

TA/TL/2022/1564

TUGAS AKHIR
APLIKASI BAKTERI TERSELEKSI DENGAN
CARRIER MOLASE UNTUK RESTORASI LAHAN
BEKAS TAMBANG TIMAH

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



NISRINA KHOIRUNNISA
18513191

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

TUGAS AKHIR
APLIKASI BAKTERI TERSELEKSI DENGAN
CARRIER MOLASE UNTUK RESTORASI LAHAN
BEKAS TAMBANG TIMAH

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



NISRINA KHOIRUNNISA
18513191

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dewi Wulandari, S. Hut., M. Agr., Ph. D.
NIK. 185130401
Tanggal: 19 Desember 2022

Dr. Joni Aldilla Fajri, S. T., M. Eng.
NIK. 165131306
Tanggal: 23 Desember 2022

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Dr. Eng. Awafuddin Nurmiyanto, S. T., M. Eng.
NIK. 095130403

Tanggal: 23/12/2022.

HALAMAN PENGESAHAN
APLIKASI BAKTERI TERSELEKSI DENGAN
CARRIER MOLASE UNTUK RESTORASI LAHAN
BEKAS TAMBANG TIMAH

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Selasa

Tanggal: 12 Desember 2022

Disusun Oleh:

NISRINA KHOIRUNNISA

18513191

Tim Penguji:

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

()

Dr. Joni Aldilla Fajri, S. T., M. Eng.

()

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M. Eng.

()

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. (*apabila menggunakan software khusus*)
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 2022

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a 3000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '3000 MEPERAI ZEMPEL' and 'P4CDBAAKX161757341'.

Nisrina Khoirunnisa

NIM: 18513191

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala nikmat, anugerah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang telah dimulai sejak bulan Desember 2021 sampai dengan Oktober 2022 dengan judul Aplikasi Bakteri Terseleksi Dengan Carrier Molase Untuk Restorasi Lahan Bekas Tambang Timah. Penulisan tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia Selama penyusunan tugas akhir, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dukungan, semangat dari beberapa pihak. Dalam hal ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan, dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan baik
2. Kedua orangtua penulis yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan, dan bantuan dalam hal apapun
3. Ibu Dewi Wulandari, S. Hut., M. Agr., Ph. D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah sabar membimbing, memberi masukan, saran dan telah menyediakan wadah bagi penulis untuk melaksanakan penelitian
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S. T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing selama penyusunan tugas akhir ini
5. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M. Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta masukan untuk penyempurnaan laporan tugas akhir
6. Seluruh dosen dan staff prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia
7. Teman – teman seperjuangan topik tugas akhir yang telah membantu peneliti dan memberikan semangat selama kurang lebih satu tahun sampai akhirnya selesai
8. Seluruh teman – teman penulis yang telah memberikan *support system*, mendengarkan keluh kesah, dan menghibur selama penyusunan tugas akhir

9. Seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyusunan tugas akhir penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentu penulis masih menyadari adanya kekurangan baik dari penulisan maupun materi. Harapan penulis bagi tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan dapat dijadikan sebagai referensi bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Penulis,



Nisrina Khoirunnisa

ABSTRACT

NISRINA KHOIRUNNISA. *Application of Selected Bacteria Using Molasses Carrier For Land Restoration of Ex-Tin Mining. Supervised by Dewi Wulandari, S. Hut., M. Agr., Ph. D dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S. T., M. Eng*

Environmental damage due to mining activities is an actual problem, one of which is tin mining in the Bangka area. The impact of tin mining will reduce soil fertility, and increase critical land in the mining environment. In order to overcome the worsening impact, it is necessary to make efforts to overcome this problem. Means that can be made are by restoring the former tin mining land. Restoration of ex-mining land can be carried out by utilizing selected microbes and molasses carriers. This research will be conducted regarding the application of microbial inoculation with molasses carrier with the aim of knowing the effect of selected bacterial isolates with molasses carrier on the absorption of phosphorus and potassium nutrient content, and knowing the effect of selected bacterial isolates with molasses carrier on heavy metal (Fe & Zn) uptake. and pH on ex-tin mining land. The results of the study with microbial inoculation with molasses carrier was able to give effect to increase the pH of the ex-tin mining soil, namely from the initial pH value of 5.34 to an average pH of 6.5, and increasing the levels of P and K concentrations in the soil which reached their respective concentrations. 510.767 mg/kg and 479.769 mg/kg, and were able to reduce the heavy metal content of Zn in soil and plant tissue with concentration above 20 mg/kg.

Keywords: *Phosphate Solubilizing Microbes, Molasses Carrier, Tin Mining, Eucalyptus sp*

ABSTRAK

NISRINA KHOIRUNNISA. Aplikasi Bakteri Terseleksi Dengan Carrier Molase Untuk Restorasi Lahan Bekas Tambang Timah. Dibimbing oleh Dewi Wulandari, S. Hut., M. Agr., Ph. D dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S. T., M. Eng

Kerusakan lingkungan akibat dari aktivitas penambangan merupakan masalah yang aktual, salah satunya adalah penambangan timah di daerah Bangka. Dampak dari penambangan timah akan menurunkan kadar kesuburan tanah, dan meningkatkan lahan kritis di area lingkungan pertambangan. Untuk mengatasi dampak yang semakin buruk, perlu dilakukan upaya untuk mengatasi permasalahan ini. Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan restorasi lahan bekas tambang timah. Restorasi lahan bekas tambang dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroba terseleksi dan *carrier* molase. Pada penelitian ini akan dilakukan mengenai pengaplikasian inokulasi mikroba dengan *carrier* molase dengan tujuan yaitu mengetahui pengaruh isolat bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap serapan kandungan nutrisi fosfor dan kalium, serta mengetahui pengaruh isolat bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap serapan kadar logam berat (Fe & Zn) dan pH pada lahan bekas tambang timah. Hasil dari penelitian dengan inokulasi mikroba dengan *carrier* molase mampu memberikan pengaruh terhadap peningkatan pH tanah bekas tambang timah yaitu dari nilai pH kondisi awal 5,34 (masam) menjadi rata – rata pH 6,5, dan meningkatkan kadar konsentrasi P dan K tanah yang mencapai konsentrasi masing – masing 510,767 mg/kg dan 479,769 mg/kg, serta mampu mereduksi kandungan logam berat Zn dalam tanah dan jaringan tanaman dengan hasil konsentrasi diatas 20 mg/kg.

Kata Kunci: Mikroba Pelarut Fosfat, *Carrier* Molase, Tambang Timah, *Eucalyptus sp*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
1.6 Kerangka Berfikir.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tailing Tambang Timah.....	5
2.2 Restorasi Lahan Bekas Tambang Timah.....	5
2.3 <i>Eucalyptus sp.</i>	6
2.4 Bahan Pembawa (<i>Carrier</i>) Molase.....	7
2.5 Penelitian Terdahulu.....	8
BAB III.....	11
METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Waktu dan Tempat.....	11
3.2 Tahapan Penelitian.....	12
3.3 <i>Reculture</i> Mikroba.....	13

3.4	Persiapan Bahan Pembawa (<i>Carrier</i>) Molase	13
3.5	Persiapan Inokulasi Mikroba Untuk Tanaman	16
3.6	Penanaman, Perawatan, dan Pengambilan Tanaman	17
3.7	Inokulasi Bakteri Terseleksi dengan <i>Carrier</i> Molase ke Tanaman dan Pengambilan Data Tanaman.....	18
3.9	Proses Panen dan Pengambilan Sampel	18
3.10	Variabel Penelitian	19
3.11	Analisa Serapan Kandungan Nutrisi P-Total dan Kalium dalam Sampel Tanah dan Jaringan Tanaman.....	19
3.12	Analisa Logam Berat Besi (Fe) dan Seng (Zn) dalam Tanah dan Jaringan Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	20
3.13	Analisis pH Dalam Tanah	21
3.14	Analisis Statistik.....	21
BAB IV		22
ANALISIS DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Pengukuran Pertumbuhan Tanaman.....	22
4.1.1	Pertumbuhan Tinggi, Diameter, dan Jumlah Daun Tanaman	22
4.1.2	Biomassa Tanaman	26
4.2	Pengujian pH Tanah	29
4.3	Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan <i>Carrier</i> Molase terhadap Serapan P-Total	31
4.3.1	Hasil Pengujian P-Total Tanah	32
4.3.2	Hasil Pengujian P-Total Jaringan Akar dan Batang Tanaman.....	33
4.4	Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan <i>Carrier</i> Molase terhadap Serapan Kalium	34
4.4.1	Hasil Pengujian Kalium Tanah	35
4.4.2	Hasil Pengujian Kalium Jaringan Akar dan Batang Tanaman.....	36
4.5	Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan <i>Carrier</i> Molase terhadap Serapan Logam Berat Fe	37
4.5.1	Hasil Pengujian Fe Tanah	37
4.5.2	Hasil Pengujian Fe Jaringan Akar dan Batang Tanaman.....	38
4.6	Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan <i>Carrier</i> Molase terhadap Serapan Logam Berat Zn	40

4.6.1 Hasil Pengujian Zn Tanah.....	41
4.6.2 Hasil Pengujian Zn Jaringan Akar dan Batang Tanaman	41
BAB V.....	43
KESIMPULAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
RIWAYAT HIDUP.....	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Molase	7
Tabel 2.2 Studi Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3.1 Populasi Mikroba Untuk Inokulai Per 1 ml	17
Tabel 4.1 Hasil ANOVA Pertumbuhan Tinggi Tanaman Eucalyptus sp di Setiap Selama 12 Minggu Penanaman	23
Tabel 4.2 Hasil ANOVA Pertumbuhan Lebar Diameter Tanaman Eucalyptus sp Selama 12 Minggu Penanaman	24
Tabel 4.3 Hasil ANOVA Pertambahan Jumlah Daun Tanaman Eucalyptus sp Selama 12 Minggu Penanaman	25
Tabel 4.4 Hasil ANOVA Rerata Berat Basah Jaringan Batang Tanaman Eucalyptus sp Selama 12 Minggu Penanaman	27
Tabel 4.5 Hasil ANOVA Rerata Berat Kering Jaringan Batang Tanaman Eucalyptus sp Selama 12 Minggu Penanaman	27
Tabel 4.6 Pengujian rerata ANOVA Berat Basah Jaringan Akar Tanaman Eucalyptus selama 12 Minggu Penanaman	28
Tabel 4.7 Pengujian rerata ANOVA Berat Kering Jaringan Akar Tanaman Eucalyptus selama 12 Minggu Penanaman	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berfikir Penelitian	4
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	12
Gambar 3.2 Alur Reculture Mikroba	13
Gambar 3.3 Alur Pembuatan Inokulum Mikroba.....	15
Gambar 3.4 Tahapan Alur Pengenceran Mikroba.....	15
Gambar 3.5 Alur Pembuatan Inokulum Mikroba.....	16
Untuk Inokulasi Tanaman	16
Gambar 3.6 Alur Pengenceran Untuk Penghitungan	17
CFU Inokulasi Tanaman	17
Gambar 4.1 Rerata Ketinggian Tanaman <i>Eucalyptus sp</i> Selama 12 Minggu Penanaman	22
Gambar 4.2 Rerata Lebar Diameter Tanaman <i>Eucalyptus sp</i> Selama 12 Minggu Penanaman	24
Gambar 4.3 Rerata Jumlah Daun Tanaman <i>Eucalyptus sp</i> Selama 12 Minggu Penanaman	25
Gambar 4.4 Rerata Berat Basah & Berat Kering Jaringan Batang Tanaman <i>Eucalyptus sp</i> Selama 12 Minggu Penanaman.....	27
Gambar 4.5 Rerata Berat Basah & Berat Kering Jaringan Akar Tanaman <i>Eucalyptus sp</i> Selama 12 Minggu Penanaman.....	28
Gambar 4.6 Nilai pH H ₂ O Sampel Uji Tanah.....	30
Gambar 4.7 Nilai pH KCl Sampel Uji Tanah	31
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Tanah.....	33
Gambar 4.9 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Jaringan Akar Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	33
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Jaringan Batang Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	34
Gambar 4.11 Hasil Pengujian Konsentrasi Kalium Sampel Uji Tanah.....	35

Gambar 4.12 Hasil Pengujian Konsentrasi Kalium Sampel Uji Jaringan Akar dan Batang Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	36
Gambar 4.13 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Tanah...	38
Gambar 4.14 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Jaringan Akar Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	39
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Jaringan Batang Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	40
Gambar 4.16 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Zn Pada Sampel Uji Tanah, Jaringan Akar, dan Jaringan Batang Tanaman <i>Eucalyptus sp</i>	41



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	51
LAMPIRAN 1: Data Analisis	51
LAMPIRAN 2: Cara Pengujian pH, Nutrisi dan Logam Berat.....	58
LAMPIRAN 3: Dokumentasi Perawatan, Pengukuran Pertumbuhan Tanaman, Inokulasi Mikroba di Green House dan Reculture Mikroba	62
LAMPIRAN 4: Pengujian Nutrisi dan Kalium di Laboratorium	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu penghasil tambang timah terbesar di dunia. Sektor pertambangan timah di Indonesia berada di bagian timur Sumatera yaitu Provinsi Kepulauan Bangka dan Belitung. Secara historis, penambangan timah di kawasan Bangka Belitung sudah dilakukan lebih dari 200 tahun yang lalu (Erwiza, 2009). Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2018), persebaran tambang timah tersebar di tujuh kabupaten dan satu kota yaitu Kabupaten Bangka, Kabupaten Bangka Barat, Kabupaten Bangka Tengah, Kabupaten Bangka Selatan, Kabupaten Belitung Timur, dan Kota Pangkal Pinang dengan luas total bekas lahan tambang timah 124.838 ha, termasuk area rongga tertutup seluas 12.147 ha.

Aktivitas penambangan yang berkelanjutan memberikan kontribusi besar bagi rusaknya lingkungan sekitar seperti pencemaran oleh logam berat, erosi, hilangnya keanekaragaman hayati, vegetasi, hingga perubahan struktur muka bumi (Irzon, 2021). Kerusakan lingkungan ini terjadi akibat pemrosesan pada penambangan timah yang menghasilkan tailing dengan jumlah besar sehingga konsentrasi logam beracun meningkat dan berdampak buruk bagi wilayah pasca tambang. Karakteristik dari tailing timah yaitu sebagian bertekstur pasir, mengandung liat rendah, serta kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), pH tanah dan unsur hara esensial makro yang rendah (Badayos et al., 2017).

Pengelolaan lahan pasca tambang timah harus dilakukan untuk memulihkan produktivitas lahan dan mengurangi dampak – dampak buruk akibat dari proses penambangan timah. Untuk mendukung pelaksanaan restorasi diperlukan informasi geografis mengenai lokasi pasca tambang, penentuan spesies tanaman dan teknik pengelolaan lokasi yang sesuai dalam mengoptimalkan pemulihan fungsi lingkungan lahan pasca tambang yang terdegradasi (Yuarsah et al., 2017).

Keberhasilan dalam pelaksanaan restorasi pada lahan pasca tambang timah diperlukan metode yang efektif untuk pengaplikasiannya. Dalam penelitian ini akan

membuktikan keefektifan bakteri terseleksi dengan *carrier* molase dalam pertumbuhan tanaman *Eucalyptus sp* serta serapan kandungan nutrisi, nilai pH dan kadar logam berat pada restorasi lahan bekas tambang timah. Penggunaan bakteri terseleksi dalam restorasi mampu berperan sebagai agen pereduksi yang dapat mengurangi efek toksisitas dalam tanah. Bakteri terseleksi yang digunakan dalam penelitian merupakan bakteri pelarut fosfat sekaligus penambat nitrogen yang telah diseleksi dan diaplikasikan sehingga mampu membantu proses rehabilitasi lahan kritis (Syahri et al., 2018). Adapun fungsi penambahan *carrier* molase yaitu dapat mengurangi kadar logam berat dalam tanah (Punjungsari, 2017). Untuk itu penggunaan bakteri terseleksi dan *carrier* molase pada penelitian ini diharapkan mampu memperbaiki kandungan nutrisi dalam tanah, mereduksi kadar logam tanah, dan meningkatkan potensi pertumbuhan tanaman untuk memulihkan kondisi lahan bekas tambang timah yang terdegradasi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh inokulasi bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap pertumbuhan tanaman *Eucalyptus sp*?
2. Bagaimana pengaruh inokulasi bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap serapan kandungan nutrisi (P-tersedia & K), kadar logam berat (Fe & Zn), dan pH pada lahan bekas tambang timah?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh isolat bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap serapan kandungan nutrisi (P-tersedia & K),
2. Mengetahui pengaruh isolat bakteri terseleksi dengan *carrier* molase terhadap serapan kadar logam berat (Fe & Zn) dan pH pada lahan bekas tambang timah.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi dan pengetahuan mengenai peranan bakteri terseleksi dengan *carrier* molase untuk restorasi lahan bekas tambang timah dengan tanaman *Eucalyptus sp*.

2. Bagi Masyarakat

Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai referensi terkait pemanfaatan bakteri terseleksi dengan *carrier* molase untuk restorasi lahan pasca tambang timah dan dapat dijadikan sebagai pertimbangan bahan pengembangan program untuk restorasi lahan pasca tambang timah.

