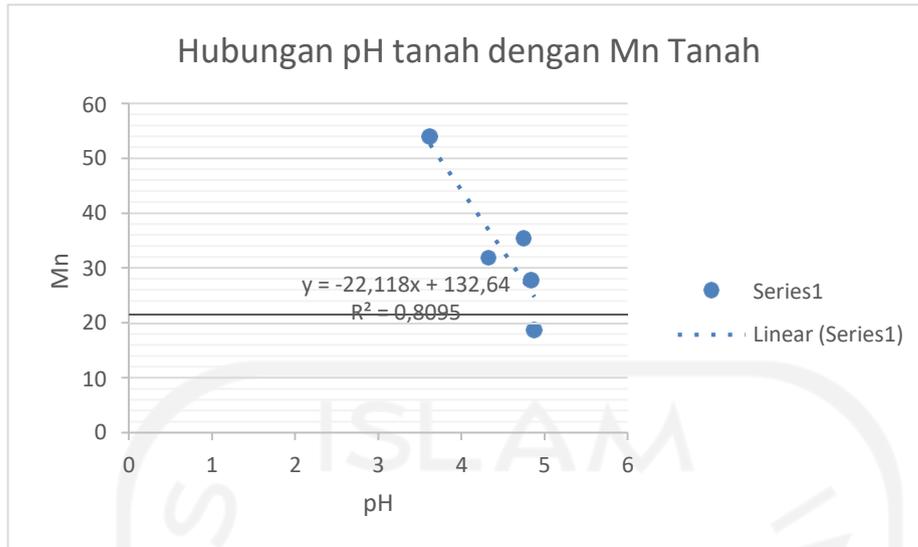
4.4.2 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembenh Tanah pada serapan Mn Tanaman *Melaleuca leucadendra*

Berdasarkan analisa data pada **Gambar 4. 19** menunjukkan bahwa kadar Mn pada setiap perlakuan dapat direduksi. Penambahan bahan pembenh tanah dan bakteri endofit dapat mendegradasi kandungan Mn pada tanah sesuai baku mutu 50 mg/kg (Schulze *et al.*, 2019 . Pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami penurunan kandungan Mn dari konsentrasi 53,93 mg/kg menjadi konsentrasi masing-masing sebesar 31,81 mg/kg; 18,67 mg/kg; 27,79 mg/kg; dan 35,40 mg/kg.

Kemampuan perlakuan CHIE tampak nyata pada **Gambar 4. 19** hal ini berkaitan dengan nilai pH yang mendekati netral. Kondisi pH tersebut dapat menurunkan mobilitas Mn pada tanah (Budiyanto, 2006). Hubungan pH dan konsentrasi Mn Dapat dilihat pada grafik korelasi **Gambar 4. 20** menunjukkan hubungan korelasi dengan nilai 0,8095. Nilai tersebut membuktikan bahwa pH dan Mn berhubungan sangat kuat. Grafik gambar 4.20 dapat diartikan terjadinya penurunan nilai Mn jika nilai pH mulai meningkat mendekati netral.

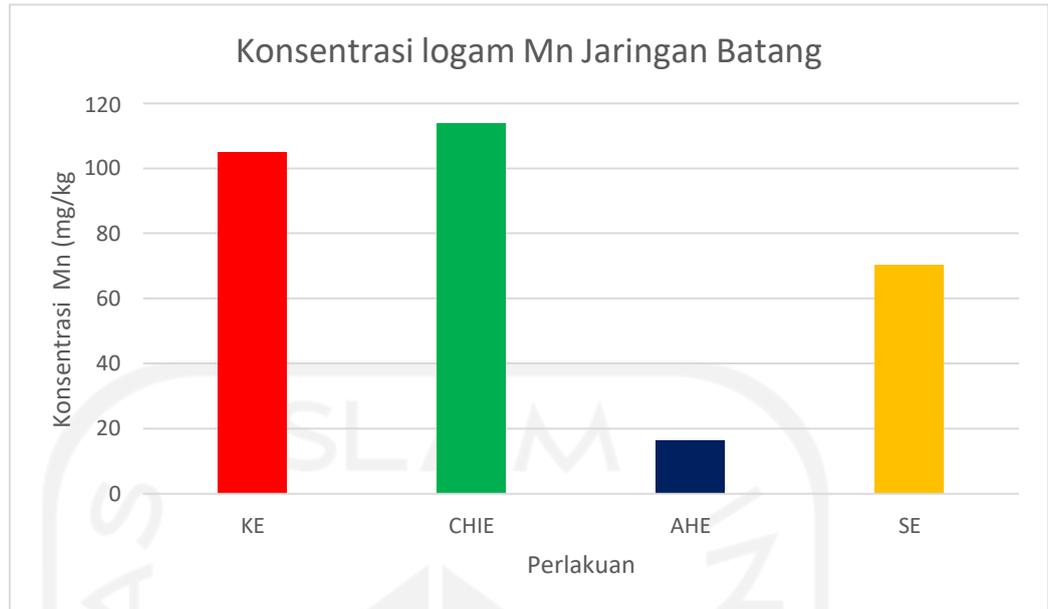


Gambar 4. 19 Grafik Konsentrasi penurunan logam Mn di tanah

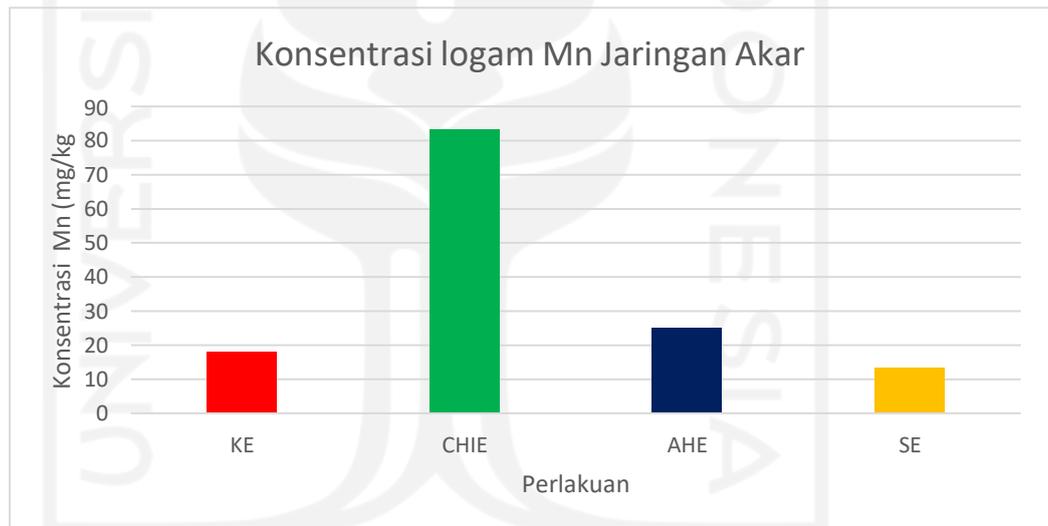


Gambar 4. 20 Grafik korelasi pH tanah dengan Mn

Bakteri endofit mampu membantu menguraikan Mn menjadi Mn tersedia bagi tanaman. Hal tersebut berhubungan dengan akumulasi Mn di tanaman nampak tinggi pada grafik **Gambar 4. 21** dan **Gambar 4. 22**. Apabila dibandingkan antara ke dua jaringan, akumulasi Mn di tanaman paling tinggi terletak pada jaringan batang. Konsentrasi Mn pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE jaringan batang secara berurutan yaitu 104,97 mg/kg ; 113,97 mg/kg; 16,33 mg/kg; dan 70,44 mg/kg. Akumulasi paling tinggi yaitu pada perlakuan CHIE. Konsentrasi Mn pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE jaringan akar secara berurutan yaitu 18,10 mg/kg ; 83,16 mg/kg; 25,11 mg/kg; dan 13,46 mg/kg. Akumulasi paling tinggi yaitu pada perlakuan CHIE.



Gambar 4. 21 Grafik Konsentrasi logam Mn pada jaringan batang



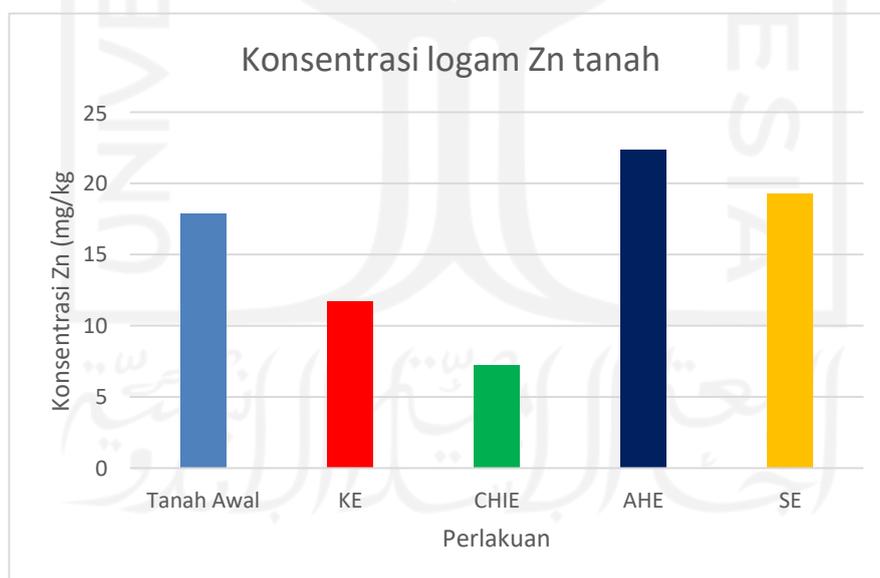
Gambar 4. 22 Grafik Konsentrasi logam Mn pada jaringan Akar

4.4.3 Pengaruh Aplikasi Endofit dan Bahan Pembena Tanah pada serapan Zn Tanaman *Melaleuca leucadendra*

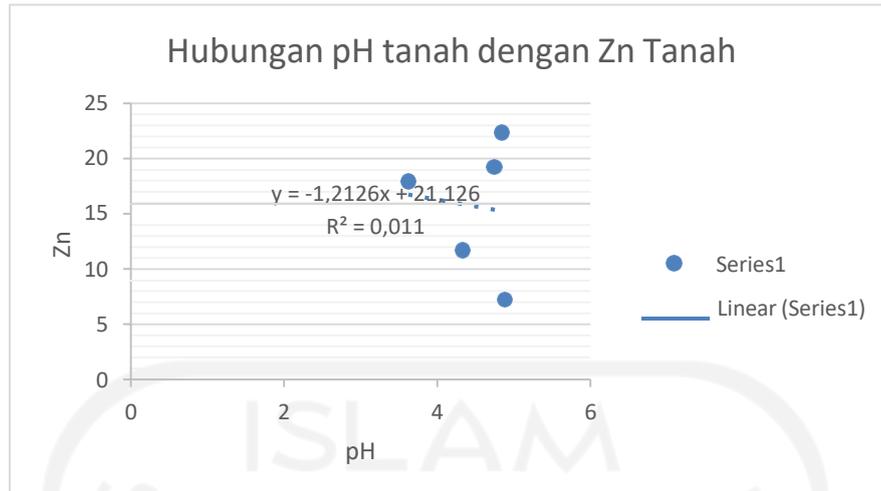
Berdasarkan analisa data pada **Gambar 4. 23** menunjukkan bahwa kadar Zn pada perlakuan KE dan CHIE dapat direduksi. Penambahan bahan pembena tanah dan bakteri endofit dapat mendegradasi kandungan Zn pada tanah. Namun, pada perlakuan AHE dan SE tidak dapat mendegradasi kandungan Zn pada tanah. Konsentrasi logam pada perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE masing-masing sebesar 11,7198 mg/kg; 7,23 mg/kg; 22,35 mg/kg; dan 19,24 mg/kg.

Berdasarkan analisa data kemampuan perlakuan CHIE tampak nyata menurunkan pada **Gambar 4. 23** hal ini disebabkan oleh adanya pengikatan Zn oleh kitosan pada tanah. Kitosan dengan bantuan bakteri endofit mampu menurunkan logam Zn lebih dari 90% (Zhang *et al.*, 2021).

Pada proses degradasi logam Zn, nilai pH tidak berkorelasi. Nilai hubungan yang terjadi antara Zn dengan pH menunjukkan nilai 0,011 yang berarti tidak ada korelasi sesuai grafik **Gambar 4. 24**.