3. Bagi Pemerintah

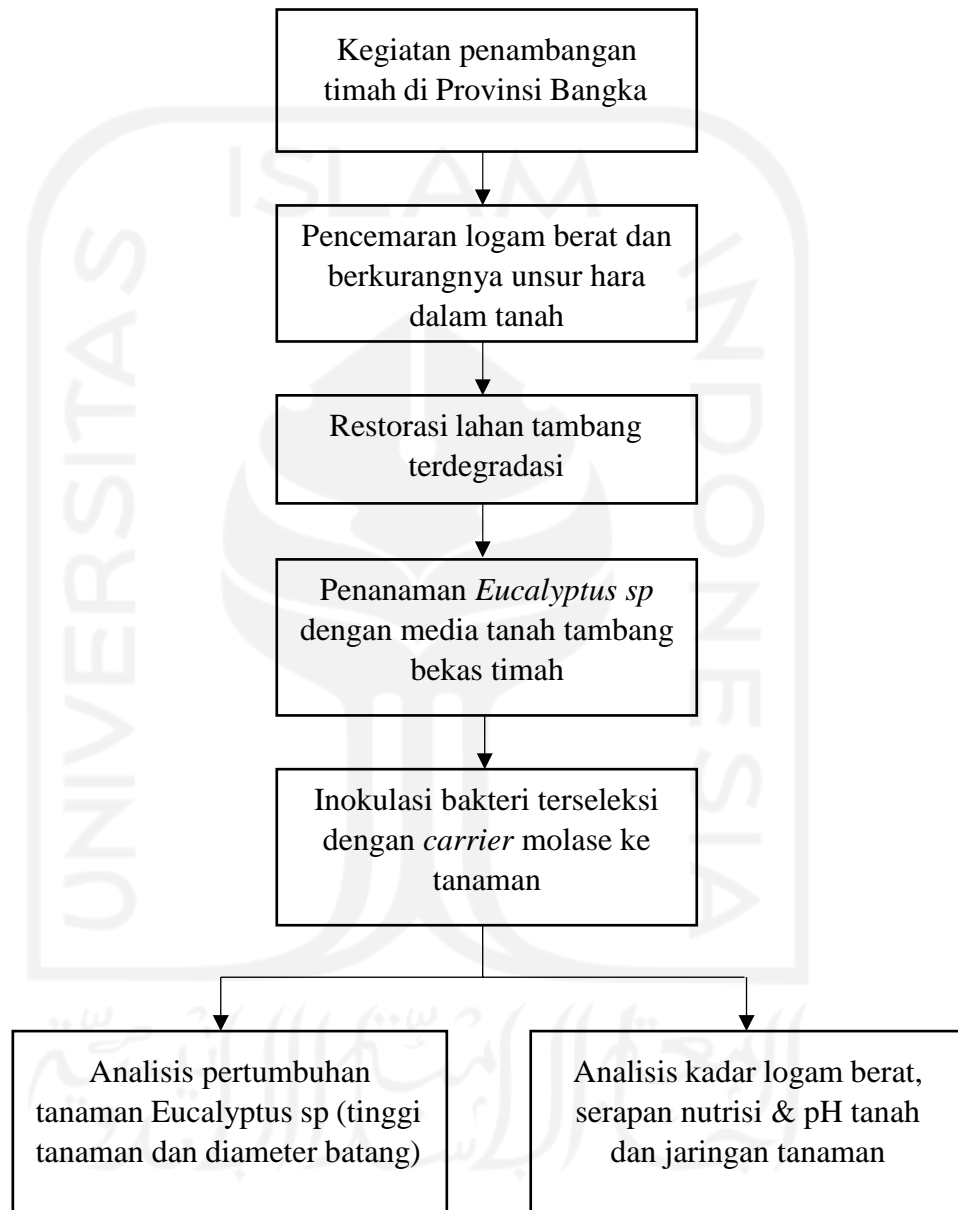
Hasil penelitian diharapkan mampu membantu memecahkan masalah pada lahan pasca tambang timah menggunakan bakteri terseleksi dengan *carrier* molase dan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam mengimplementasikan kebijakan yang berhubungan dengan lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

1. Lokasi penelitian, pengamatan dan pelaksanaan dilakukan di rumah kaca dan laboratorium.
2. Media tanam yang digunakan untuk penelitian berasal dari lahan pasca tambang timah yang berada di Provinsi Bangka.
3. Dalam penelitian ini menggunakan isolat bakteri terseleksi dengan *carrier* molase.
4. Jenis tanaman yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Eucalyptus sp.*
5. Pengujian dalam penelitian ini meliputi serapan kandungan nutrisi (P-tersedia & K), kadar logam berat (Fe & Zn), dan pH yang ada pada tanah bekas tambang timah.

1.6 Kerangka Berfikir

Garis besar pada penelitian ini akan digambarkan melalui diagram alir dibawah ini:



Gambar 1.1 Kerangka Berfikir Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tailing Tambang Timah

Kawasan tambang timah memiliki tanah dengan tingkat kesuburan yang rendah dan kurang produktif untuk dijadikan sebagai lahan pertanian dikarenakan efek dari proses penambangan dikawasan tersebut. Sebagian besar tailing tambang timah mengandung konsentrasi logam berat dan tingkat keasaman yang tinggi (Hamzah et al., 2018). Berdasarkan penelitian Okonkwo et al (2021), menjelaskan bahwa Seng (Zn) merupakan salah satu logam berat yang memiliki konsentrasi kontaminan yang paling tinggi dibandingkan dengan unsur logam berat lainnya.

Tailing tambang timah bertekstur pasir lempung dengan dominan pasir 70-90%. Butiran pasir dalam tailing tambang timah berukuran besar dengan pori-pori kasar dan banyak celah sehingga unsur hara dan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman tidak dapat terserap dengan baik. Penambangan timah menimbulkan dampak terhadap sifat fisik tanah yaitu menghilangkan lapisan humus tanah dan merubah struktur tanah (Agus et al., 2017).

Konsentrasi fosfat, kalium dan natrium pada tanah tailing tambang timah secara terus menerus akan menurun menyebabkan C-organik kurang dari 2% dan kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah yaitu 0,4-3,9 unit. Temperatur dari tailing tanah timah pada siang hari bisa mencapai 45°C dengan tingkat penguapannya bisa mencapai 4L/m²/hari dibandingkan dengan tanah bukan berasal dari kawasan pasca tambang (Nurtjahya et al., 2017).

2.2 Restorasi Lahan Bekas Tambang Timah

Kegiatan penambangan timah terutama penambangan konvensional yang tidak memperhatikan aspek ekosistem dan kondisi lingkungan akan meninggalkan lahan-lahan yang terabaikan dengan kondisi lanskap yang berubah, degradasi lahan, hilangnya kekayaan keanekaragaman hayati dan biota tanah, serta menyebabkan kerusakan lahan pada lapisan tanah atas (Hambali & Wahyuni, 2021).

Menurut Sidik et al (2006), restorasi lahan merupakan upaya yang dilakukan untuk memperbaiki fungsi lahan kritis didaerah pasca tambang, tailing dan pit. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa prinsip yang digunakan dan harus berjalan secara bersamaan yaitu mengenai penataan ruang dan bentuk lahan, pengelolaan tanah lapisan atas, perbaikan lahan pertambangan, serta sosialisasi dari informasi. Pemanfaatan tanaman untuk restorasi menggunakan tanah lapisan atas sebagai media tumbuh tanaman dengan ketebalan 30-50 cm dan ditempatkan di atas tanah/bahan tailing.

Keberhasilan restorasi kawasan bekas tambang timah dapat dilakukan dengan cara penanaman dengan tanaman yang sesuai. Pemilihan jenis pohon guna mendukung keberhasilan restorasi memiliki kriteria yaitu tanaman yang digunakan merupakan jenis pioner, pertumbuhannya cepat dan tidak membutuhkan biaya yang besar, serta banyak menghasilkan serasah dan mudah terdekomposisi. Beberapa jenis tanaman yang sudah digunakan untuk kegiatan restorasi di sejumlah perusahaan di Indonesia diantaranya adalah *Terminalia cattapa*, *Macaranga gigantea*, *Eucalyptus sp*, *Acacia mangium*, akasia dan sengon (Setyowati et al., 2017).

2.3 *Eucalyptus sp.*

Eucalyptus sp. tergolong dalam rumpun famili *Myrtaceae* yang terbagi menjadi 140 genus dan 3800 spesies tersebar di daerah tropis maupun sub-tropis. Di Indonesia, terdapat beberapa jenis *Eucalyptus sp* yang tersebar secara alami di wilayah timur seperti *Eucalyptus pellita*, *E. alba*, dan *E. urophylla*. Namun, sebagian besar perkebunannya berada di Sumatera (Dixit et al., 2012).

Tanaman *Eucalyptus sp* memiliki karakteristik cepat tumbuh (*fast growing*), produktivitas tinggi, dan rotasi tanaman yang pendek. Perkembangannya cocok di daerah tropis dengan masa panen kurang lebih 6-7 tahun (Yuniarti et al., 2018). *Eucalyptus sp* mampu tumbuh di lahan terdegradasi termasuk pada daerah – daerah yang beriklim kering dan sangat kurang unsur hara sehingga dapat dipilih menjadi salah satu tanaman yang digunakan untuk memperbaiki kondisi lahan pasca tambang (Huang et al., 2007).

2.4 Bahan Pembawa (*Carrier*) Molase

Menurut Valli et al (2012), molase atau tetes tebu merupakan hasil dari industri pengolahan tebu yang diubah menjadi sukrosa. Kandungan dalam molase terdiri dari sejumlah bahan gula non organik dan karbohidrat yang dapat difermentasi seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa. Didalam molase mengandung beberapa zat diantaranya: sukrosa 55%, gula pereduksi 18,27%, abu sulfat 12,74%, Pol 29,25%, dan Brix 81,27% (Yusma, 1999). Molase memiliki komposisi kimia yang dapat dilihat pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Molase

Komposisi Kimia	Kandungan (%)		
	Molase		
Kandungan Gula	Air	66,20	
	Protein	23,23	
	Karbohidrat	6,36	
	Abu	4,13	
	Lemak	0,08	
	Gula reduksi	15,602	
	Sukrosa	0,5299	
	Fruktosa	45,652	
	Asam Amino	L-Asam Glutamat	2,912
		L-Prolin	0,640
L-Alanin		0,610	
L-Asam Aspartat		0,405	
L-Serin		0,069	
L-Glisin		0,051	
L-Valin		0,046	
L-Lisin		0,035	
L-Leusin		0,027	
L-Isoleusin		0,024	
L-Treonin		0,021	
L-Tirosin		0,015	
L-Histidin		0,014	
L-Fenilalanin		0,009	
L-Metionin		0,008	
L-Arginin		0,007	

Sumber: Rohim, 2014

Penggunaan molase dapat meningkatkan kesuburan tanah untuk pemeliharaan tanaman. Penggunaan molase sebagai *carrier* dapat dijadikan sebagai sumber karbon untuk bahan alternatif dalam media fermentasi dikarenakan kandungan nutrisi yang cukup tinggi untuk kebutuhan hidup mikroba (Fifendy et al., 2013). Selain itu, terdapat beberapa jenis unsur hara (nitrogen, fosfor, kalium, dan sulfat) serta unsur hara mikro lain yang ada dalam kandungan tetes tebu yang berguna untuk mengoptimalkan produksi tanaman dan dapat digunakan sebagai pengganti pupuk (Li et al., 2020). Molase juga dapat dimanfaatkan sebagai bioagen untuk mereduksi kadar logam berat. Kelebihan lain dari penggunaan molase yaitu biaya yang lebih ekonomis untuk digunakan pada proses bioremediasi, efektif dalam meningkatkan proses reduksi kimia, serta mampu meningkatkan metabolisme mikroba (Punjung Sari, 2017).

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Studi Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
1	Pamungkas & Evandani, (2021)	Pengaruh molase sebagai penambah unsur hara pada pertumbuhan tanaman tebu	Penelitian dilakukan dengan beberapa perlakuan yakni Pemberian POC molase, yang terdiri dari M ₀ : Tanpa POC molase (konsentrasi 0), M ₁ : POC molase 40% (200 ml/500 ml air), M ₂ : POC molase 60 % (300 ml/500 ml air), M ₃ : POC molase 80 % (400 ml/500 ml air), M ₄ : POC molase 100 % (500 ml/500 ml air) dan kemudian diukur tinggi tanaman (cm) dan diameter batang (mm)	Pemberian dosis molase pada tanaman tebu tidak menunjukkan hasil yang terlalu signifikan terhadap perubahan tinggi tanaman dengan rata - rata penambahan tinggi tanaman 1-2 cm. Namun, memberikan pengaruh yang optimal pada parameter diameter batang tanaman.

Lanjutan Tabel 2.2

No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
2	Kurniahu <i>et al.</i> , (2018)	Pemberian bakteri terseleksi untuk pertumbuhan vegetatif kacang tanah dengan media bekas lahan tambang kapur	Dilakukan perendaman dengan pencampuran larutan bakteri terseleksi yang diberi dosis berbeda (20%, 50%, 75%, dan 100%). Kemudian penanaman bibit kacang tanah dimasukkan kedalam polybag dan diisi 5 kg tanah bekas tambang kapur. Penyiraman dengan 100 ml larutan bekas perendaman bibit kacang dilakukan 2 kali sehari. Diamati perubahan tinggi tanaman, jumlah daun, dan warna daun selama 6 minggu setelah tanam.	Hasil dari penelitian menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman oleh pemberian larutan bakteri terseleksi dengan dosis tertentu tidak berpengaruh signifikan hanya pada pemberian dosis 75% memberikan pertumbuhan tinggi yang lebih optimal dibandingkan dengan dosis lain. Begitu juga dengan jumlah daun, serta warna daun yang lebih hijau pada pemberian dosis tertinggi, yang berarti kadar N dalam tanaman tinggi.
3	Suhariyanto <i>et al.</i> , (2018)	Pengaruh penambahan molase pada perkembangan tanaman jagung (<i>zea mays</i>)	Penelitian menggunakan dua perlakuan yang berbeda pada benih tanaman jagung yaitu dengan pemberian molase dan tanpa pemberian molase. Perhitungan awal dan pemberian molase dilakukan setelah 7 hari penanaman dan 7 hari selanjutnya ditambahkan molase kembali. Untuk penyiraman tanaman dilakukan 2 hari sekali setiap sore.	Nilai rata - rata pertumbuhan panjang batang dan panjang akar dengan perlakuan penambahan molase lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol). Namun kondisi ini berlawanan dengan hasil pengukuran lebar daun yang menunjukkan tanaman tanpa perlakuan (kontrol) lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan menambahkan perlakuan pemberian molase.

Lanjutan Tabel 2.2

No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
4	Nurtjahyani <i>et al.</i> , (2020)	Potensi pemanfaatan serasah daun dari lahan bekas penambangan batu kapur dengan molase dan EM4 untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman	Serasah daun yang berasal dari lahan bekas tambang batu kapur diambil dan dicacah lalu dicampur dengan larutan molase dan EM4 yang selanjutnya mengalami proses fermentasi. Menggunakan metode bokhasi.	Penelitian dengan pemanfaatan molase dan EM4 dengan serasah daun lahan bekas tambang batu kapur dapat meningkatkan kandungan nutrisi pada tanaman.
5	Jalilvand <i>et al.</i> , (2020)	Reduksi kandungan logam berat (Zn, Pb, dan Cd) oleh bakteri terseleksi dari tanah berkapur tambang Iran	Pengenceran tanah rizosfer dengan mencampurkan larutan NaCl hingga pengenceran 10 ⁻⁹ . Kemudian diambil masing - masing 0,1 mL disebar ke petri dish dengan media agar. Petri dish diinkubasi selama 7 hari dengan suhu ± 28°C	Penggunaan bakteri terseleksi terbukti mampu untuk menghilangkan kandungan logam berat (Zn, Pb, dan Cd) pada lahan terdegradasi.

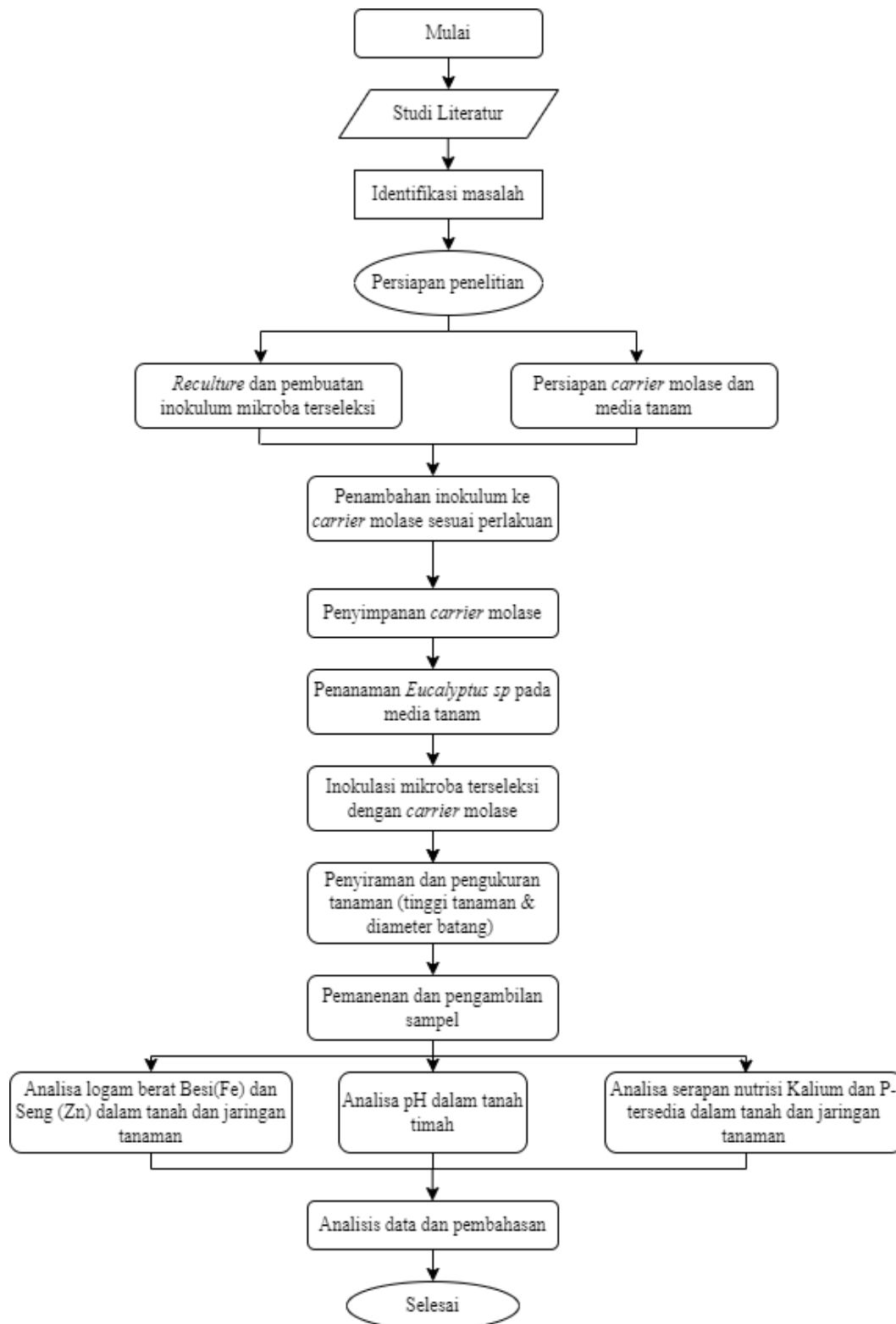
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Tahapan penelitian dimulai dari pembuatan inokulum, penanaman, sampai dengan pengujian kadar logam berat dan nutrisi tanaman, serta pH tanah. Waktu penelitian dilakukan mulai dari bulan Desember 2021 hingga Oktober 2022. Lokasi penelitian berada di *Green House* dan Laboratorium yang beralamat di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Dalam penelitian ini menggunakan media tanah bekas tambang timah yang berasal dari Provinsi Bangka dengan waktu pengambilan sampel yaitu pada tahun 2017. Adapun untuk pengujian kadar logam berat, nutrisi, dan pH dilakukan di laboratorium PSTL Universitas Islam Indonesia.