Gambar 4. 23 Grafik Konsentrasi logam Zn pada tanah

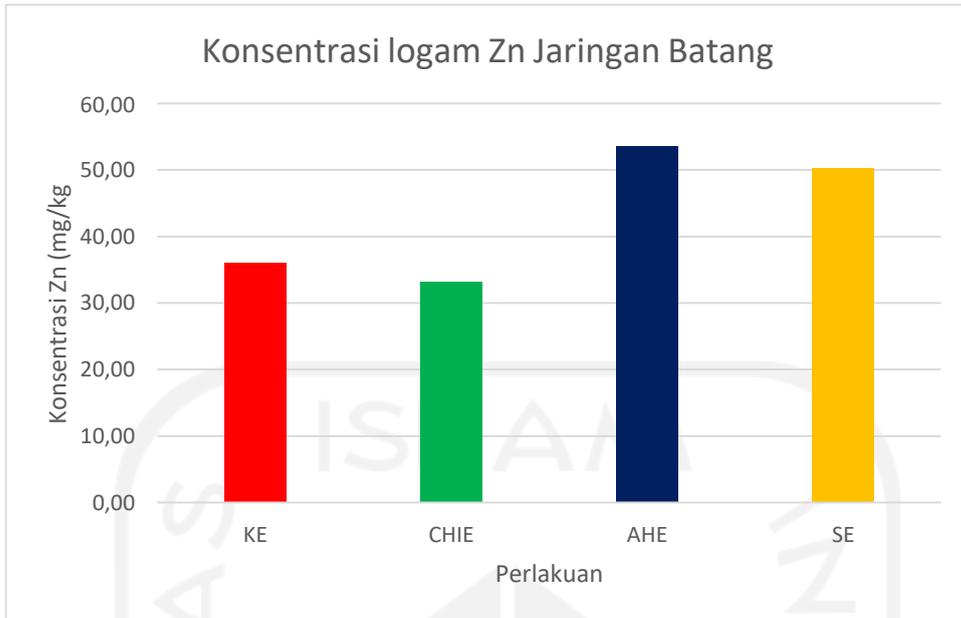


Gambar 4. 24 Grafik Hubungan pH tanah dengan Zn Tanah

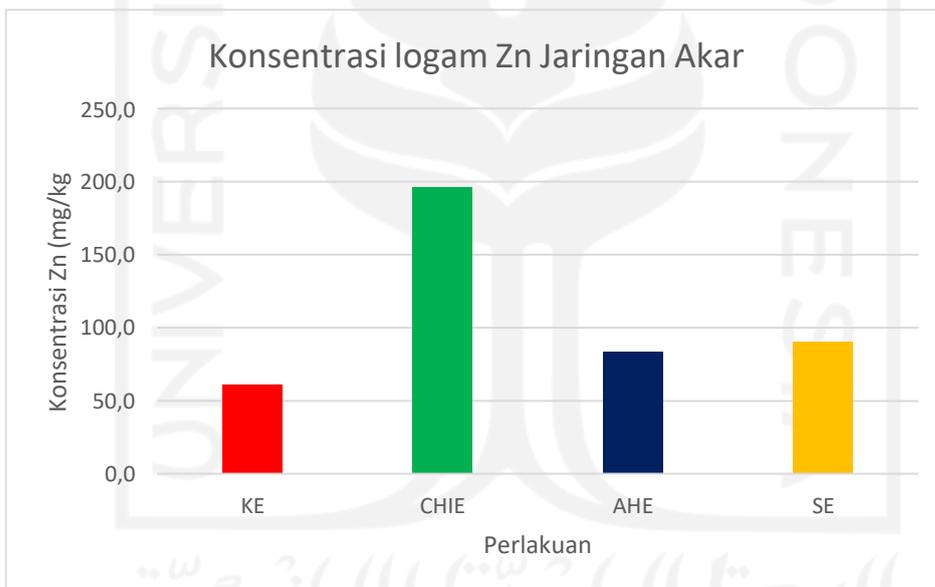
Perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami penjerapan Zn pada jaringan batang dari tanah dengan konsentrasi masing-masing sebesar 36,11 mg/kg; 33,21 mg/kg; 53,60 mg/kg; dan 50,35 mg/kg.

Perlakuan KE, CHIE, AHE, dan SE mengalami penjerapan Zn pada jaringan akar dari tanah dengan konsentrasi masing-masing sebesar 61,21 mg/kg; 96,3mg/kg; 83,3 mg/kg; dan 1248,2 mg/kg.

Serapan logam Zn oleh jaringan batang pada gambar **Gambar 4. 25** dan jaringan akar pada **Gambar 4. 26** dengan aplikasi bahan pembenah tanah dan endofit bervariasi. Jaringan batang dengan perlakuan AHE menunjukkan akumulasi Zn paling tinggi daripada perlakuan lainnya. Pada jaringan akar perlakuan CHIE menunjukkan akumulasi Zn paling tinggi daripada perlakuan lainnya.



Gambar 4. 25 Grafik Konsentrasi logam Zn pada jaringan batang



Gambar 4. 26 Grafik Konsentrasi logam Zn pada jaringan akar



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Setelah menganalisa kecenderungan bahan pembenah tanah dan bakteri endofit, dapat disimpulkan:

1. Aplikasi kitosan dan bakteri endofit dalam upaya restorasi lahan gambut bekas terbakar berpengaruh secara optimal untuk meningkatkan produksi biomassa melalui tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, dan berat kering tanaman *Melaleuca leucadendra*.
2. Aplikasi kitosan dan bakteri endofit memiliki dampak yang sangat baik untuk mengurangi konsentrasi Mn hingga 65% dan Zn hingga 60% , membantu meningkatkan pH aktual (H₂O) menjadi 4,8783, membantu meningkatkan pH KCl menjadi 3,0297, meningkatkan serapan konsentrasi *phosphate* pada batang *Melaleuca leucadendra* hingga 0.024 %, dan menyediakan *phosphate* tersedia hingga 65,89 mg/kg.