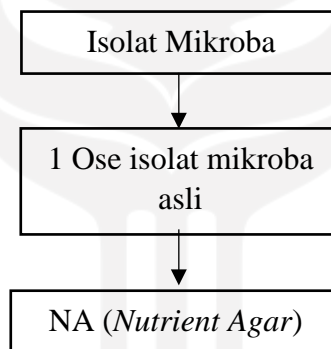
3.2 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.3 Reculture Mikroba

Dalam tahapan awal persiapan inokulum mikroba dilakukan *reculture* dari bakteri induk ke media baru yang tujuannya untuk memperbanyak biakan mikroba. Pembuatan *reculture* mikroba dilakukan di *laminar Airflow* secara aseptik menggunakan media NA (*Nutrient Agar*). Sebelum digunakan, media NA (*Nutrient Agar*) disterilisasi terlebih dahulu sekitar 1 jam. Kemudian diambil 1 ose koloni isolat mikroba induk dengan menggunakan jarum ose steril dan digoreskan ke media NA dalam *petri dish* (Pajan et al., 2016). Hasil biakan rekultur disimpan selama 1 malam dengan dibungkus kertas sampul. Setelah proses *reculture* berhasil, digunakan 3 macam bakteri terseleksi. Mikroba tersebut diberi kode mikroba 15 dan 16 untuk mikroba pelarut fosfat, dan mikroba R untuk mikroba *Enterobacter sp.* Tahapan *reculture* mikroba dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



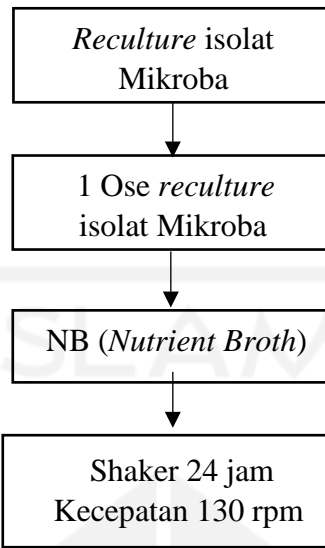
Gambar 3.2 Alur Reculture Mikroba

3.4 Persiapan Bahan Pembawa (*Carrier*) Molase

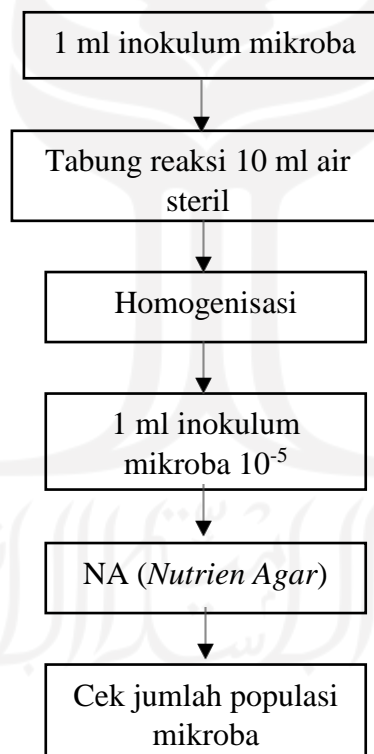
Dalam penelitian ini, menggunakan bahan pembawa (*Carrier*) yang berguna untuk membantu proses perbaikan struktur dari lahan bekas tambang timah. Sebelum bakteri terseleksi dimasukkan dalam molase, dilakukan dahulu pembuatan inokulum dengan larutan NB (*Nutrient Broth*) yang digunakan untuk pengenceran. Pembuatan inokulum diambil dari 1 ose mikroba terseleksi yang dimasukkan dalam larutan NB (*Nutrient Broth*) kemudian dihomogenkan menggunakan *shaker* dan *magnetic stirrer* selama 24 jam dengan kecepatan 130 rpm.

Setelah 24 jam dihomogenkan oleh *shaker* dalam suhu ruang, dan populasi inokulum sudah tumbuh. Selanjutnya inokulum dapat dicampurkan ke *carrier* molase. Dalam penggunaannya, campuran molase dengan air menggunakan perbandingan 1:3, yaitu 250 ml molase dan 750 ml air dalam satu botol yang berukuran 1000 ml. Sebelum ditambahkan inokulum mikroba terseleksi, dilakukan dahulu pengambilan 100 ml campuran molase dan air yang akan digunakan untuk kontrol. Satu botol *carrier* molase akan diisi konsorsium mikroba sebanyak \pm 100ml dengan 3 perlakuan yang berbeda. Perlakuan tersebut meliputi pemberian 1 konsorsium mikroba, 2 konsorsium mikroba, dan 3 konsorsium mikroba. Untuk 1 konsorsium akan diberi dosis inokulum sebanyak 100 ml, 2 konsorsium 50 ml, dan 3 konsorsium 20 ml. Masa penyimpanan *carrier* molase ini adalah 1 bulan sebelum diinokulasi ke tanaman.

Penghitungan jumlah koloni mikroba juga diperlukan untuk mengetahui banyaknya populasi mikroba yang akan dimasukkan dalam *carrier* molase. Perhitungan koloni mikroba menggunakan pengenceran sampai dengan 10^{-5} . Dimulai dari pengenceran 10^{-1} dengan pengambilan 1 ml inokulum mikroba lalu diteteskan ke dalam tabung reaksi yang berisi air steril 10 ml dan dihomogenkan. Pengulangan dilakukan sampai pengenceran 10^{-5} . Kemudian diambil 1 ml larutan pengenceran 10^{-5} kedalam NA (*Nutrient Agar*) untuk dihitung jumlah koloninya. Tahapan pembuatan inokulum mikroba dan pengenceran dapat dilihat pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.3 Alur Pembuatan Inokulum Mikroba

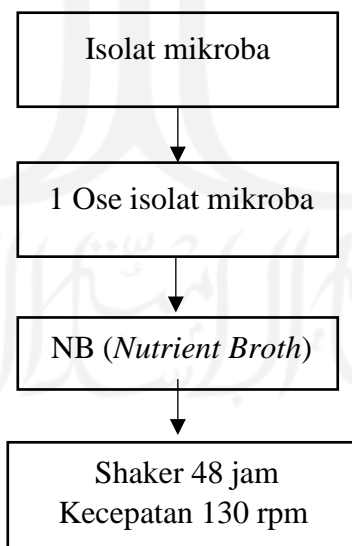


Gambar 3.4 Tahapan Alur Pengenceran Mikroba

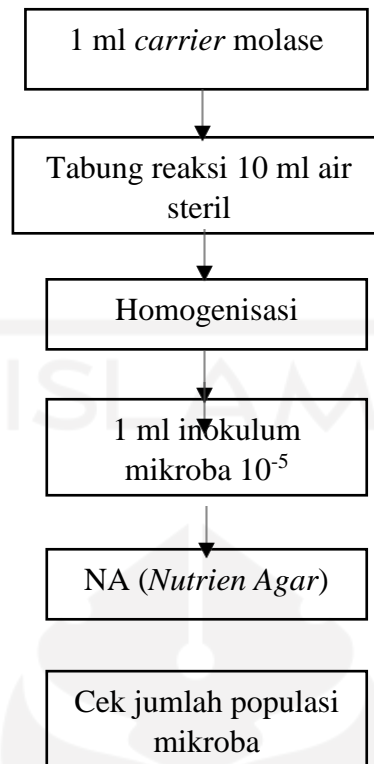
3.5 Persiapan Inokulasi Mikroba Untuk Tanaman

Kegiatan persiapan sebelum isolasi mikroba ke tanaman adalah pembuatan inokulum dari hasil pengenceran mikroba terseleksi dan penghitungan jumlah populasi mikroba yang akan dimasukkan kedalam tanaman. Pembuatan inokulum ini sama seperti pembuatan inokulum untuk *carrier* yaitu dengan mengambil 1 ose koloni mikroba dari hasil pengenceran dan dimasukkan dalam larutan NB (*Nutrient Broth*) lalu dihomogenkan menggunakan *shaker* dan *magnetic stirrer* selama 48 jam dengan rentang kecepatan antara 130 rpm.

Selanjutnya, untuk mengetahui jumlah populasi mikroba yang akan dimasukkan ke tanaman menggunakan pengenceran. Pengenceran dilakukan 5 kali mulai dari 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , sampai dengan 10^{-5} (Syahri et al., 2018). Tahapan awal dalam pengenceran *carrier* molase yaitu mengambil 1 ml larutan *carrier* molase menggunakan pipet ukur. Selanjutnya, memasukkan kedalam tabung reaksi yang telah diisi air steril sebanyak 10 ml, dihomogenkan dan diencerkan sampai 10^{-5} . Setelah itu, diambil 1 ml dari pengenceran 10^{-5} , dan dimasukkan ke dalam *petri dish* yang telah diberi media NA (*Nutrient Agar*). Kemudian diinkubasi di suhu ruang dan dihitung jumlah koloni mikrojanya.



Gambar 3.5 Alur Pembuatan Inokulum Mikroba Untuk Inokulasi Tanaman



Gambar 3.6 Alur Pengenceran Untuk Penghitungan CFU Inokulasi Tanaman

Berikut merupakan tabel daftar populasi mikroba dari masing – masing treatment yang diinokulasikan ke tanaman per 1 ml:

Tabel 3.1 Populasi Mikroba Untuk Inokulai Per 1 ml

No	Treatment Mikroba	Jumlah Koloni
1	15	128.5×10^{-7}
2	16	26.5×10^{-7}
3	R3.1	99×10^{-7}
4	15+R3.1	32×10^{-7}
5	16+R3.1	53×10^{-7}
6	3 Konsorsium	33×10^{-7}

3.6 Penanaman, Perawatan, dan Pengambilan Tanaman

Tanaman uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Eucalyptus sp.* Tahap awal persiapan penanaman yaitu memindahkan tanaman dan tanah dari *polybag* asal ke *polybag* yang lebih kecil. Perbandingan media yang digunakan

untuk tanah asal semai tanaman dengan media tanah tambang timah adalah 1:3. Tanah semai yang digunakan adalah tanah steril sehingga terbebas dari kontaminasi yang nantinya akan mempengaruhi kandungan yang ada dalam tanaman. Setelah selesai proses pemindahan media dan tanaman ke *polybag* baru, dilanjutkan dengan proses aklimatisasi tanaman selama 2 hari sebelum nantinya dipindahkan ke *green house*.

Perawatan tanaman dilakukan dengan penyiraman setiap sore hari. Adapun untuk lama waktu penanaman *Eucalyptus sp* di *green house* yaitu kurang lebih 3 bulan. Pengambilan data meliputi pengukuran tinggi tanaman (cm) dan diameter batang tanaman (mm) dilakukan setiap 2 minggu sekali. Pengukuran tinggi tanaman diukur dari permukaan batang tanaman sampai dengan pucuk tanaman, sedangkan diameter batang diukur diketinggian 2 cm dari permukaan tanah.

3.7 Inokulasi Bakteri Terseleksi dengan *Carrier* Molase ke Tanaman dan Pengambilan Data Tanaman

Setelah melalui proses aklimatisasi pada tanaman, dilanjutkan dengan inokulasi bakteri terseleksi dengan *carrier* molase ke tanaman uji. Tanaman uji yang akan digunakan dalam penelitian ini berjumlah 43 tanaman. Tanaman tersebut akan dibagi menjadi 3 perlakuan yang berbeda yaitu sebanyak 21 tanaman akan diinokulasi dengan *carrier* molase, 21 tanaman dengan inokulum murni, dan 1 tanaman sebagai kontrol. Masing – masing tanaman akan diberikan 6 *treatment* konsorsium bakteri yang berbeda dengan 3 ulangan.

Langkah awal sebelum inokulasi adalah pemberian kode pada *polybag* sesuai dengan *treatment* yang akan ditambahkan. Kemudian melubangi media tanam dalam *polybag* dengan jarak ± 2 cm dari tanaman dan kedalaman ± 2 cm untuk tempat inokulasi. Selanjutnya diinjeksikan *carrier* molase dan inokulum murni menggunakan pipet tetes masing – masing sebanyak 7 ml ke lubang media tanah tanaman sesuai dengan *treatment*.

3.9 Proses Panen dan Pengambilan Sampel

Pemanaenan tanaman dilakukan setelah pengamatan pertumbuhan tanaman selama ± 3 bulan di *green house*. Bagian jaringan batang dengan jaringan akar

dipisahkan, untuk kemudian diukur biomassa basah dan kering tanaman. Pengukuran biomassa menggunakan timbangan analitik, yang tujuannya untuk pengujian kadar logam berat yang ada dalam jaringan tanaman. Setelah pengukuran biomassa selesai, sampel jaringan batang dan jaringan akar dimasukkan dalam masing – masing amplop dan diberi kode. Adapun untuk sampel tanah dimasukkan dalam plastik klip dan diberi kode sesuai perlakuan tanaman. Selanjutnya, pengukuran berat kering jaringan tanaman dengan mengeringkan jaringan tanaman dengan oven pada suhu 70°C selama 3 hari. Setelah itu, jaringan tanaman yang sudah kering ditimbang menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,001 gram.

3.10 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu meliputi variabel utama dan variabel pendukung. Variabel utama penelitian yaitu mengenai pengukuran kadar logam berat, kadar nutrisi, serta pH dalam tanah dan jaringan tanaman. Adapun variabel pendukungnya yaitu berupa *carrier* molase, intensitas cahaya, dan kadar air dalam penyiraman tanaman. Sampel yang akan diujikan berupa tanah tambang bekas timah, jaringan akar tanaman, dan jaringan batang tanaman.

3.11 Analisa Serapan Kandungan Nutrisi P-Total dan Kalium dalam Sampel Tanah dan Jaringan Tanaman

Kandungan nutrisi yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah mengenai kadar P-Total yang ada dalam tanah dan jaringan tanaman. Pengujian nutrisi ini dilakukan setelah proses pengeringan sampel uji. Berdasarkan Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk (2005), pengujian kadar P-Total dan Kalium yaitu menggunakan metode Penetapan P-Total dan K ekstrak HCl 25%. Untuk P-Total pengujian dilakukan dengan spektrofotometri UV-VIS sedangkan Kalium dengan AAS. Dalam metode pengujian ini yaitu 2 gram sampel tanah ditimbang lalu ditambahkan HCl 25% sebanyak 10 ml 1:1 lalu dihomogenkan selama 5 jam menggunakan shaker. Sampel kemudian didiamkan selama semalam agar partikel padat mengendap. Setelah itu sampel tersebut disaring lalu diambil 0,5 ml untuk dilakukan pengenceran 20 kali. Diambil 2 ml ekstrak jenuh dari

pengenceran tersebut lalu dimasukkan dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan 10 ml pereaksi pewarna fosfat, untuk selanjutnya dihomogenkan. Setelah sampel homogen, didiamkan selama 30 menit. Pengukuran absorbansi P-Total dengan panjang gelombang 693 nm menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. Adapun untuk pengujian Kalium yaitu diukur dalam AAS.