5.2 Saran

Berdasarkan evaluasi dan harapan dari penelitian ini , diberikan beberapa saran :

1. Pengaplikasian bahan pembenah tanah dan bakteri endofit pada lahan gambut terbakar.
2. Melanjutkan penelitian dengan variasi dosis bahan pembenah, sehingga mendapatkan dosis optimal.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afzal, I. *et al.* (2019) 'Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants', *Microbiological Research*, 221(December 2018), pp. 36–49. doi: 10.1016/j.micres.2019.02.001.
- Agus, C. *et al.* (2020) 'Paramagnetic Humus and Callophyllum inophyllum for Rehabilitation of Tropical Anthropogenic Deserted Tin-mined Soil', 29(7), pp. 2931–2941.
- Anang, F. M. and Subowo (2012) 'Dampak Kebakaran Lahan Terhadap Kesuburan Fisik, Kimia, Dan Biologi Tanah Serta Alternatif Penanggulangan Dan Pemanfaatannya The Impact of Land Burning on Soil Physical Fertility, Chemistry, and Biology and their Alternative Controlling and Usage', pp. 89–100.
- Arifudin, Nasrul, B. and Maswadi (2013) 'Program of Community Empowerment Prevents Forest Fires in Indonesian Peat Land', *Procedia Environmental Sciences*, 17, pp. 129–134. doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.020.
- Astiani, D., Mintari and Fernando, M. T. (2019) 'Beberapa Sifat Fisik dan Kimia Gambut Terbakar dan Tidak Terbakar di Desa Sungai Besar Kabupaten Ketapang', *Hutan Lestari*, 7, pp. 947–955.
- Budiyanto, G. (2006) *Biokimia Mn dalam Tanah, Agroteknologi*. Yogyakarta.
- Carmenta, R. *et al.* (2021) 'Evaluating bundles of interventions to prevent peat-fires in Indonesia', *Global Environmental Change*, 67(September 2019), p. 102154. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102154.
- E, K., Ch, S. and Y, R. (2017) 'Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair dan Mikroorganismen terhadap Keasaman dan P-Tersedia pada Tanah Ultisol', *Mikologi Indonesia*, 1(1),

pp. 28–37.

- Eris, D. D. *et al.* (2019) 'Pengaruh kitosan, mikroba antagonis, dan bakteri endofit dalam menekan perkembangan penyakit bercak daun pada bibit kelapa kopyor (Effect of chitosan, antagonist and endophytic bacteria in suppressing the development of leaf spot disease in kopyor coconut)', *E-Journal Menara Perkebunan*, 87(1), pp. 41–51. doi: 10.22302/iribb.jur.mp.v87i1.324.
- Gunawan, H. and Afriyanti, D. (2019) 'Potensi Perhutanan Sosial dalam Meningkatkan Partisipasi Masyarakat dalam Restorasi Gambut', *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13(2), p. 227. doi: 10.22146/jik.52442.
- Huang, S. *et al.* (2020) 'Plant Nutrition for Human Nutrition: Hints from Rice Research and Future Perspectives', *Molecular Plant*, 13(6), pp. 825–835. doi: 10.1016/j.molp.2020.05.007.
- Iriana, D. D., Sedjati, S. and Yulianto, B. (2018) 'Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal', *Marine Research*, 7(4), pp. 303–309.
- Khomsah, N. K. *et al.* (2014) *Budidaya dan Prospek Pengembangan Kayu Putih*. Budidaya t. Jakarta: IPB Press.
- Kuncaka, A. (2018) *Humus Sintesis (SROP) Solusi Atasi Krisis Pangan, Jogja TV*. Yogyakarta.
- Kusumaningrum, I., Hastuti, R. B. and Haryanti, S. (2007) 'Pengaruh Perasan *Sargassum crassifolium* dengan Konsentrasi yang Berbeda terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill)', *Anatomi Fisiologi*, XV(2), pp. 7–13. doi: 10.14710/baf.v15i2.2567.
- Lukmansyah, A., Niswati, A. and Buchari, H. (2020) 'Pengaruh Asam Humat Dan Pemupukan P Terhadap Respirasi Tanah Pada Pertanaman Jagung Di Tanah Ultisols Effect Of Humic Acid And Phosphate Fertilization On The Soil

- Respiration Of Corn Plants On Ultisols', *Agrotek*, 8(3), pp. 527–535.
- Ma, Y. *et al.* (2016) 'Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation', *Journal of Environmental Management*, 174, pp. 14–25. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.02.047.
- Masganti *et al.* (2014) 'Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Lahan Gambut Terdegradasi di Provinsi Riau', *Review*, pp. 59–66.
- Masganti, M., Anwar, K. and Susanti, M. A. (2020) 'Potensi dan Pemanfaatan Lahan Gambut Dangkal untuk Pertanian', *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), p. 43. doi: 10.21082/jsdl.v11n1.2017.43-52.
- Muharam and Saefudin, A. (2016) 'Pengaruh Berbagai Pembenh Tanah Terhadap Pertumbuhan Dan Populasi Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa*, L) Varietas Dendang Di Tanah Salin Sawah Bukaan Baru', *Agrotek Indonesia*, 1(2), pp. 141–150.
- Mwende Muindi, E. (2019) 'Understanding Soil Phosphorus', *International Journal of Plant & Soil Science*, (December), pp. 1–18. doi: 10.9734/ijpss/2019/v31i230208.
- Noor, A. *et al.* (2016) 'Pengaruh Konsentrasi Besi dalam Larutan Hara terhadap Gejala Keracunan Besi dan Pertumbuhan Tanaman Padi', *Indonesian Journal of Agronomy*, 40(2), pp. 91–98. doi: 10.24831/jai.v40i2.14311.
- Noor, M., Masganti and Agus, F. (2015) 'Pembentukan dan Karakteristik Gambut Tropika Indonesia', pp. 7–32.
- Nur, F., Wilarso, S. and Sekar, A. (2017) 'Peran Fungi Mikoriza Arbuskula (Fma) Dan Asam Humat Terhadap Pertumbuhan Balsa (*Ochroma Bicolor* Rowlee .) Pada Tanah Terkontaminasi Timbal (Pb) The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Humid Acid

Toward Balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee .) G', 7(1), pp. 72–78.

- Nurhayati, Razali and Zurida (2014) 'Peranan Berbagai Jenis Bahan Pembenh Tanah Terhadap Status Hara P Dan Perkembangan Akar Kedelai Pada Tanah Gambut Asal Ajamu Sumatera Utara Role of Various Ameliorans on P Nutrient and Soybean Root Development in Peat Soil of Ajamu North Sumatera', *Floratek*, 9, pp. 29–38.
- Nurohman, A. *et al.* (2019) 'Evaluation Of Revegetation Plants In Peat Restoration Programs In Bone Wild Protected Forest AreaSouth Kalimantan', 02(5), pp. 804–812.
- Puspita, F., Saputra, S. I. and Merini, D. J. (2019) 'Uji Beberapa Konsentrasi Bakteri *Bacillus* sp. Endofit untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.)', *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 46(3), pp. 322–327. doi: 10.24831/jai.v46i3.16342.
- Rachmat, I. (2015) 'PENGARUH KONSENTRASI PUPUK ORGANIK CAIR CHITOSAN TERHADAP BINTIL AKAR, PERTUMBUHAN, DAN HASIL TIGA KULTIVAR TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L. Merrill)', *Agroswagati*, 3(2), pp. 352–363.
- Rajkumar, M., Ae, N. and Freitas, H. (2009) 'Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction', *Chemosphere*, 77(2), pp. 153–160. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.06.047.
- Reichman, S. M. *et al.* (2004) 'Responses of four Australian tree species to toxic concentrations of copper in solution culture', *Journal of Plant Nutrition*, 29(6), pp. 1127–1141. doi: 10.1080/01904160600689274.
- Rusli, R. and Rahmaniar, D. (2013) 'Penelusuran Potensi Mikroba Endofit dari Rimpang Paku Kepala Tupai

- (*Dynariaquercifolia* J.8mlth) Sebagai Penghasil Senyawa Antibiotika', *Jurnal Ilmiah As-Syifaa*, 5(2), pp. 128–139. doi: 10.33096/jifa.v5i2.54.
- Sadono, R., Soeprijadi, D. and Wirabuana, P. Y. A. P. (2020) 'Kesesuaian lahan untuk pengembangan tanaman kayu putih dan implikasinya terhadap teknik silvikultur', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(1), pp. 43–51. doi: 10.29244/jpsl.10.1.43-51.
- Sahrawat, K. L. (2000) 'Elemental composition of the rice plant as affected by iron toxicity under field conditions', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(17–18), pp. 2819–2827. doi: 10.1080/00103620009370630.
- Sari, M. N., Sudarsono and Darmawan (2017) 'PENGARUH BAHAN ORGANIK TERHADAP KETERSEDIAAN FOSFOR PADA TANAH-TANAH KAYA Al DAN Fe Effect of Organic Matter on Phosphorus Availability in Soils Rich of Al and Fe', *Buletin Tanah dan Lahan*, 1(1), pp. 65–71.
- Sasmita, E. R. and Haryanto, D. (2016) 'PENERAPAN KITOSAN TERHADAP PERTUMBUHAN VEGETATIF TANAMAN KEMIRI SUNAN', *Agrotek*, 1(2).
- Schulze, E. *et al.* (2019) *Plant ecology*. Second edi, *Nature*. Second edi. Germany: Spinger. doi: 10.1038/111827b0.
- Siregar, P. and Fauzi, S. (2017) 'Pengaruh Pemberian Beberapa Sumber Bahan Organik Dan Masa Inkubasi Terhadap Beberapa Aspek Kimia Kesuburan Tanah Ultisol', *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 5(2), pp. 256–264. doi: 10.32734/jaet.v5i2.15383.
- Subekti, S. and Sudrajat, A. S. E. (2019) 'Pengelolaan Ekosistem Gambut Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim di

Provinsi Kalimantan Selatan', *Jurnal Planologi*, 16(2), pp. 219–237. Available at: <http://jurnal.unissula.ac.id/index.php/psa>.

- Subhan, E. and R. Benung, M. (2020) 'Analisis Kesesuaian Lahan Budidaya Tanaman Kayu Putih (*Melaleuca leucadendra*) di Kecamatan Bukit Batu Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah', *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), pp. 83–90. doi: 10.33084/mitl.v5i2.1639.
- Sulaeman, Suparto and Eviati (2009) 'Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk', *Tanah dan Lahan*, 1(1), pp. 66–71.
- Suptija, P., Jacob, A. M. and Sugara, M. (2010) 'Teknik Peranan Kitosan dalam Peningkatan Pertumbuhan Tomat (*Lycopersicum esculentum*) Selama Fase Vegetatif', *Sumberdaya Perairan*, 4, pp. 24–29.
- Susanto, A. N. (2005) 'Pemetaan Dan Pengelolaan Status Kesuburan Tanah', *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 8(3), pp. 315–332.
- de Vries, W. *et al.* (2013) 'Critical Loads of Heavy Metals for Soils', (January), pp. 211–237. doi: 10.1007/978-94-007-4470-7_8.
- Yuliani, F. (2018) 'Implementasi perlindungan dan pengelolaan ekosistem gambut serta pengendalian kebakaran hutan dan lahan', *Kebijakan Publik*, 9, pp. 37–44.
- Yuliani, F. and Rahman, A. (2018) 'Peatland Restoration Method In The Context Of Peatland Fire Disaster Mitigation And Community Empowrment', *Sosio Informa*, 4(02), pp. 448–460.
- Yuliyati, Y. B. *et al.* (2016) 'ISOLASI KARAKTERISASI T ASAM HUMAT DAN PENENTUAN DAYA SERAP NYA TERHADAP ION LOGAM Pb (II) Cu (II) DAN Fe (II)', 4(li), pp. 43–53.
- Zain, N. M. and Bachtiar, T. (2018) 'Kontribusi Nitrogen dari Bakteri

Endofit pada Tanaman Padi', (August). doi:
10.17146/jair.2018.14.1.4152.

Zewide, I. and Reta, Y. (2021) 'Direct Research Journal of Agriculture and Food Science Review Paper Review on the role of soil macronutrient (NPK) on the improvement and yield and quality of agronomic crops', (February). doi:
10.26765/DRJAFS23284767.