3.12 Analisa Logam Berat Besi (Fe) dan Seng (Zn) dalam Tanah dan Jaringan Tanaman *Eucalyptus sp*

Besi (Fe) dan seng (Zn) adalah logam berat yang dapat bersifat toksik jika kandungannya dilingkungan terlalu banyak. Untuk menentukan kadar besi (Fe) dan seng (Zn) dalam tanah dan jaringan tanaman diperlukan pengujian menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*). Dari penelitian Warni (2017), tahapan proses pengujian logam berat yaitu pengeringan sampel dalam oven dengan suhu 70°C selama 3 jam. Setelah sampel mengering, lalu ditumbuk sampai halus dan diayak. Selanjutnya untuk pengujian, sampel tanah ditimbang menggunakan timbangan analitik sebanyak 2 gram, sedangkan sampel tanaman 0,5 gram atau secukupnya. Berdasarkan SNI 8910:2021, setelah proses pengeringan dan penimbangan kemudian persiapan untuk destruksi yaitu memasukkan sampel yang sudah ditimbang tersebut kedalam gelas beaker, lalu ditambahkan HNO₃ 10 ml 1:1, lalu dipanaskan dengan suhu 95°C. Setelah itu ditambahkan HNO₃ pekat 5 ml lalu dipanaskan selama 10 – 15 menit, tambahkan 5 ml HNO₃ pekat dan dipanaskan kembali pada suhu 95°C selama 30 menit, tunggu sampai asap berwarna coklat hilang biarkan sampel menguap sampai volumenya menjadi 5 ml, kemudian ditambahkan 2 ml aquades dan 3 ml H₂O₂ dipanaskan dengan suhu 95°C. Setelah selesai proses destruksi, sampel didinginkan pada suhu ruangan dan disaring dengan kertas *whatman* dalam labu ukur 100 ml untuk sampel tanah dan 50 ml untuk sampel tanaman. Dilakukan penambahan aquades sampai tanda batas labu ukur lalu diukur dengan AAS menggunakan nyala udara asitilen. Untuk mengetahui kadar logam berat, dihitung berdasarkan konsentrasi regresi yang didapatkan dari pengujian AAS.

3.13 Analisis pH Dalam Tanah

Dalam analisis pH yang berdasar pada Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk (2005), akan dilakukan pengukuran menggunakan pH meter tanah dengan menggunakan dua bahan pengekstrak yaitu akuades (H_2O) dan Kalium Klorida (KCl). Selanjutnya diuji menggunakan pH meter. Konsentrasi ion H^+ menunjukkan nilai pH dalam larutan tanah, dan apabila digabungkan dengan pengekstrak H_2O akan menjadi kemasaman aktif (aktual), sedangkan dengan pengekstrak KCl 1M menjadi kemasaman cadangan (potensial) (Eviati, & Sulaiman, 2009). Pengujian dilakukan dengan menimbang 5 gram sampel tanah untuk masing – masing pengekstrak H_2O dan Kalium. Lalu, dimasukkan ke masing – masing botol, dihomogenkan. Selanjutnya ditambahkan 25 ml akuades untuk uji pH H_2O dan 25 ml untuk uji KCl 1M untuk pH KCl, dan dihomogenkan selama 30 menit. Pengukuran suspensi tanah dilakukan menggunakan alat yaitu pH meter.

3.14 Analisis Statistik

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan ANOVA dan pendekatan standar eror. ANOVA digunakan untuk pengolahan data hasil uji pertumbuhan tanaman yaitu mengenai data pertumbuhan tinggi, diameter, dan biomassa tanaman. Sedangkan pendekatan statistik dengan standar eror digunakan pada data pengujian pH, nutrisi dan logam berat. Pendekatan standar eror tersebut dengan membandingkan hasil variabel sampel perlakuan dengan pemberian mikroba pada tanamanan dengan *carrier* molase dan dengan kontrol (tanpa perlakuan). Data pengujian yang ditampilkan yaitu berupa grafik, sehingga dengan grafik tersebut dapat disimpulkan perlakuan yang paling berpengaruh terhadap pemberian mikroba dengan *carrier* molase untuk perbaikan lahan terdegradasi.

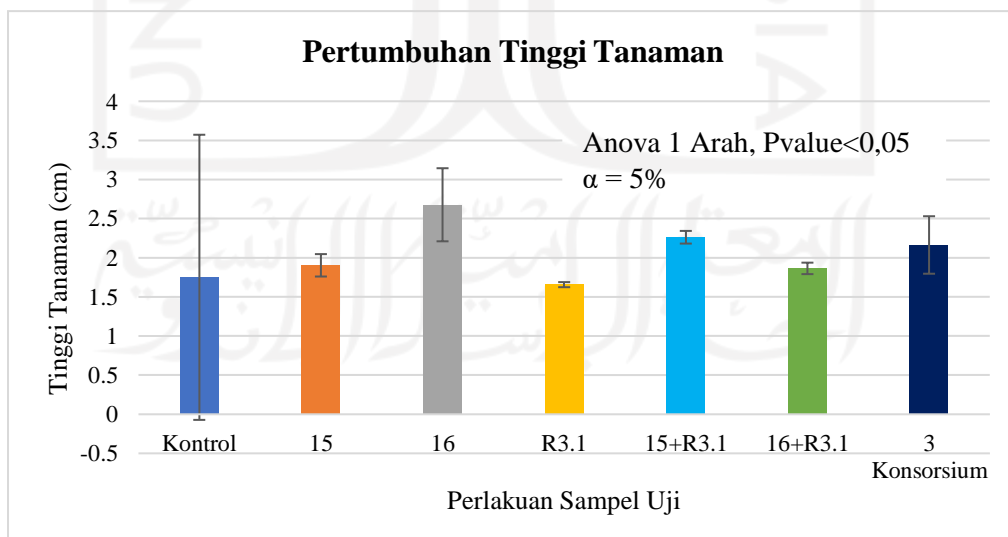
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Pertumbuhan Tanaman

Pengukuran pertumbuhan tanaman meliputi tinggi tanaman, diameter tanaman, dan jumlah daun. Pengukuran ini dilakukan di *greenhouse* setiap dua minggu sekali selama 3 bulan.

4.1.1 Pertumbuhan Tinggi, Diameter, dan Jumlah Daun Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman diukur dari bagian atas permukaan media tanam hingga pucuk tanaman. Sedangkan pengukuran diameter diukur ± 2 cm di atas media tanam. Dapat dilihat dari Gambar 4.1 bahwa pertumbuhan tinggi tanaman setiap dua minggu selalui mengalami kenaikan. Pada grafik diberikan kode 15, 16, R3, 15+R3, 16+R3, dan 3 konsorsium dengan maksud adalah 15, 16, R3 untuk pemberian mikroba tunggal, 15+R3 dan 16+R3 untuk pemberian mikroba kombinasi 2 konsorsium, serta 3 konsorsium untuk mikroba 3 kombinasi. Mikroba 15 dan 16 adalah mikroba pelarut fosfat sedangkan R3 adalah mikroba *Enterobacter sp.*

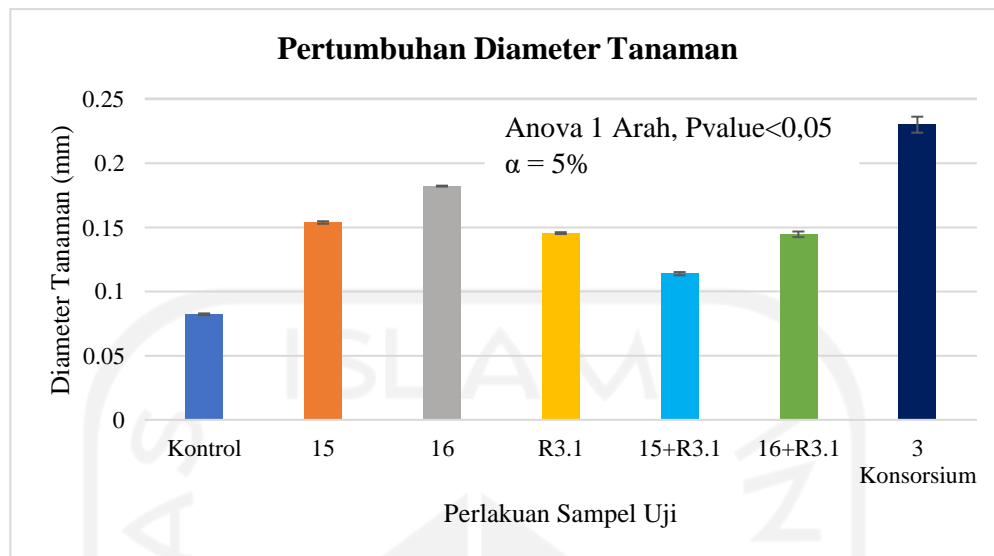


Gambar 4.1 Rerata Ketinggian Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Tabel 4.1 Hasil ANOVA Pertumbuhan Tinggi Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,32066	6	0,386777	1,003412	0,454853	2,69866
Within Groups	6,55285	17	0,385462			
Total	8,87351	23				

Dalam setiap perlakuan, didapatkan perubahan tinggi dan diameter yang berbeda – beda. Berdasarkan Gambar 4.1, pengolahan data menggunakan uji anova *single factor* didapatkan P-value sebesar 0,45, nilai $\alpha > 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan tinggi pada tanaman *Eucalyptus sp* tidak berpengaruh nyata pada setiap treatment yang diberikan pada tanaman di setiap dua minggunya. Pemberian mikroba pelarut fosfat adalah yang lebih signifikan untuk meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman sehingga merangsang efisiensi fiksasi nitrogen biologis, mensintesis fitohormon dan meningkatkan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman (Desika et al., 2022). Terdapat penambahan tinggi tanaman paling signifikan berada pada rentang waktu minggu ke-0 sampai dengan minggu ke-2. Perlakuan dengan penambahan mikroba 16 dengan *carrier* molase ke tanaman *Eucalyptus sp* yang diukur setiap dua minggu sekali menunjukkan rerata ketinggian yang paling tinggi dibandingkan dengan rerata pemberian mikroba tunggal 15, mikroba 15+R3.1, 16+R3.1, mikroba 3 konsorsium, dan kontrol (tanpa perlakuan mikroba). Pemberian mikroba 16 pada tanaman paling efektif untuk meningkatkan pertumbuhan pada tanaman *Eucalyptus sp* seperti disajikan pada gambar 4.1.



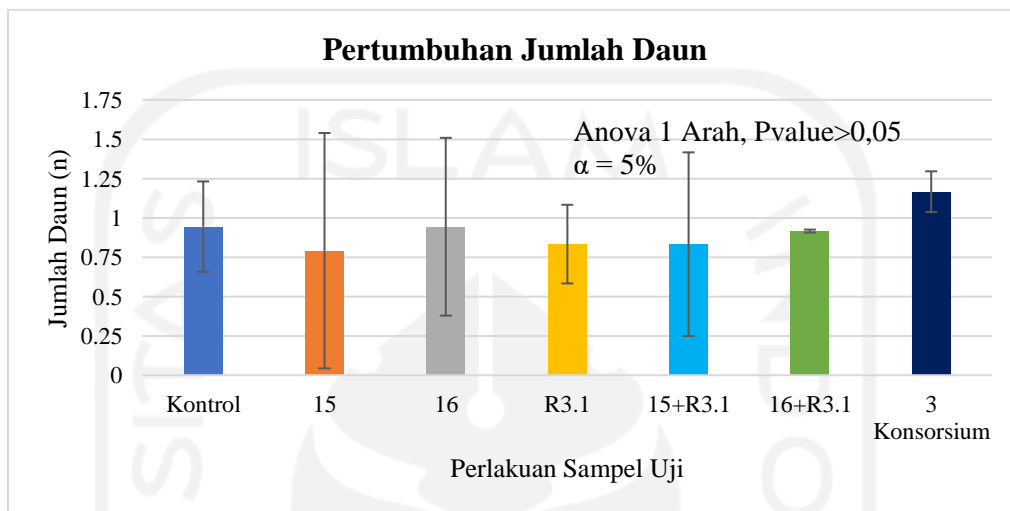
Gambar 4.2 Rerata Lebar Diameter Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Tabel 4.2 Hasil ANOVA Pertumbuhan Lebar Diameter Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,04634	6	0,00772	3,803825	0,013787	2,6986599
Within Groups	0,03452	17	0,00203			
Total	0,08086	23				

Dari gambar 4.2, dapat dilihat bahwa pertumbuhan diameter terjadi setiap dua minggu nya. Lebar diameter akan menentukan biomassa tanaman tersebut. Semakin besar diameter suatu tanaman maka akan semakin besar pula biomasanya, demikian juga sebaliknya (Nuranisa et al., 2020). Dari hasil pengolahan data anova *single factor* didapatkan nilai P-value sebesar 0,014, $\alpha < 0,05$, artinya terjadi perubahan nyata pada setiap treatment yang diberikan terhadap pertumbuhan diameter tanaman *Eucalyptus sp* disetiap dua minggu nya. Rerata pertumbuhan diameter akhir terendah adalah pada sampel yang tidak diberi perlakuan. Adapun pada pertumbuhan batang tanaman yang diberi mikroba dengan *carrier* molase menunjukkan perbedaan diameter yang lebih signifikan disetiap

perlakuannya. Nilai rerata dari diameter akhir yang didapatkan pada perlakuan mikroba 15, mikroba 16, mikroba R3.1, mikroba 15+R3.1, mikroba 16+R3.1 dan mikroba 3 konsorsium masing – masing yaitu 2,26 mm, 2 mm, 2,15 mm, 1,98 mm, 1,99 mm, dan 2,48 mm.



Gambar 4.3 Rerata Jumlah Daun Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Tabel 4.3 Hasil ANOVA Pertambahan Jumlah Daun Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

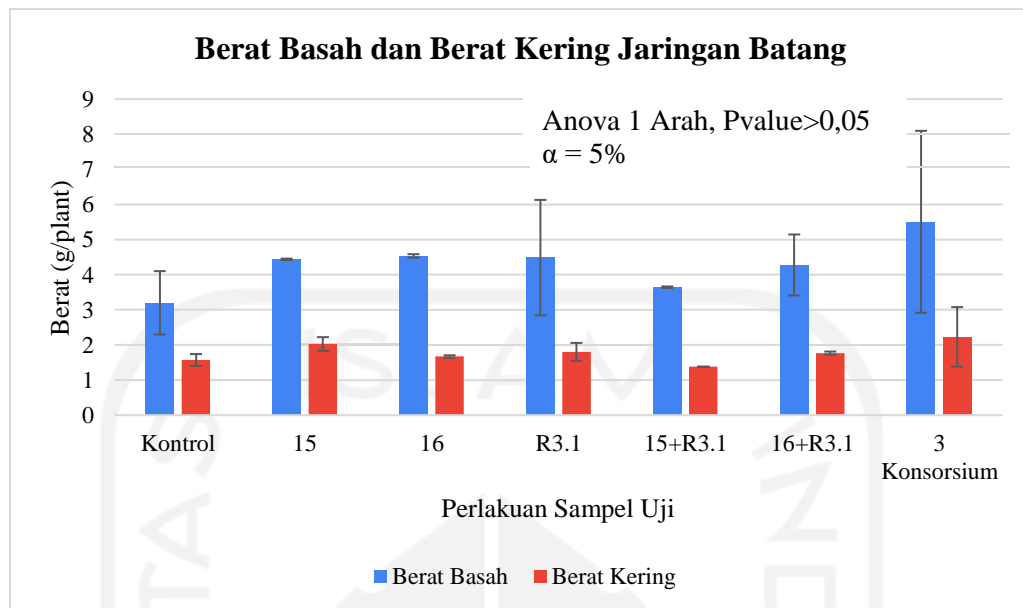
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,357639	6	0,059606	0,168042	0,981965	2,69866
Within Groups	6,030093	17	0,354711			
Total	6,387731	23				

Jumlah daun pada tanaman *Eucalyptus sp* disetiap dua minggu nya mengalami kenaikan dan penurunan. Rerata jumlah daun akhir tertinggi pada tanaman *Eucalyptus sp* yaitu pada perlakuan dengan pemberian mikroba 16 dan mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase yaitu sebanyak 19. Hal ini berarti pemberian *carrier* molase dengan mikroba mampu menambah jumlah daun disetiap dua minggunya. Sesuai dengan penelitian Eki et al (2016), yang menyatakan bahwa

penambahan molase pada tanaman mampu memacu peningkatan jumlah daun dibandingkan dengan tanpa diberi molase. Adapun peningkatan jumlah daun per dua minggu tertinggi yaitu pada perlakuan mikroba 3 konsrosium dengan *carrier* molase. Dari pengamatan jumlah daun yang telah dilakukan, dan pengolahan data dengan anova, didapatkan P-value sebesar 0,98, $\alpha > 0,05$ menunjukkan tidak ada perbedaan nyata pada setiap treatment yang diberikan terhadap jumlah daun disetiap dua minggu nya. Penurunan jumlah daun dapat terjadi karena tanaman mengalami kematian sel dan rusaknya pembentukan klorofil dalam tanaman akibat adanya cekaman logam berat, dicirikan dengan menggulungnya daun atau menguningnya daun pada tanaman (Hafizhah, 2019).

4.1.2 Biomassa Tanaman

Pengukuran biomassa tanaman meliputi berat basah dan berat kering tanaman. Tanaman Eucalyptus yang telah dipanen dan dibersihkan kemudian diukur berat basahnya dengan memisahkan antara jaringan batang tanaman dengan jaringan akar tanaman. Untuk berat kering, sampel tanaman yang telah ditimbang berat basahnya kemudian dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven dengan suhu 70°C selama 3 hari. Penimbangan berat kering dilakukan selang satu hari setelah pengambilan sampel dari oven. Perbandingan antara berat basah dan berat kering sampel disajikan dalam diagram batang berikut ini.



Gambar 4.4 Rerata Berat Basah & Berat Kering Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

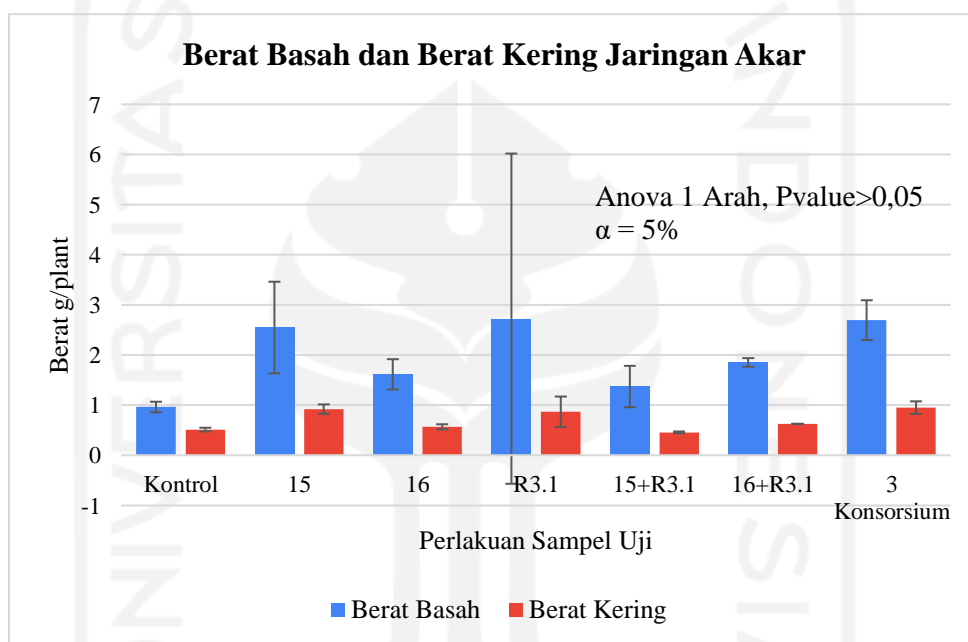
Tabel 4.4 Hasil ANOVA Rerata Berat Basah Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,02273	6	1,83712	1,99380	0,12303	2,69866
Within Groups	15,66408	17	0,92141			
Total	26,6868	23				

Tabel 4.5 Hasil ANOVA Rerata Berat Kering Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,68828	6	0,28138	1,140761	0,381402	2,69866
Within Groups	4,19322	17	0,24666			
Total	5,88150	23				

Berdasarkan Gambar 4.4, didapatkan bahwa rerata berat basah dan berat kering jaringan batang memiliki nilai yang bervariasi. Rerata berat basah dan berat kering jaringan batang tertinggi yaitu pada sampel yang diinokulasikan mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase. Dari hasil pengolahan data di anova, didapatkan nilai P-value berat basah pada jaringan batang sebesar 0,123 dan P-value berat kering jaringan batang sebesar 0,381. Hal ini menunjukkan bahwa $\alpha > 0,05$, artinya perlakuan tidak berpengaruh nyata pada setiap treatment di pengulangannya.



Gambar 4.5 Rerata Berat Basah & Berat Kering Jaringan Akar Tanaman *Eucalyptus sp* Selama 12 Minggu Penanaman

Tabel 4.6 Pengujian rerata ANOVA Berat Basah Jaringan Akar Tanaman *Eucalyptus* selama 12 Minggu Penanaman

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,64800	6	1,60800	2,20232	0,09372	2,69865
Within Groups	12,412	17	0,73013			
Total	22,06038	23				

Tabel 4.7 Pengujian rerata ANOVA Berat Kering Jaringan Akar Tanaman *Eucalyptus* selama 12 Minggu Penanaman

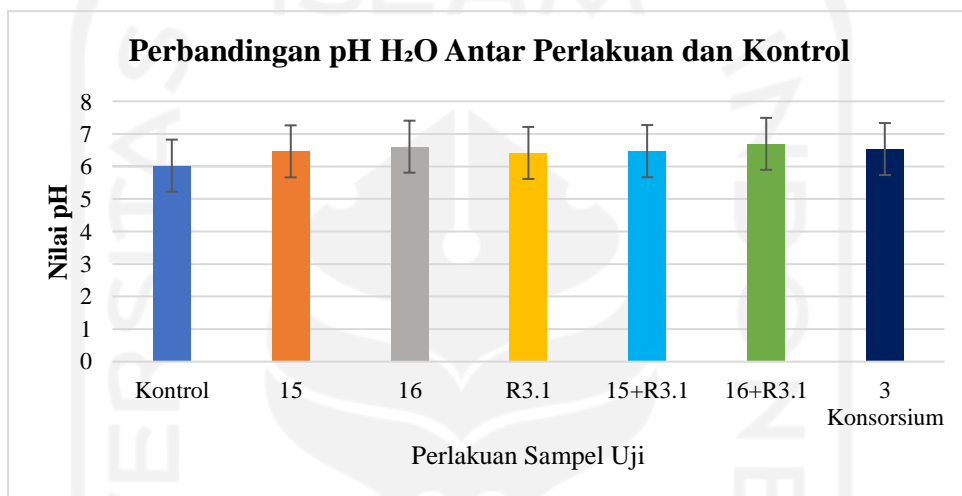
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,88269	6	0,14712	1,69597	0,18256	2,69866
Within Groups	1,47464	17	0,08674			
Total	2,35733	23				

Dapat dilihat pada Gambar 4.8, peningkatan berat basah dan berat kering tanaman *Eucalyptus sp* tertinggi di setiap dua minggu yaitu pada perlakuan sampel yang diinokulasikan dengan mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase dibandingkan dengan pemberian enam perlakuan lain. Berdasarkan Gambar 4.8, rerata nilai berat basah dengan perlakuan 3 konsorsium yaitu sebesar 5,51 g/plant untuk jaringan batang dan 2,23 g/plant untuk jaringan akar. Adapun rerata nilai berat basah dan berat kering jaringan akar tanaman masing – masing yaitu sebesar 2,70 g/plant dan 0,95 g/plant. Nilai P-value pada berat basah dan berat kering akar tanaman *Eucalyptus sp* masing – masing yaitu 0,093 dan 0,182, $\alpha > 0,05$. Semakin tinggi tanaman, luas diameter batang dan banyaknya jumlah daun yang ada di tanaman, maka berat basahnya juga semakin tinggi. Berat basah dan berat kering yang tinggi pada tanaman, menunjukkan bahwa tanaman mampu menyerap air dan nutrisi secara optimal (Jainurti, 2016).

4.2 Pengujian pH Tanah

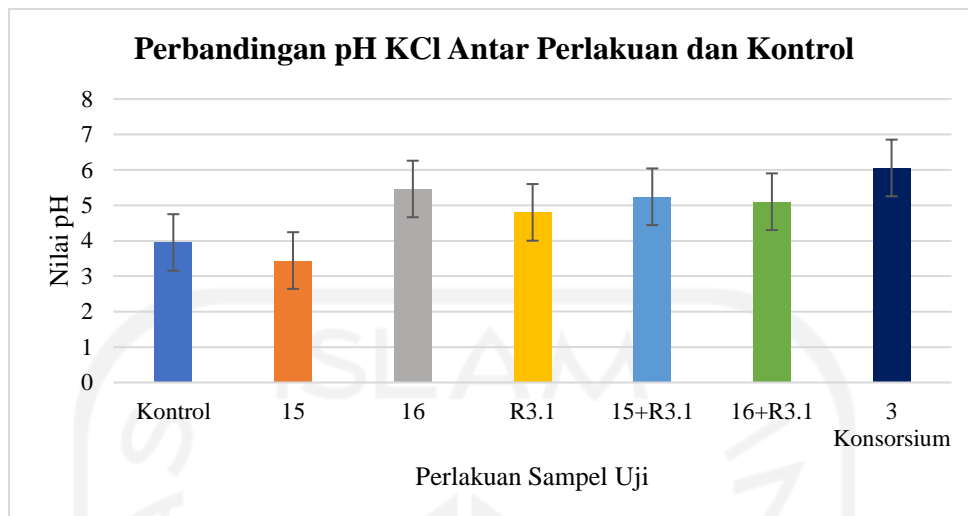
Pengujian pH tanah perlu dilakukan untuk mengetahui cepat lambatnya pertumbuhan tanaman uji dan penyerapan ion – ion unsur hara yang diserap oleh tanaman. Unsur hara lebih mudah diserap oleh tanaman pada rentang pH 6-7. (Karamina et al., 2018). Metode pengujian pH pada sampel tanah meliputi pH H₂O dan pH KCl. Hasil dari pengujian sampel pH H₂O memiliki rerata pH 6,45. pH H₂O memiliki nilai pH terendah pada sampel kontrol yang tidak diberi perlakuan yaitu sebesar 6,02. Peningkatan pH H₂O terjadi pada semua sampel yang diinokulasi mikroba dengan *carrier* molase. Nilai pH H₂O tertinggi yaitu pada perlakuan yang

diinokulasikan mikroba 16+R3 dengan nilai pH H₂O sebesar 6,69. Artinya, mikroba 16 yang dikombinasikan dengan mikroba R3 dan diaplikasikan dalam sampel mampu bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian membuktikan bahwa terjadi peningkatan pH pada sampel yang diberi perlakuan mikroba dengan carrier molase, dengan pH awal tanah tambang timah yaitu sebesar 5,34, mencapai rerata pH aktual yaitu sebesar 6,45. Hasil dari pengujian pH H₂O keseluruhan sampel disajikan dalam diagram Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.6 Nilai pH H₂O Sampel Uji Tanah

Adapun pada pengujian pH KCl, memiliki rentang pH antara 3 – 6. Peningkatan pH KCl tertinggi didapatkan pada perlakuan dengan pemberian mikroba 3 konsorsium dengan nilai pH sebesar 6,05. Sementara pH KCl terendah yaitu pada pemberian sampel dengan mikroba 15 dengan *carrier* molase memiliki nilai pH 3,44 dan masih dikategorikan sebagai pH masam. Tingginya kadar logam berat Zn pada sampel tanaman tersebut, dapat mengakibatkan terhambatnya kenaikan pH dalam tanah (Hafizhah, 2019).



Gambar 4.7 Nilai pH KCl Sampel Uji Tanah

pH sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, semakin baik pH tanah yaitu mendekati pH normal maka unsur hara yang dibutuhkan tanaman juga akan semakin meningkat (Firdaus et al., 2013). Pada kondisi dengan pH normal, akan cukup efektif dalam proses pertukaran unsur hara sehingga konsentrasi P dalam konisi pH normal pun juga akan tinggi. Hal ini dikarenakan kandungan kompleks pertukaran ion dipengaruhi oleh kation – kation yang bersifat basa dan mengoptimalkan penyerapan unsur hara (Rossi et al., 2018). Hasil dari pengujian membuktikan bahwa pemberian mikroba dengan *carrier* molase pada sampel memberikan pengaruh cukup baik untuk meningkatkan kadar pH dalam tanah dibandingkan dengan tanpa perlakuan dan efektif untuk meningkatkan nilai pH tanah timah yang tergolong masam.

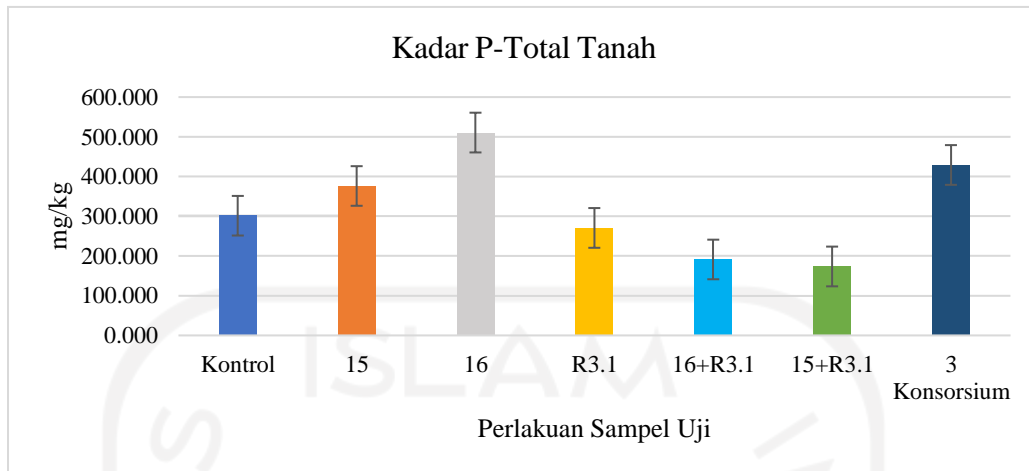
4.3 Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan *Carrier* Molase terhadap Serapan P-Total

Kadar P-Total dalam tanah dan jaringan tanaman dapat diketahui dengan pengujian menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. Berdasarkan penelitian Agus et al., (2017) konsentrasi P pada kondisi awal tanah bekas tambang timah yaitu sebesar 0,38 mg/kg dan mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan mencapai kadar 400 mg/kg. Dari pengujian tersebut juga didapatkan bahwa nilai P-Total dalam jaringan batang memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan

konsentrasi P-Total di akar tanaman. Hal ini disebabkan karena mikroba pelarut fosfat mampu memproses P dengan baik ke jaringan atas, sehingga nutrisi P menumpuk di jaringan atas tanaman dibandingkan pada jaringan bawah tanaman. Meningkatnya ketersediaan kadar P dalam tanah akan menaikkan kadar P dalam jaringan tanaman. Hal ini akan membantu dalam mengoptimalkan proses metabolisme tanaman (S. M. Lestari et al., 2019). Kadar P yang dibutuhkan untuk tanaman yaitu sekitar 2000 – 4000 mg/kg (Suhariyono & Menry, 2005). Jika pada tanaman memiliki nilai P- Total yang cukup maka akan membantu kelancaran proses fotosintesis pada tanaman tersebut karena akan meningkatkan kadar fotosintat (Juandi et al., 2014).

4.3.1 Hasil Pengujian P-Total Tanah

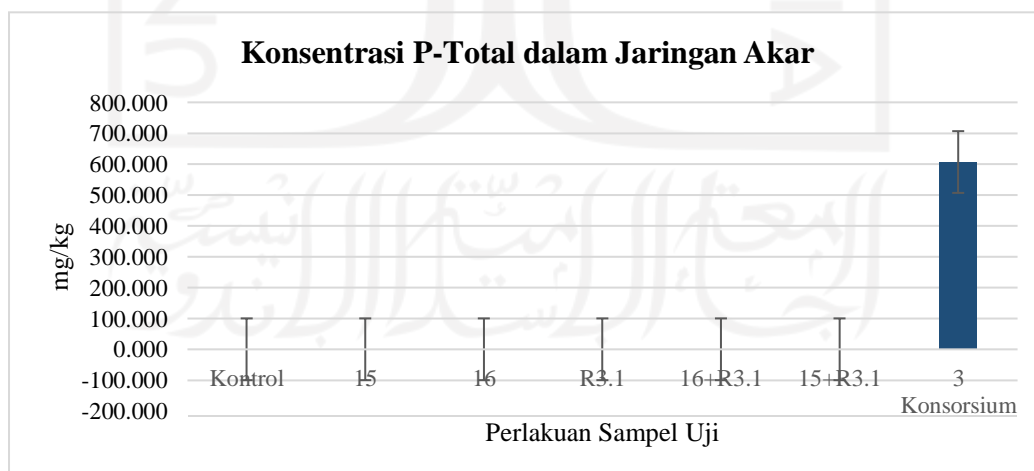
Didalam jaringan tanaman, fosfor memiliki fungsi yang dibutuhkan untuk keberlangsungan hidup tanaman yaitu untuk membantu dalam proses fotosintesis, transfer dan penyimpanan energi, respirasi, serta proses – proses lainnya. (Jainurti, 2016). Berdasarkan hasil pengujian, kadar P-Total dalam tanah dengan perlakuan pemberian mikroba dengan *carrier* molase menunjukkan perbedaan dibandingkan dengan tanpa perlakuan mikroba. Pengaruh paling signifikan untuk meningkatkan kadar P-Total dalam tanah yaitu dengan pemberian mikroba 16 dengan *carrier* molase, didapatkan kadar P-Total nya yaitu 510,767 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian mikroba dengan *carrier* molase memberikan hasil yang baik untuk meningkatkan konsentrasi P-Total dalam tanah dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Penyerapan kadar P dalam larutan tanah oleh Fe dapat mengalami penurunan jika pH nya meningkat (Dewi, 2018). Berikut merupakan grafik dari kadar P-Total yang terkandung dalam tanah:



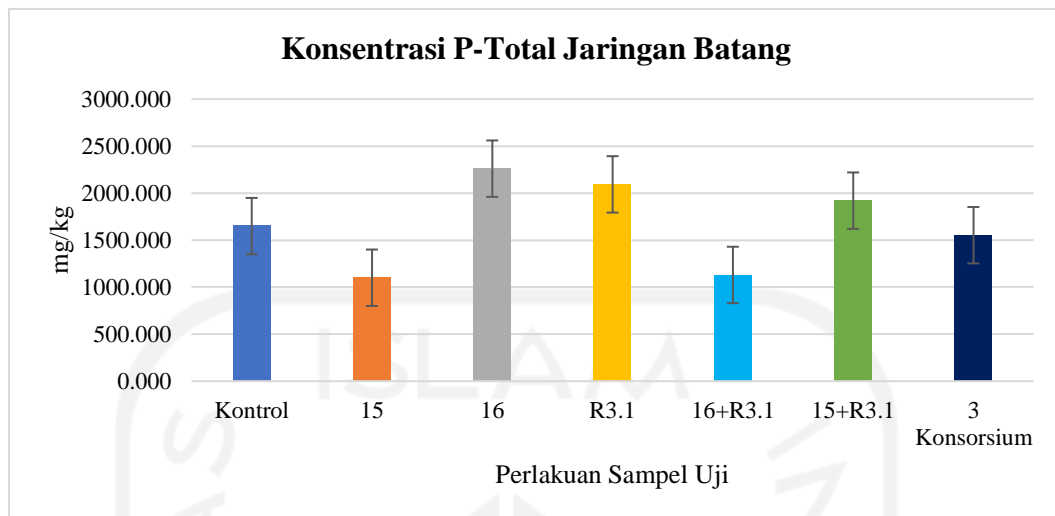
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Tanah

4.3.2 Hasil Pengujian P-Total Jaringan Akar dan Batang Tanaman

Hasil dari pengujian kadar P-Total dalam jaringan akar dengan perlakuan mikroba *single*, dua konsorsium dan tanpa perlakuan tidak terbaca pada alat ditunjukkan dengan nilai minus yang didapatkan. Perlakuan dengan pemberian *carrier* molase dan mikroba 3 konsorsium paling signifikan untuk meningkatkan kadar P-Total dalam jaringan akar tanaman dibandingkan dengan pemberian perlakuan lain. Besaran kadar P-Total dengan pemberian mikroba 3 konsorsium yaitu 606,849 mg/kg. Nilai P-Total ditunjukkan dalam grafik berikut ini:



Gambar 4.9 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Jaringan Akar Tanaman *Eucalyptus sp*



Gambar 4.10 Hasil Pengujian Konsentrasi P-Total Sampel Uji Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp*

Dilakukan pengujian P-Total dalam Jaringan Batang Tanaman dan diperoleh hasil konsentrasi tertinggi yaitu pada pemberian mikroba 16 memiliki kadar konsentrasi P-Total sebesar 2.259,79 mg/kg. Sedangkan penyerapan P-Total terendah yaitu pada pemberian mikroba 15 dengan konsentrasi sebesar 1.100,159 mg/kg. Tingginya kadar konsentrasi P-Total di batang dikarenakan penyerapan nutrisi dari akar kemudian tersimpan didalam batang, sehingga hal ini menjadikan kadarnya lebih tinggi jika dibandingkan pada jaringan akar tanaman. Berdasarkan Cakmak & Marschner (1987), peningkatan konsentrasi P, tidak berpengaruh pada penyerapan untuk translokasi kadar Zn dalam tanaman. Konsentrasi P-Total dalam tanaman juga dipengaruhi oleh pH. Nilai pH pada beberapa sampel tanaman pengujian masih termasuk kategori masam, hal ini dapat berpengaruh pada ketersediaan unsur hara P yang rendah (Dewi, 2018).