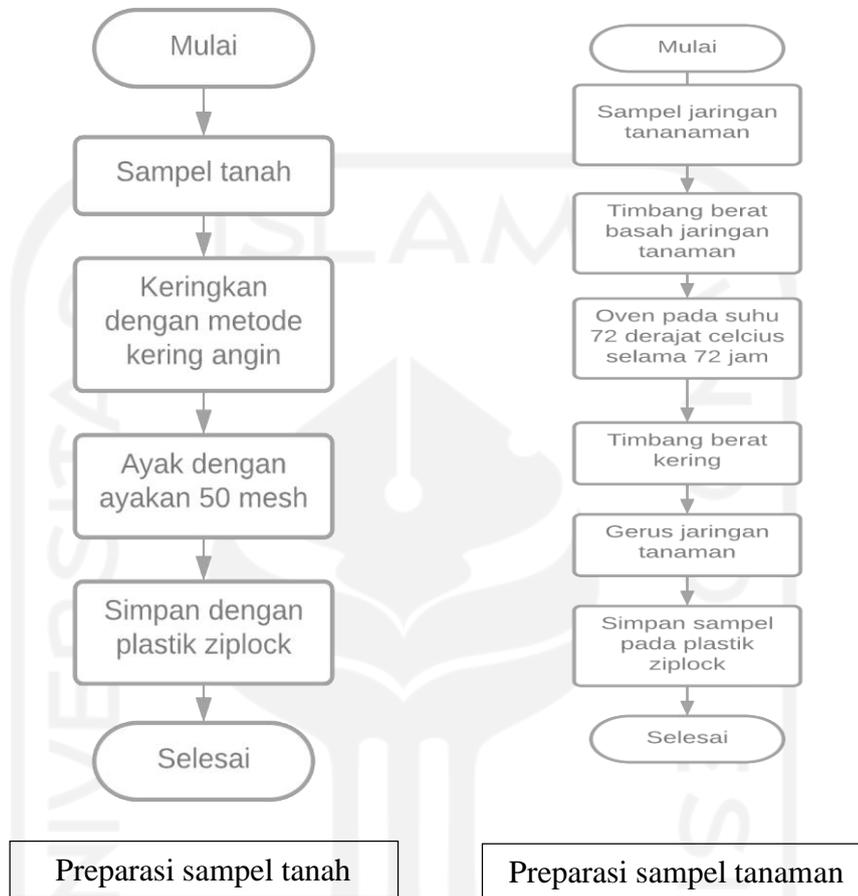
Zhang, Y. *et al.* (2021) 'Research progress of adsorption and removal of heavy metals by chitosan and its derivatives: A review', *Chemosphere*, 279(May), p. 130927. doi:
10.1016/j.chemosphere.2021.130927.

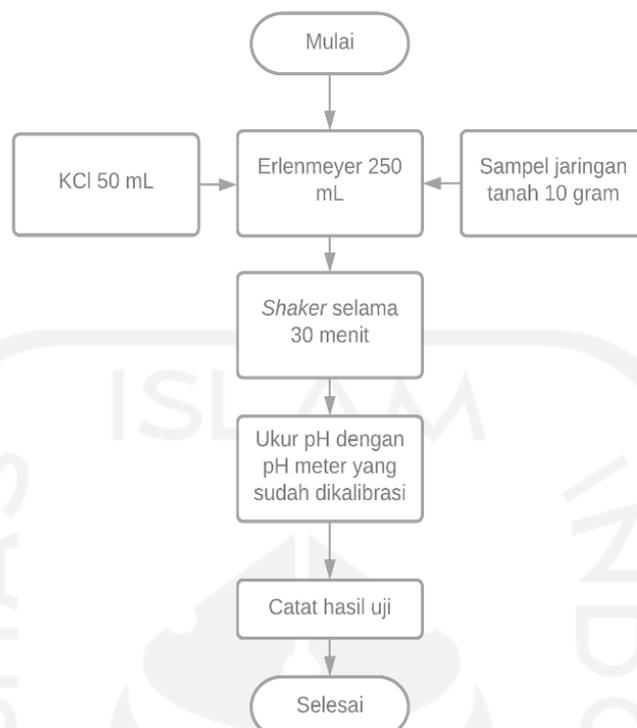




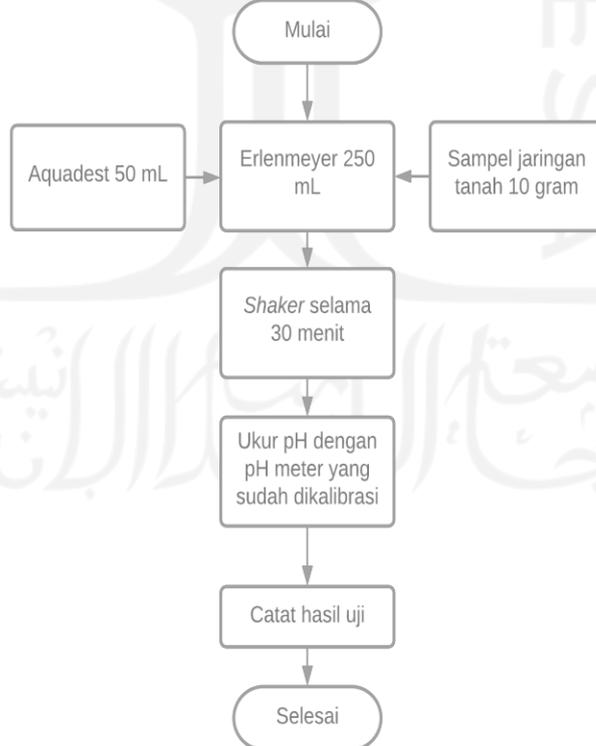
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Langkah Uji Sampel

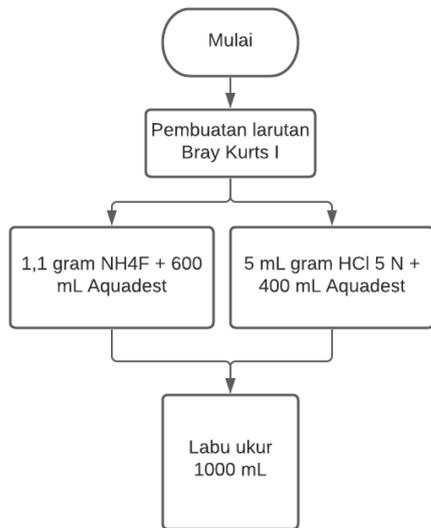




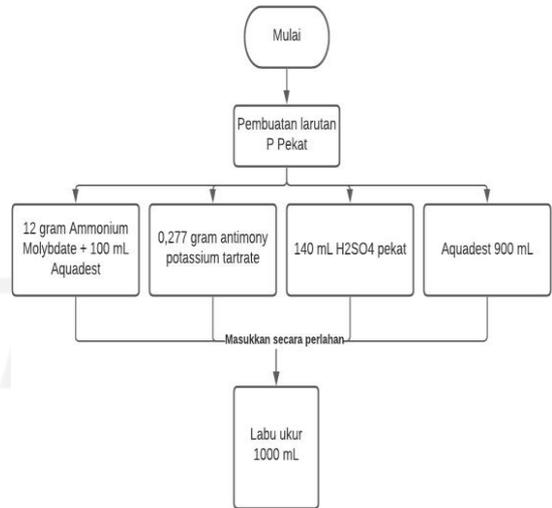
Uji pH KCl



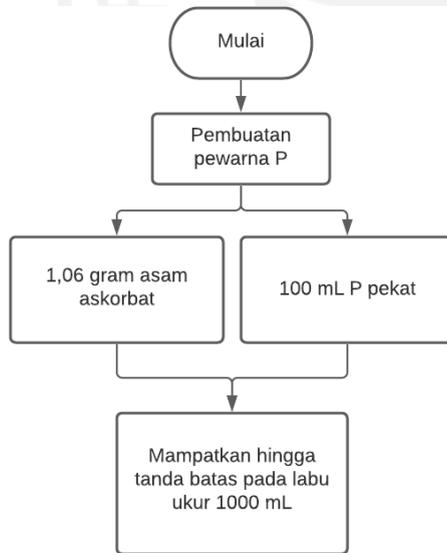
Uji pH H₂O



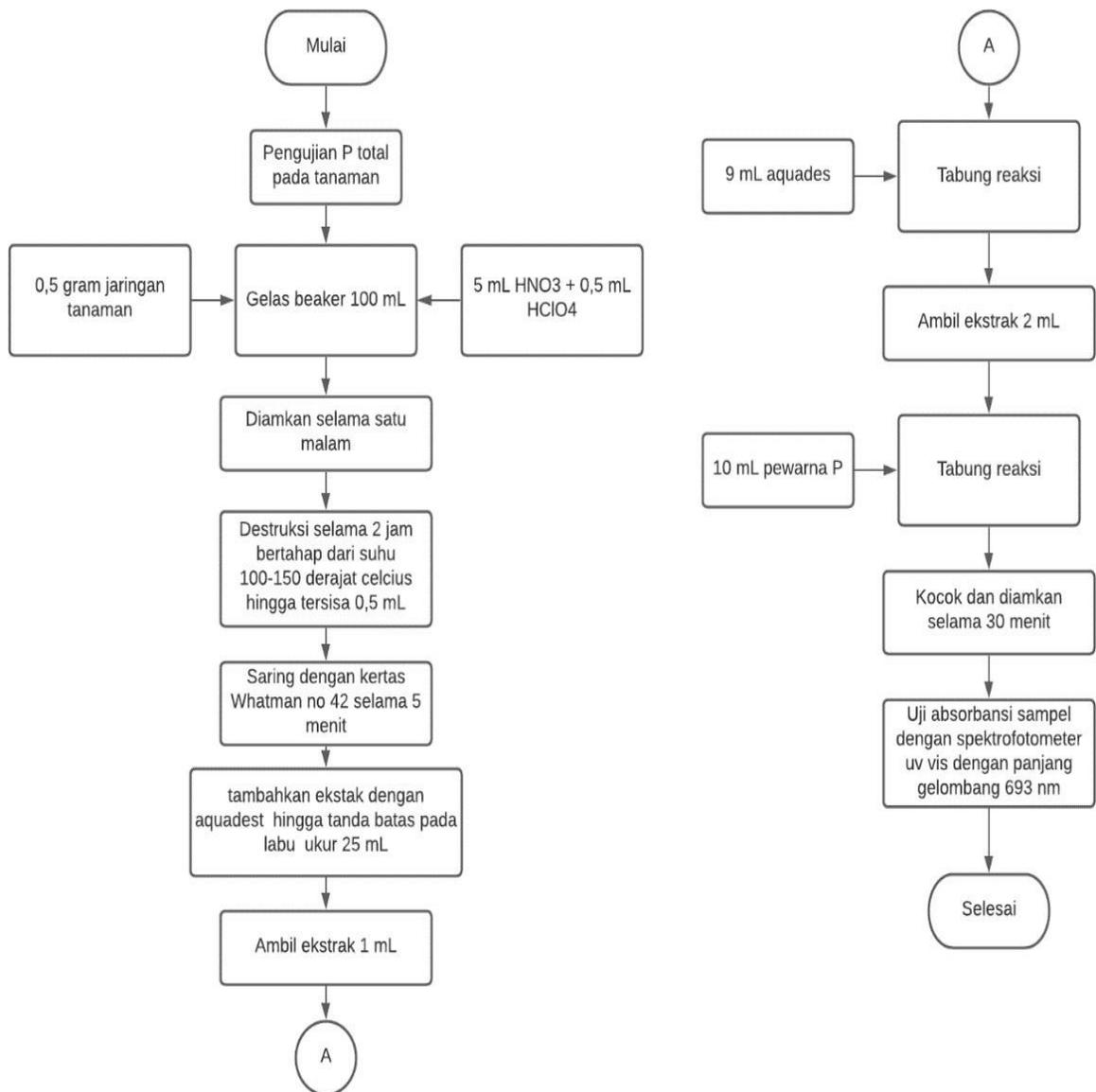
Pembuatan larutan bray kurts 1



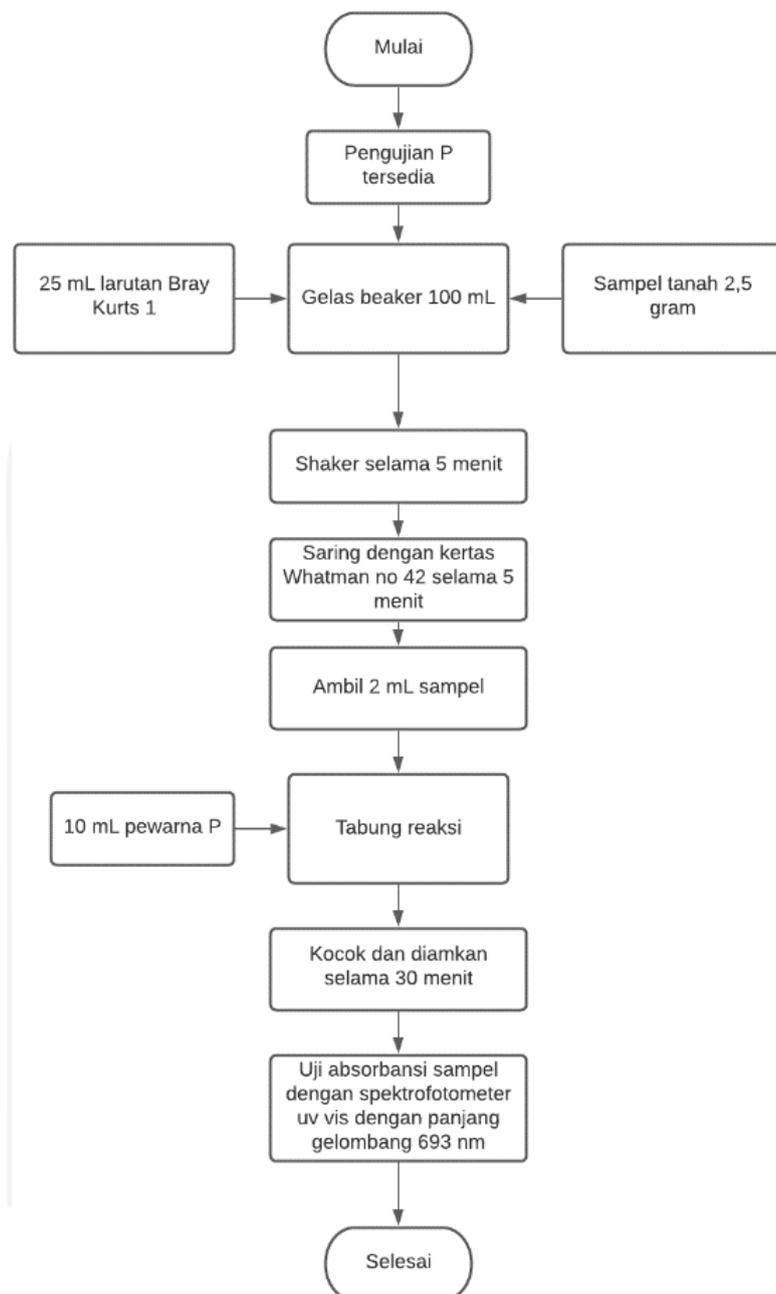
Pembuatan larutan P pekat



Pembuatan Pewarna P

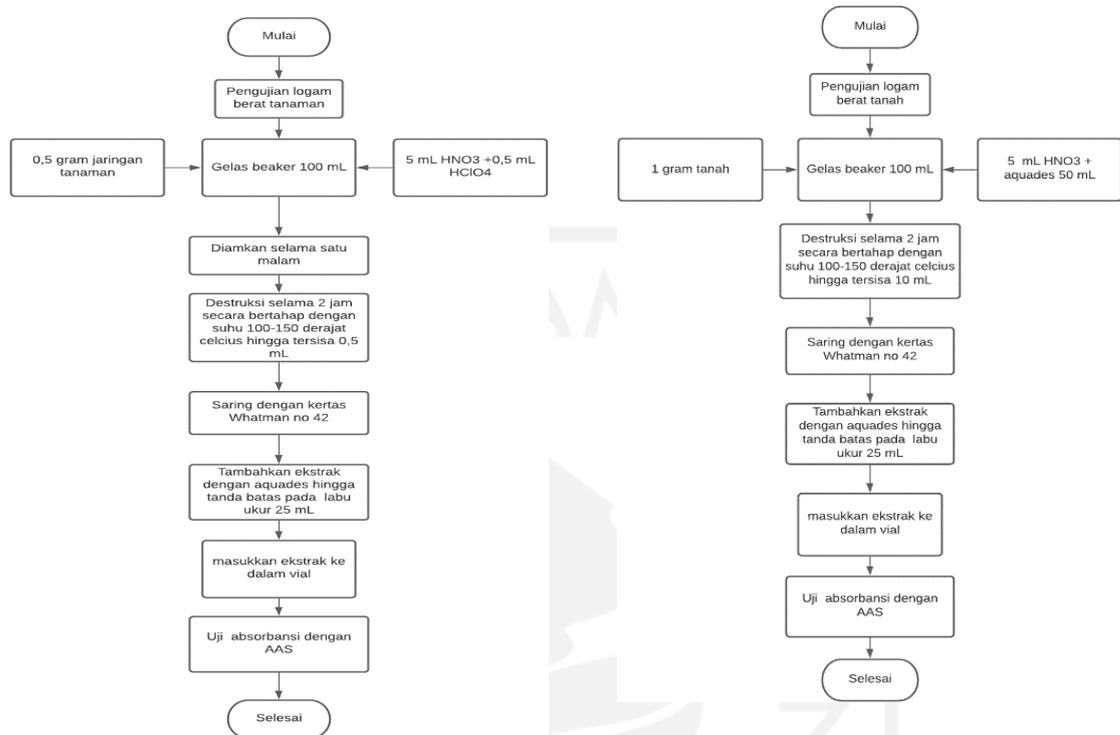


Pengujian P total Jaringan Batang



Pengujian P tersedia

Pengujian logam berat fe mn zn di tanaman



Pengujian Logam berat di Jaringan Tanaman

Pengujian Logam berat di Tanah

Lampiran 2 : Dokumentasi



Tanaman *Melaleuca leucadendra*



Pencampuran bahan
pembenah tanah



Proses penanaman



Pengukuran tinggi
tanaman



Pembuatan Inokulum
Bakteri Endofit



Inokulasi Bakteri ke
tanaman



Penimbangan sampel jaringan tanaman



Proses destruksi tanah



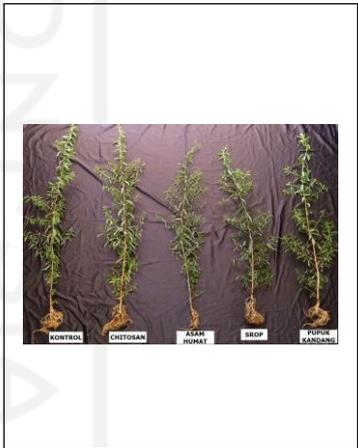
Uji pH H₂O dan pH KCl



Sampel Uji P total jaringan tanaman



Pengujian logam berat dengan AAS



Sampel tanaman Pasca panen

RIWAYAT HIDUP

Indah Fathikasari biasa dipanggil Indah lahir di Sleman 17 Juli 1999 merupakan anak kedua dari dua bersaudara oleh pasangan Drs. Sarono dan Tutik Maliyani. Adapun jenjang Pendidikan oleh penulis yaitu Pendidikan Dasar di SD N Rejodani, kemudian SMP N 2 Ngaglik dan lanjut SMA N 1 Pakem. Sebagai Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP UII, penulis diterima melalui jalur *Computer Based Test* (CBT) pada tahun 2017.

Selama menempuh Pendidikan, penulis sangat aktif dalam kegiatan non akademik seperti kepanitiaan dan turut serta menjadi asisten dosen mata kuliah Ilmu Kebumihan tahun 2019, asisten laboratorium Praktikum Mikrobiologi pada tahun 2019 dan 2020. Pada Oktober 2021, penulis berkesempatan untuk belajar dan ikut turut serta dalam penelitian yang digagaskan oleh dosen dan melaksanakan penelitian di Rumah Kaca milik Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Laboratorium Kualitas Lingkungan untuk menyelesaikan studi di program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.