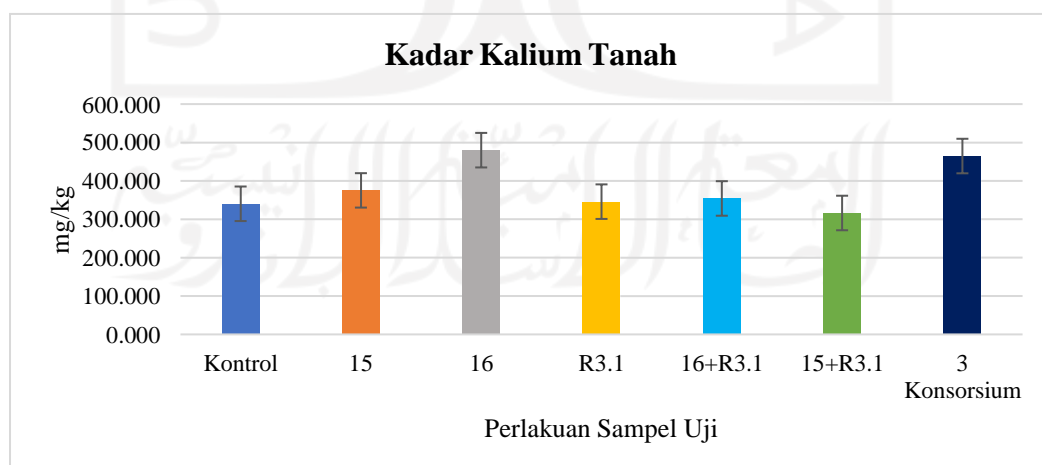
4.4 Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan *Carrier* Molase terhadap Serapan Kalium

Pengujian kalium dilakukan pada sampel tanah, jaringan batang dan akar tanaman menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) setelah proses penanaman selama 12 minggu, pemanenan, dan pengeringan. Kalium dalam tanaman berfungsi untuk mengoptimalkan penyerapan air dan unsur hara serta

mentransportasikan hasil proses asimilasi tanaman dari daun ke jaringan tanaman (Herliana et al., 2020). Nilai awal kadar kalium tanah bekas tambang timah yaitu sebesar 27,3 mg/kg (Agus et al., 2017). Pemberian mikroba dengan carrier molase pada sampel signifikan untuk meningkatkan konsentrasi kalium sampai dengan 400 mg/kg. Kadar kalium yang ada didalam tanah, jaringan akar, dan jaringan batang tanaman memiliki konsentrasi yang berbeda – beda.

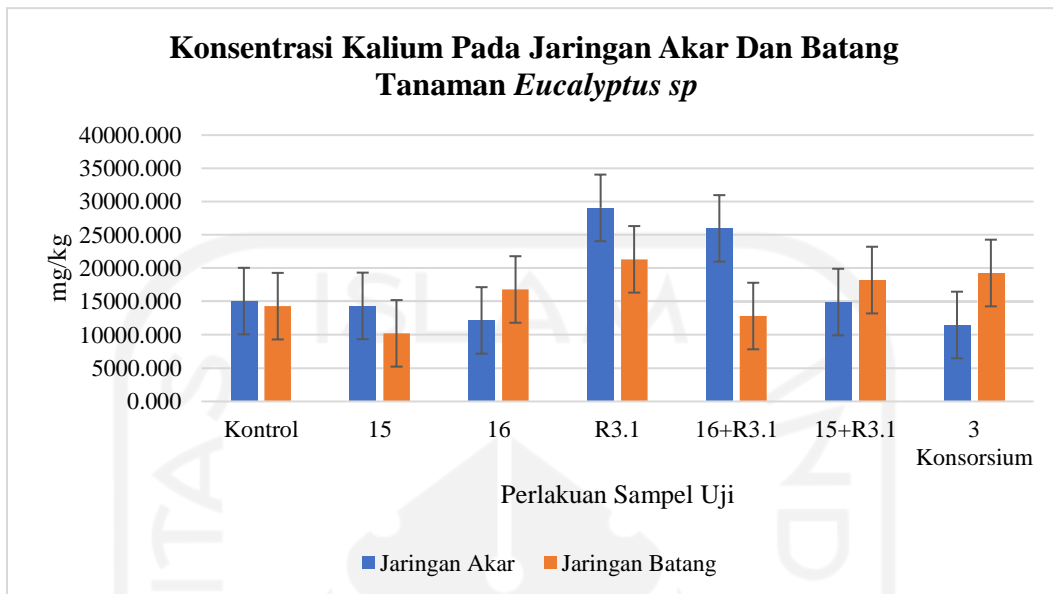
4.4.1 Hasil Pengujian Kalium Tanah

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa konsentrasi tertinggi kalium tanah yaitu pada perlakuan mikroba 16 dengan pemberian *carrier* molase, nilai konsentrasinya sebesar 479,769 mg/kg. Sedangkan nilai konsentrasi terendah ada pada sampel 15+R3.1, memiliki nilai kadar kalium sebesar 315,901 mg/kg. Nilai konsentrasi K memiliki pengaruh bagi bobot kering tanaman. Semakin tinggi nilai konsentrasi kalium, maka nilai bobot kering tanaman akan semakin tinggi juga (I. P. Lestari et al., 2020). Konsentrasi kalium pada tanah yang tinggi akan mengakibatkan serapan kalium ke jaringan tanaman yang semakin tinggi (Silahooy, 2008). Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, konsentrasi kalium masih dibawah kadar maksimum dengan nilai konsentrasi kalium maksimalnya yaitu 2000 mg/kg (Suhariyono & Menry, 2005). Konsentrasi kalium dari masing – masing perlakuan ditunjukkan melalui diagram dibawah ini:



Gambar 4.11 Hasil Pengujian Konsentrasi Kalium Sampel Uji Tanah

4.4.2 Hasil Pengujian Kalium Jaringan Akar dan Batang Tanaman



Gambar 4.12 Hasil Pengujian Konsentrasi Kalium Sampel Uji Jaringan Akar dan Batang Tanaman *Eucalyptus sp*

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa nilai konsentrasi kalium jaringan akar tanaman dengan tanpa perlakuan dan perlakuan berbeda. Konsentrasi pada sampel akar tanaman tanpa perlakuan yang diuji yaitu sebesar 15.058,84 mg/kg. Sedangkan pada jaringan akar yang diberi inokulasi mikroba 15, mikroba 16, mikroba R3.1, mikroba, 16+R3.1, mikroba 15+R3.1, dan 3 konsorsium dengan *carrier* molase adalah 14.350,05 mg/kg, 12.154,35 mg/kg, 29.057,79 mg/kg, 25.962,55 mg/kg, 14.898,26 mg/kg dan 11.452,74 mg/kg. Rata – rata sampel tanaman jaringan akar memiliki konsentrasi kalium yang masih masuk dalam kadar normal, dikarenakan kebutuhannya yang cukup tinggi untuk tanaman yaitu sekitar 10.000 mg/kg (Suhariyono & Menry, 2005). Di dalam jaringan tanaman, kalium yang diserap adalah berupa K-Total. Unsur K dibutuhkan lebih banyak oleh tanaman dibandingkan P yaitu mencapai 3 hingga 4 kali kebutuhan P dalam tanaman (Silahooy, 2008).

Pengujian kalium di jaringan batang tanaman memiliki konsentrasi yang bervariasi. Konsentrasi kalium yang didapatkan dari hasil pengujian dengan metode AAS pada perlakuan kontrol yaitu sebesar 14.285,89 mg/kg. Sementara, untuk

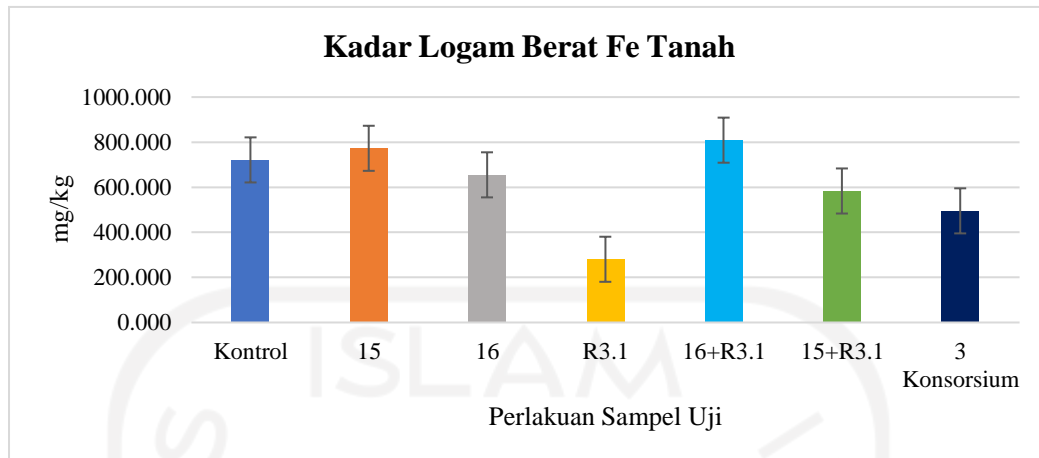
perlakuan mikroba 15, mikroba 16, mikroba R3.1, mikroba 16+R3.1, mikroba 15+R3.1 dan mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase masing – masing memiliki hasil konsentrasi yaitu sebesar 10.205,90 mg/kg, 16.792,97 mg/kg, 21.311,14 mg/kg, 12.802,79 mg/kg, 18.201,39 mg/kg, dan 19.264,63 mg/kg. Dari hasil yang didapatkan, sampel perlakuan dengan pemberian mikroba dengan *carrier* molase menunjukkan penambahan kadar nutrisi kalium dibandingkan dengan sampel tanaman tanpa perlakuan.

4.5 Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan *Carrier* Molase terhadap Serapan Logam Berat Fe

Konsentrasi logam berat dalam tanah, jaringan akar, dan jaringan tanaman diukur menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Kandungan Fe dibutuhkan oleh tanaman untuk proses metabolisme serta dapat menentukan kualitas dan kuantitas hasil tanaman. Hasil dari pengujian logam berat tanah, jaringan akar, dan jaringan batang memiliki konsentrasi yang berbeda disetiap perlakuan yang diberikan.

4.5.1 Hasil Pengujian Fe Tanah

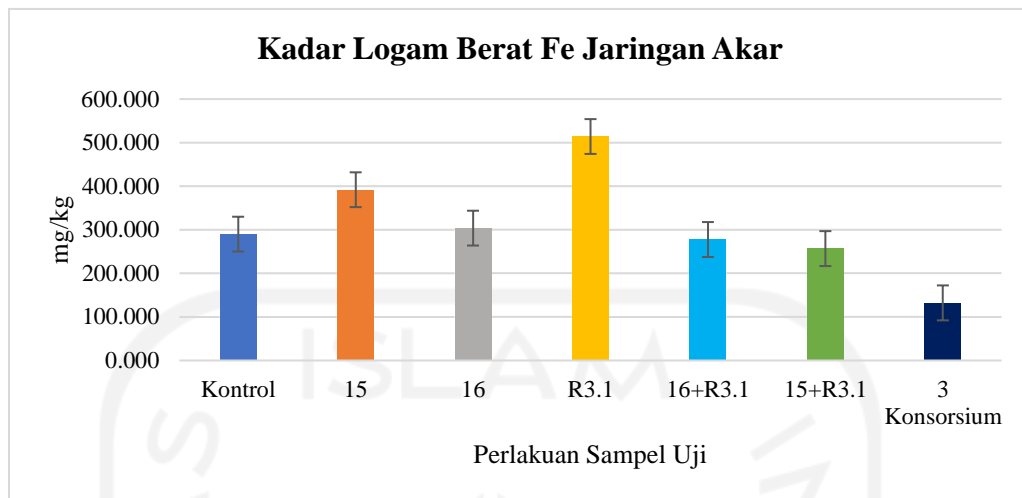
Pengujian Fe tanah mendapatkan hasil bahwa kadar logam berat Fe paling rendah yaitu dengan pemberian mikroba R3.1 dengan kadar konsentrasi sebesar 280,713 mg/kg. Kadar konsentrasi tersebut masih termasuk dalam kategori kelebihan unsur Fe dalam tanah, karena kadar maksimumnya 100 ppm. Konsentrasi Fe dalam tanah lebih besar dibandingkan dengan jaringan tanaman karena adanya proses kimia yang menetap didalam tanah (Suhariyono & Menry, 2005). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kandungan Fe dalam tanah masih cukup tinggi.



Gambar 4.13 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Tanah

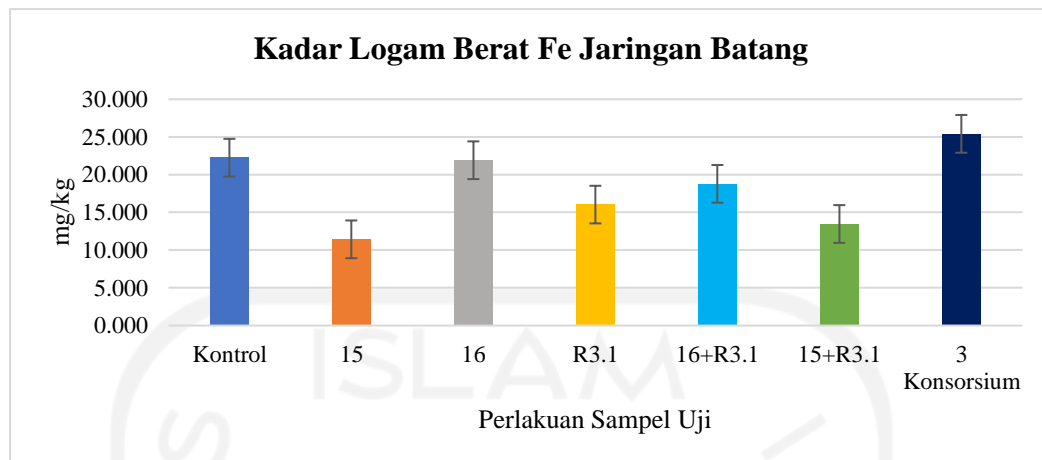
4.5.2 Hasil Pengujian Fe Jaringan Akar dan Batang Tanaman

Kadar logam berat besi pada jaringan akar tanaman *Eucalyptus sp* yang diberi perlakuan mikroba dengan *carrier* molase dan tanpa perlakuan mendapatkan konsentrasi yang berbeda. Sampel kontrol memiliki nilai konsentrasi sebesar 290,110 mg/kg. Sementara pada sampel yang diberi perlakuan, penambahan mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase adalah yang memiliki kadar Fe paling rendah dibandingkan dengan sampel yang diberi mikroba jenis lain, kadar konsentrasinya yaitu 132,273 mg/kg. Pada perlakuan dengan penambahan mikroba 15 dan R3.1 dengan *carrier* molase, kadar Fe dalam jaringan akar tanaman tersebut masih melebihi kadar yang dibutuhkan oleh tanaman yaitu sebesar 300 mg/kg (Sari et al., 2022). Konsentrasi logam berat besi (Fe) di jaringan akar yang lebih besar daripada di jaringan batang disebabkan karena adanya gangguan penyerapan sehingga mengakibatkan tingginya endapan besi pada permukaan akar sehingga Fe yang ditranslokasikan ke batang rendah (Effendi et al., 2017). Perbedaan konsentrasi di masing – masing perlakuan disebabkan oleh tingkat penyerapan logam berat pada jaringan tanaman yang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, kapasitas tukar ion, kejenuhan basa, pertukaran kation, dan lain-lain (Priyanti & Yunita, 2013).



Gambar 4.14 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Jaringan Akar Tanaman *Eucalyptus sp*

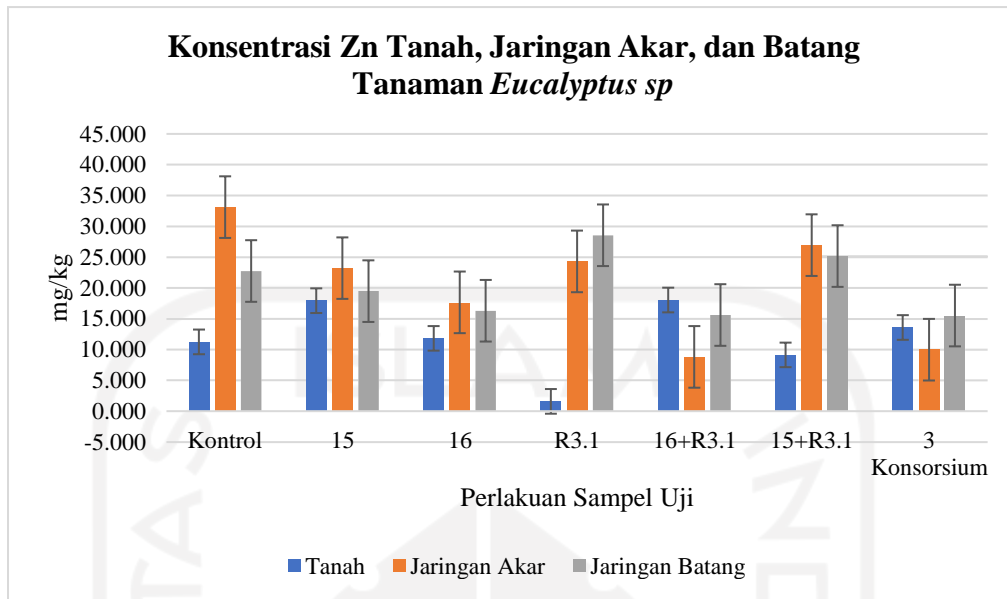
Konsentrasi logam berat Fe di jaringan batang cukup rendah dibandingkan dengan konsentrasi yang berada di tanah maupun jaringan akar. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, hasil konsentrasi besi yang didapatkan pada jaringan batang memiliki rentang antara 10-30 mg/kg. Nilai konsentrasi logam berat pada sampel kontrol yaitu sebesar 22,257 mg/kg. Sementara nilai konsentrasi logam berat Fe yang diberi perlakuan mikroba 15, mikroba 16, mikroba R3.1, mikroba 16+R3.1, mikroba 15+R3.1, dan mikroba 3 konsorsium masing masing sebesar 11,438 mg/kg, 21,920 mg/kg, 16,035 mg/kg, 18,794 mg/kg, 13,461 mg/kg, dan 25,414 mg/kg. Kelebihan kadar Fe yang ada di jaringan tanaman dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tanaman dan dicirikan dengan timbulnya bercak karat pada daun (Effendi et al., 2015).



Gambar 4.15 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Fe Sampel Uji Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp*

4.6 Hasil Pengujian Tanah dan Jaringan Tanaman yang Diinokulasikan Mikroba Terseleksi dengan *Carrier* Molase terhadap Serapan Logam Berat Zn

Selain Fe, pengujian logam berat Zn juga dilakukan untuk mengetahui kadar logam nya dalam tanah, jaringan akar, dan jaringan batang tanaman. Hasil konsentrasi logam berat Zn dalam tanah, jaringan akar, dan jaringan batang memiliki nilai yang bervariasi. Hasil kadar logam berat Zn pada sampel tanah, jaringan akar, dan jaringan batang memiliki nilai konsentrasi dibawah 50 mg/kg. Berdasarkan (Suhariyono & Menry, 2005), kadar logam berat Zn tanaman *Eucalyptus sp* yang diuji masih masuk dalam kadar yang diperlukan oleh tanaman yaitu 100 mg/kg. Berikut merupakan hasil pengujian konsentrsi Zn pada sampel tanah, jaringan akar, dan jaringan batang pada Gambar 4.22:



Gambar 4.16 Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat Zn Pada Sampel Uji Tanah, Jaringan Akar, dan Jaringan Batang Tanaman *Eucalyptus sp*

4.6.1 Hasil Pengujian Zn Tanah

Konsentrasi akhir Zn yang diuji dalam tanah terendah yaitu pada perlakuan sampel yang diberi mikroba R3.1 dengan carrier molase, memiliki kadar konsentrasi sebesar 1,607 mg/kg. Sedangkan pada pemberian mikroba 16+R3.1, hasil konsentrasi logam berat Zn adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi perlakuan lain, nilai konsentrasinya yaitu sebesar 18,062 mg/kg.

4.6.2 Hasil Pengujian Zn Jaringan Akar dan Batang Tanaman

Berdasarkan Gambar 4.16, dapat dilihat bahwa kadar konsentrasi logam berat Zn di jaringan tanaman antara kontrol, dan pemberian mikroba *single*, 2 konsorsium, dan 3 konsorsium dengan *carrier* molase memiliki konsentrasi yang bervariasi. Nilai konsentrasi logam berat Zn dalam jaringan akar tanaman pada sampel kontrol yaitu sebesar 33,109 mg/kg. Adapun untuk nilai konsentrasi pada mikroba 15, mikroba 16, mikroba R3.1, mikroba 16+R3.1, mikroba 15+R3.1, dan mikroba 15+16+R3.1 masing – masing sebesar 23,209 mg/kg, 17,652 mg/kg, 24,310 mg/kg, 8,812 mg/kg, 26,938 mg/kg, dan 9,978 mg/kg. Konsentrasi Zn pada beberapa sampel jaringan tanaman memiliki Zn yang cukup rendah. Konsentrasi Zn

yang berada dibawah 20 ppm menunjukkan defisiensi Zn pada tanaman (Handayanto et al, 2017). Defisiensi Zn pada tanaman akan mengakibatkan beberapa gejala yang mengganggu tanaman seperti pemendekan ruas batang, mengecilnya lebar daun, dan muncul gejala klorosis pada daun (Naibaho et al., 2018). Beberapa sampel uji memiliki kadar konsentrasi logam berat Zn yang lebih tinggi di akar daripada di batang. Hal ini dikarenakan akar memiliki sistem penghentian logam menuju jaringan atas tanaman dan mengakibatkan terakumulasinya kadar logam berat di bagian akar tanaman (Hafizhah, 2019).

Pada sampel uji jaringan batang tanaman, kadar logam berat Zn tertinggi yaitu pada perlakuan dengan mikroba single dengan *carrier* molase yaitu R3.1, memiliki kadar sebesar 28,536 mg/kg. Sedangkan kadar logam berat terendah ada pada sampel uji yang diberi perlakuan 3 konsorsium mikroba, konsentrasinya sebesar 15,516 mg/kg. Adapun nilai konsentrasi logam berat pada sampel kontrol, mikroba 15, mikroba 16, mikroba 16+R3.1, mikroba 15+R3.1 masing – masing kadarnya yaitu 19,477 mg/kg, 16,290 mg/kg, 15,607 mg/kg, dan 25,168 mg/kg. Dari hasil yang didapatkan, perlakuan sampel yang diinokulasikan mikroba dengan *carrier* molase mampu menjaga kadar Zn yang dibutuhkan oleh tanaman dan tergolong tidak kelebihan unsur Zn.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Penggunaan mikroba pelarut fosfat dengan *carrier* molase berpengaruh untuk meningkatkan pertumbuhan tinggi, diameter, dan jumlah daun tanaman *Eucalyptus sp* khususnya mikroba 3 konsorsium
2. Mikroba 3 konsorsium dengan *carrier* molase efektif dalam meningkatkan kadar nutrisi P-Total dan Kalium dalam jaringan tanaman mencapai kadar 2.000 mg/kg dibandingkan dengan tanpa perlakuan dan terbukti meningkatkan konsentrasi P dan K dalam tanah dari kondisi awal.
3. Pemberian isolat mikroba dengan *carrier* molase pada sampel mampu menaikkan nilai pH tanah dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan dan efektif dalam meningkatkan pH tanah dari kondisi awal pH tanah tambang timah.
4. Inokulasi mikroba *single* maupun kombinasi rata – rata mampu memberikan pengaruh baik pada kadar logam berat Zn dalam tanah dan jaringan tanaman dengan hasil konsentrasi diatas 20 mg/kg.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian yang telah dilakukan yaitu

1. Melakukan pengujian untuk beberapa sampel pengulangan perlakuan sehingga dapat mengetahui rerata kandungan logam berat maupun nutrisi yang terdapat dalam tanah dan jaringan tanaman
2. Mengimplementasikan pengaplikasiannya ke lapangan secara langsung sehingga dapat memberikan hasil yang nyata untuk lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C., Wulandari, D., Primananda, E., Hendryan, A., & Harianja, V. (2017). The Role of Soil Amendment on Tropical Post Tin Mining Area in Bangka Island Indonesia for Dignified and Sustainable Environment and Life. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 83(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/83/1/012030>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Bangka Belitung. 2018.
- Badayos, R. B., Sanchez, P. B., Cruz, P. C. S., & Florece, L. M. (2017). *JOURNAL OF D EGRADED AND M INING L ANDS M ANAGEMENT* Land suitability evaluation of abandoned tin-mining areas for agricultural development in Bangka Island, Indonesia. 4(4), 907–918. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.044.907>
- Cakmak, I., & Marschner, H. (1987). Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants Is mail. *Physiologia Plantarum*, 70(1), 13–20. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb08690.x>
- Desika, R., Pane, P., & Ginting, E. N. (2022). Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 51–59.
- Dewi Firnia. (2018). Dinamika Unsur Fosfor Pada Tiap Horison Profil Tanah Masam. *Jur. Agroekotek* 10 (1): 45 – 52.
- Dian Nurtjahyani, S., Oktafitria, D., Wulan, S., Maulidina, N., Cintamulya, I., Purnomo, E., & Mustofa, A. (2020). Utilization of Leaves in Mine Reclamation Land as Organic Fertilizer with Effective Bioactivatory of Microorganism 4 (em4) and Molasses. *Microbiology Indonesia*, 14(2), 83–88. <https://doi.org/10.5454/mi.14.2.5>
- Dixit A, Rohilla A, dan Singh V, (2012), A review article: Eucalyptus globulus: A new perspective in therapeutics. *Int J Pharm Chem Sci.*;1(4):1678–1683

- Effendi, M. I., Cahyono, P., & Prasetya, B. (2015). Tiga Klon Tanaman Nanas. *J. Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 2(2), 179–189.
- Eki, H. P., Wardiyanti, T., & Nawawi, M. (2016). Pengaruh dosis pupuk nitrogen dan tingkat kepadatan tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (*Brassica oleraceae* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 4(1), 49–56. Retrieved from <http://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/download/259/251>
- Erwiza Erman. (2009), Aktor, Akses Dan Politik Lingkungan Di Pertambangan Timah Bangka, Ed. XXXVI no. 2, 71-101.
- Eviati, & Sulaiman. (2009). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Fifendy, M., Irdawati, & Eldini. (2013). Pengaruh pemanfaatan molase terhadap jumlah mikroba dan ketebalan nata pada teh kombucha. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 67–72.
- Firdaus, Wulandari, S., & Mulyeni, G. D. (2013). Pertumbuhan Akar Tanaman Karet Pada Tanah Bekas Tambang Bauksit Dengan Aplikasi Bahan Organik. *Jurnal Biogenesis*, 10(1), 1–6.
- Hafizhah, S. I. (2019). Akumulasi Dan Penyerapan Logam Berat Seng (Zn) Oleh Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*) Pada Tanah Tercemar (pp. 1–123).
- Hambali, R., & Wahyuni, S. (2021). The potential for land erosion due to primary tin mining in Bangka Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012072>
- Hamid, I., Jaya Priatna, S., Agus Hermawan, dan, kunci, K., Tambang Timah, R., Fisika Tanah, S., & Kimia Tanah, S. (2017). Karakteristik Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Penelitian Sains*, 19, 23–31.
- Hamzah, Y., Mardhiansyah, M., & Firdaus, L. N. (2018). Characterization of Rare Earth Elements in Tailing of Ex-Tin Mining Sands from Singkep Island, Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 7(2), 131–137. <https://doi.org/10.13170/aijst.7.2.8622>

- Handayanto, Eko., Nurul M., & Amrullah Fiqri. (2017). Pengelolaan Kesuburan Tanah. 78
- Herliana, I., Suryatmana, P., Hindersah, R., & Noviardi, R. (2020). PENGARUH PENAMBAHAN TOP SOIL INCEPTISOL DAN KOMPOS PADA TAILING AMALGAMASI TERHADAP PANJANG SULUR, DIAMETER SULUR DAN JUMLAH CABANG TANAMAN UBI JALAR (*Ipomoea batatas* L.). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 161–168. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.19>
- Huang YY, Zhong XQ, Wang JZ, Ni CY, Li QX (2007) Problems of ecological economy of Eucalyptus paper industry in China. *Ecological Economy* 8:38–45
- Irzon, R. (2021). Penambangan timah di Indonesia: Sejarah, masa kini, dan prospeksi. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 17(3), 179–189. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol17.no3.2021.1183>
- Jainurti, E. vianney. (2016). Pengaruh penambahan tetestebu (Molase) pada fermentasi urin sapi terhadap pertumbuhan bayam. *Skripsi Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Sanata Dharma* Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakult, YOGYAKARTA.
- Jalilvand, N., Akhgar, A., Alikhani, H. A., Rahmani, H. A., & Rejali, F. (2020). Removal of Heavy Metals Zinc, Lead, and Cadmium by Biomineralization of Urease-Producing Bacteria Isolated from Iranian Mine Calcareous Soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 206–219. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00121-z>
- Juandi, A. (2014). Uji Efektivitas Penduga P Pada Tanah Tercemar Logam Berat Yang Ditanami Jagung (*Zea mays* L.) (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Karamina, H., Fikrinda, W., & Murti, A. T. (2018). Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai pH tanah di perkebunan

- jambu biji varietas kristal (*Psidium guajava* L.) Bumiaji, Kota Batu. *Kultivasi*, 16(3), 430–434. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i3.13225>
- Kurniahu, H., Sriwulan, S., & Andriani, R. (2018). Pemberian PGPR Indigen untuk Pertumbuhan Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) Varietas Lokal Tuban pada Media Tanam Bekas Tambang Kapur. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 11(1), 52–57. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v11i1.4305>
- Lestari, I. P., Susila, A. D., Sutandi, A., & Nursyamsi, D. (2020). Studi Korelasi K pada Tanah Ultisol untuk Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 11(1), 41–50. <https://doi.org/10.29244/jhi.11.1.41-50>
- Lestari, S. M., Soedradjad, R., Soeparjono, S., & Setiawati, T. C. (2019). APLIKASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DAN ROCK PHOSPHATE TERHADAP KARAKTERISTIK FISILOGI TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal Bioindustri*, 2(1), 319–333. <https://doi.org/10.31326/jbio.v2i1.178>
- Li, S., Zhao, X., Ye, X., Zhang, L., Shi, L., Xu, F., & Ding, G. (2020). The effects of condensed molasses soluble on the growth and development of rapeseed through seed germination, hydroponics and field trials. *Agriculture (Switzerland)*, 10(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070260>
- Naibaho, S., Hanum, H., & Supriadi. (2018). Pengaruh Aplikasi Biochar Sekam Padi dan Kulit Biji Kopi Terhadap Hara dan Zn Serta Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Tanah Sawah Jenuh P. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 6(1), 100–106. <file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf>
- Nuranisa, S., Sudiana, E., & Yani, E. (2020). HUBUNGAN UMUR DENGAN Biomassa, Stok karbon dioksida, Tegakan POHON DUKU (*Lansium parasiticum*) DI DESA KALIKAJAR KECAMATAN KALIGONDANG KABUPATEN PURBALINGGA. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(1), 146. <https://doi.org/10.20884/1.bioe.2020.2.1.1866>

- Nurtjahya, E., Franklin, J., A., Umroh, & Agustina F. (2017). The impact of tin mining in Bangka Belitung and its reclamation studies. *Matec Web of Conferences* 101, 04010. Doi: 10.1051/mateconf/201710104010
- Okonkwo, S. O., Jacob, J. O., Iyaka, Y. A., & Inobeme, A. (2021). Assessment of selected heavy metal concentrations in soils from a mining area in Minna, Niger state. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08903-8>
- Pajan, S. A., Waworuntu, O., & Leman, M. A. (2016). Potensi Antibakteri Air Perasan Bawang Putih (*Allium Sativum* L) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus Aureus*. *Jurnal Ilmiah Farmasi "Pharmacon" – UNSRAT*, 5(4), 77–89.
- Pamungkas, S. S. T., & Evandani, D. (2021). Pemanfaatan Limbah Cair dan Padat Pabrik Gula Sebagai Penambah Unsur Hara pada Tanah Pasiran di Pembibitan Tebu (*Saccharum officinarum* L). *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 17(1), 40–47.
- Prabowo, R. 2018. Analisis Tanah Sebagai Indikator Tingkat Kesuburan Lahan Budidaya Pertanian Di Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*. 59-64.
- Priyanti, & Yunita, E. (2013). Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (*Limnocharis flava*) terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn). *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 283–290.
- Punjungsari, T. N. (2017). Pengaruh Molase Terhadap Aktivitas Konsorsium Bakteri Pereduksi Sulfat Dalam Mereduksi Sulfat (So^4). *VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 11(2), 39–49. <https://doi.org/10.35457/viabel.v11i2.267>
- Rohim, A. 2014. Pengaruh Perbedaan Penambahan Kadar Molase Rebus pada Medium Gula Terhadap Biomassa Sel Khamir Laut. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya: Malang.
- Sari, R., Palupi, N. P., Kesumaningwati, R., & Jannah, R. (2022). Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Fitoremediasi pada Tanah Sawah menggunakan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Absorption of Heavy Metal Iron (Fe) by Phytoremediation Method in Rice Fields using

- Water Kangkung Plants (*Ipomoea aqu.* *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 5(Agustus 2022), 9–19.
- Setyowati, R. D., Amala, N. A., & Aini, N. N. (2017). Studi Pemilihan Tanaman Revegetasi Untuk Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 14-20.
- Sidik H, Tala'ohu, S Sukmana, D Erfandi and D Sudjarwadi. 2006. Reklamasi tanah pasca penambangan sisa galian penambangan batu bara dan monitoring erosi di Tanjung Enim. Kerja Sama PTBA dengan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor. Prosiding Pembahasan Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bidang Fisika, Knservasi Tanah dan Air dan agroklimat. Bogor, 21-23 Agustus 1996. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor
- Silahooy, C. (2008). Efek Pupuk KCl dan SP-36 Terhadap Kalium Tersedia, Serapan Kalium dan Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada Tanah Brunizem. *Buletin Agronomi*, 36(2), 126–132.
- Suhariyanto, R., Melsandi, M., Astuti, L., Pria, M., Wasana, A., Dwi, F., Santy, R., & Biologi, P. (2018). *Prosiding Seminar Nasional IV 2018 Peran Biologi dan Pendidikan Biologi dalam Revolusi Industri 4.0 dan Mendukung Pencapaian Sustainability Development Goals (SDG's) Pengaruh pemberian molase terhadap pertumbuhan jagung (Zea mays) Penulis koresponden.* 213–218.
- Suhariyono, G., & Menry, Y. (2005). Analisis karakteristik unsur-unsur dalam tanah di berbagai lokasi dengan menggunakan xrf. *Ppi-Pdiptn 2005*, 197–206.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Syahri, Y. F., Tojang, D., Kolaka, S. N., & Baharuddin, A. Y. (2018). Isolation and Selection of Indigenous Bacteria Resistant Nickel and Chromium from Nickel Post Mining Land in Pomalaa, Indonesia. *Ijisrt.Com*, 3(11), 401–404. <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2018/12/IJISRT18NV62-2>
- Valli, V., Gomez-Caravaca, A.M., Nunzio, M.D., Danesi, F., Caboni, M.F., & Bordoni, A., (2012). Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant

alternatives to refined sugar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 12508-12515.

Warni, D., Karina, S., & Nurfadillah (2017). *ANALISIS LOGAM Pb, Mn, Cu, dan Cd PADA SEDIMEN DI PELABUHAN JETTY MEULABOH, ACEH BARAT* *Analysis of Heavy Metal Pb, Mn, Cu and Cd on Sediment at Jetty*. 2(April), 246–253.

Yuarsah, I., Handayani, E. P., Rakhmiati, & Yatmin. (2017). Restoration of Soil Physical and Chemical Properties of Abandoned Tin- Mining in Bangka Belitung Islands. *Journal of Tropical Soils*, 22(1), 21–28. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i1.21-28>

Yuniarti, K., & Arif Nirsatmanto (2018). *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea SEVERAL PHYSICAL PROPERTIES OF Eucalyptus pellita F. Muell FROM DIFFERENT*. 7, 151–163.

Yusma. 1999. Pemanfaatan Limbah Molase dalam Pembuatan Etanol Secara Fermentasi. Puslitbang Farmasi, Badan Litbangkes, DepKes RI: Jakarta

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Data Analisis

Tabel 1 Rerata ketinggian Tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Tinggi Tanaman (cm)						
	0	2	4	6	8	10	12
CMO	26,3	29,1	30,8	32,6	34,2	35,8	36,8
15	21,4	25,2	27,4	29,2	30,3	31,3	32,8
16	21,3	25,7	27,3	29,8	31,7	33,2	37,4
R3	20,3	23,7	24,8	26,8	27,8	28,9	30,2
15+R3	21,0	25,4	27,0	28,8	30,3	32,4	34,6
16+R3	24,8	28,1	30,4	32,0	33,0	34,2	35,9
3 Konsorsium	26,5	30,4	32,5	34,3	35,4	37,0	39,4

Tabel 2 Rerata delta ketinggian tanaman *Eucalyptus sp*

Ulangan	Treatment						
	CMO	15	16	R3.1	15+R3.1	16+R3.1	3 Konsorsium
1	3,3	2,3	3,4	1,7	2,6	1,9	2,3
2	1,4	1,7	2,7	1,5	2,3	2,2	2,6
3	0,6	2,2	2,0	1,8	2,0	1,5	1,3
4		1,5				1,9	2,5

Tabel 3 Rerata pertumbuhan diameter tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Diameter Batang (mm)						
	0	2	4	6	8	10	12
CMO	1,64	1,75	1,84	1,89	2,14	2,32	2,55
15	1,80	2,05	2,15	2,28	2,34	2,49	2,72
16	1,51	1,69	1,85	1,99	2,06	2,31	2,60
R3	1,82	1,91	1,99	2,07	2,17	2,40	2,69
15+R3	1,64	1,73	1,94	1,97	2,06	2,22	2,32
16+R3	1,52	1,75	1,90	2,01	2,09	2,30	2,39
3 Konsorsium	2,06	2,17	2,27	2,32	2,47	2,62	3,44

Tabel 4 Rerata delta lebar diameter tanaman *Eucalyptus sp*

Ulangan	Treatment						
	CMO	15	16	R3.1	15+R3.1	16+R3.1	3 Konsorsium
1	0,08	0,19	0,20	0,18	0,08	0,17	0,22
2	0,06	0,13	0,18	0,13	0,11	0,20	0,24
3	0,11	0,17	0,16	0,13	0,15	0,13	0,14
4		0,12				0,09	0,33

Tabel 5 Rerata jumlah daun tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Jumlah Daun						
	0	2	4	6	8	10	12
CMO	13	15	16	16	17	18	18
15	13	16	16	17	17	17	18
16	15	19	19	21	21	19	21
R3.1	12	16	15	14	15	17	17
15+R3.1	14	17	16	16	18	19	19
16+R3.1	12	14	14	15	15	16	17
3 Konsorsium	15	19	18	18	19	21	22

Tabel 6 Rerata delta jumlah daun tanaman *Eucalyptus sp*

Ulangan	Treatment						
	CMO	15	16	R3.1	15+R3.1	16+R3.1	3 Konsorsium
1	1.17	2.00	1.00	1.33	1.67	1.00	1.17
2	0.33	0.83	0.17	0.83	0.67	1.00	0.83
3	1.33	0.17	1.67	0.33	0.17	0.83	1.00
4		0.17				0.83	1.67

Tabel 7 Rerata biomassa jaringan tanaman *Eucalyptus sp*

Perlakuan	Berat Basah (Jaringan Batang)	Berat kering (Jaringan Batang)	Berat Basah (Jaringan Akar)	Berat kering (Jaringan Akar)
CMO	3,20	1,57	0,96	0,51
15	4,44	2,03	2,55	0,92
16	4,54	1,67	1,61	0,57
R3.1	4,49	1,80	2,72	0,87
15+R3.1	3,65	1,38	1,37	0,46
16+R3.1	4,28	1,77	1,85	0,63
3 Konsorsium	5,51	2,23	2,70	0,95

Tabel 8 Data pengujian pH H₂O dan pH KCl tanah

Perlakuan	H ₂ O	KCl
CMO	6,02	3,95
15	6,46	3,44
16	6,60	5,46
R3.1	6,41	4,80
15+R3.1	6,47	5,24
16+R3.1	6,69	5,10
3 Konsor	6,53	6,05

Tabel 9 Konsentrasi P-Tersedia tanah

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	301,490	0,263
15	376,389	0,297
16	510,767	0,358
R3.1	270,650	0,249
16+R3.1	191,345	0,213
15+R3.1	173,721	0,205
3 Konsor	429,259	0,321

Tabel 10 Konsentrasi P-Total jaringan akar tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	-1087,924	0,057
15	-665,581	0,071
16	-510,737	0,096
R3.1	-1195,793	0,08
16+R3.1	-84,537	0,12
15+R3.1	-1446,235	0,049
3 Konsor	606,849	0,226

Tabel 11 Konsentrasi P-Total jaringan batang tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	1650,008	0,422
15	1100,159	0,457
16	2259,792	0,498
R3.1	2091,802	0,430
16+R3.1	1129,384	0,353
15+R3.1	1918,403	0,444
3 Konsor	1551,486	0,760

Tabel 12 Konsentrasi Kalium tanah

Treatment	Satuan (cmol/kg)	Abs
CMO	0,872	0,4315
15	0,961	0,4752
16	1,230	0,6069
R3.1	0,886	0,4384
16+R3.1	0,908	0,4490
15+R3.1	0,810	0,4012
3 Konsor	1,191	0,5876

Tabel 13 Konsentrasi Kalium jaringan akar tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (cmol/kg)	Abs
CMO	38,612	0,2693
15	36,795	0,3334
16	31,165	0,2030
R3.1	74,507	0,3147
16+R3.1	66,571	0,5261
15+R3.1	38,201	0,2244
3 Konsor	29,366	0,5258

Tabel 14 Konsentrasi Kalium jaringan batang tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (cmol/kg)	Abs
CMO	36,630	0,713
15	26,169	0,8534
16	43,059	0,7688
R3.1	54,644	0,8607
16+R3.1	32,828	0,7158
15+R3.1	46,670	0,8386
3 Konsor	49,396	0,2223

Tabel 15 Konsentrasi Fe tanah

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	721,427	0,7299
15	772,718	0,7819
16	655,339	0,6629
R3.1	280,713	0,2831
16+R3.1	808,918	0,8186
15+R3.1	583,728	0,5903
3 Konsor	495,743	0,5011

Tabel 16 Konsentrasi Fe jaringan akar tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	290,110	0,0813
15	392,157	0,1447
16	303,918	0,0790
R3.1	514,187	0,0876
16+R3.1	277,736	0,0891
15+R3.1	256,930	0,0599
3 Konsor	132,273	0,0658

Tabel 17 Konsentrasi Fe jaringan batang tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	22,257	0,0105
15	11,438	0,0046
16	21,920	0,0103
R3.1	16,035	0,0071
16+R3.1	18,794	0,0086
15+R3.1	13,461	0,0057
3 Konsor	25,414	0,0122

Tabel 18 Konsentrasi Zn tanah

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	11,268	0,0486
15	17,947	0,0720
16	11,839	0,0506
R3.1	1,607	0,0148
16+R3.1	18,062	0,0724
15+R3.1	9,156	0,0412
3 Konsor	13,609	0,0568

Tabel 19 Konsentrasi Zn jaringan akar tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	33,109	0,0416
15	23,209	0,0388
16	17,652	0,0252
R3.1	24,310	0,0236
16+R3.1	8,812	0,0190
15+R3.1	26,938	0,0313
3 Konsor	9,978	0,0384

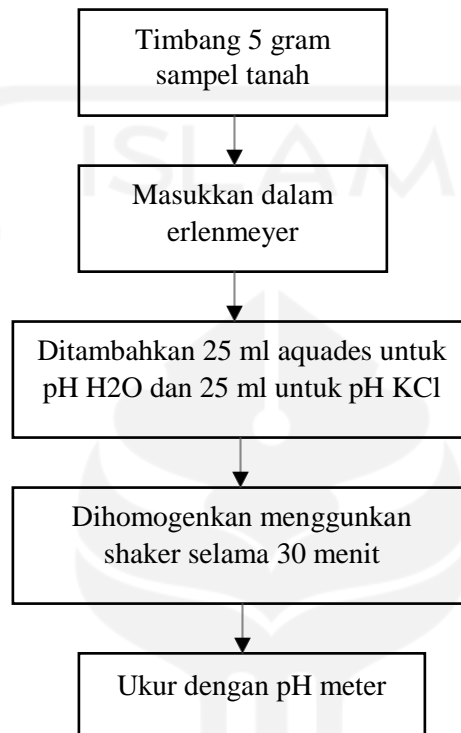
Tabel 20 Konsentrasi Zn jaringan batang tanaman *Eucalyptus sp*

Treatment	Satuan (mg/kg)	Abs
CMO	22,740	0,0457
15	19,477	0,0385
16	16,290	0,0315
R3.1	28,536	0,0584
16+R3.1	15,607	0,0300
15+R3.1	25,168	0,0510
3 Konsor	15,516	0,0298

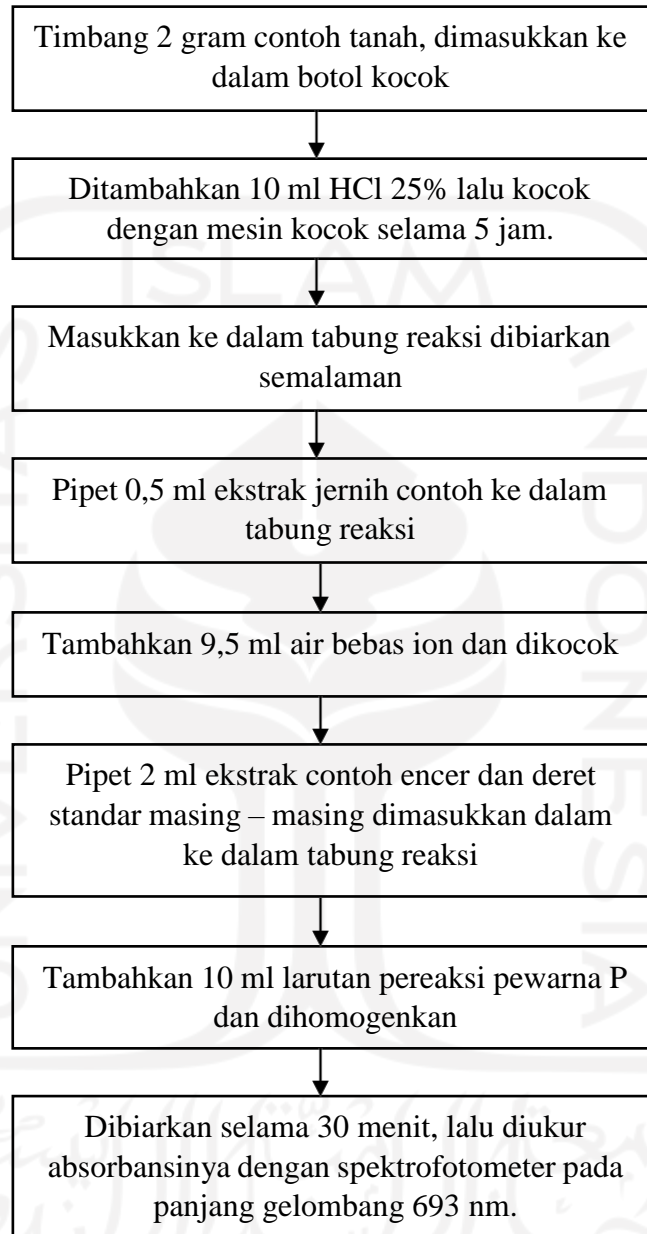
LAMPIRAN 2: Cara Pengujian pH, Nutrisi dan Logam Berat

Pengujian Nutrisi P-Tersedia

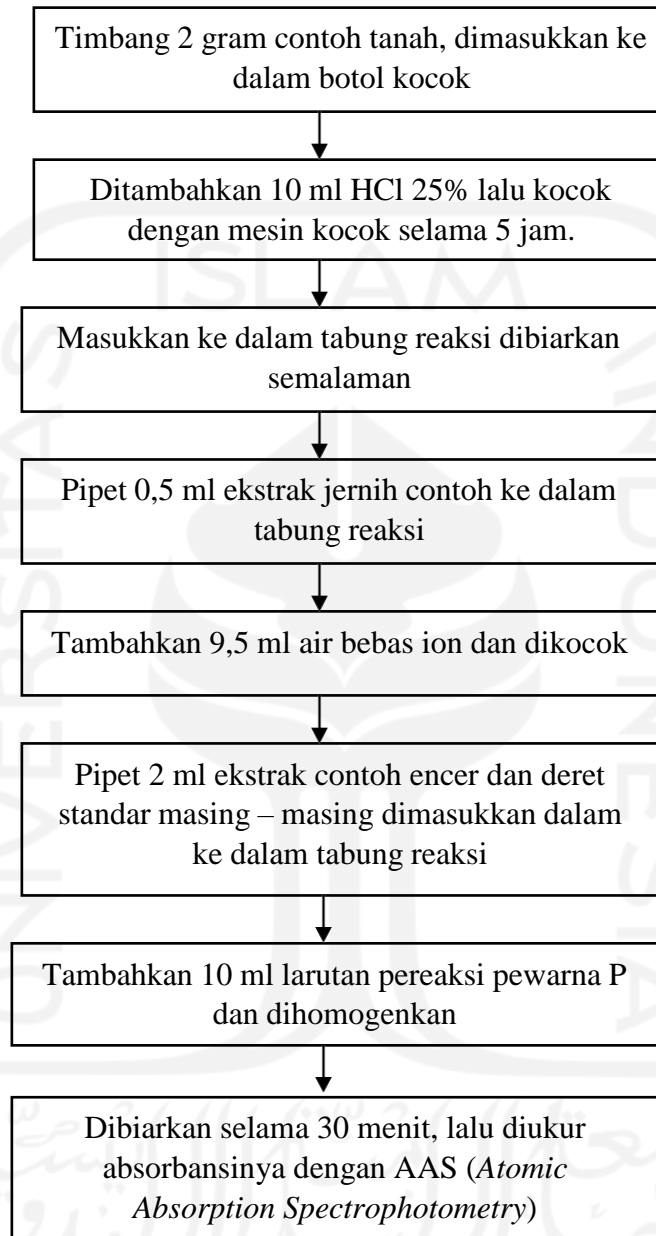
Pengujian pH Tanah



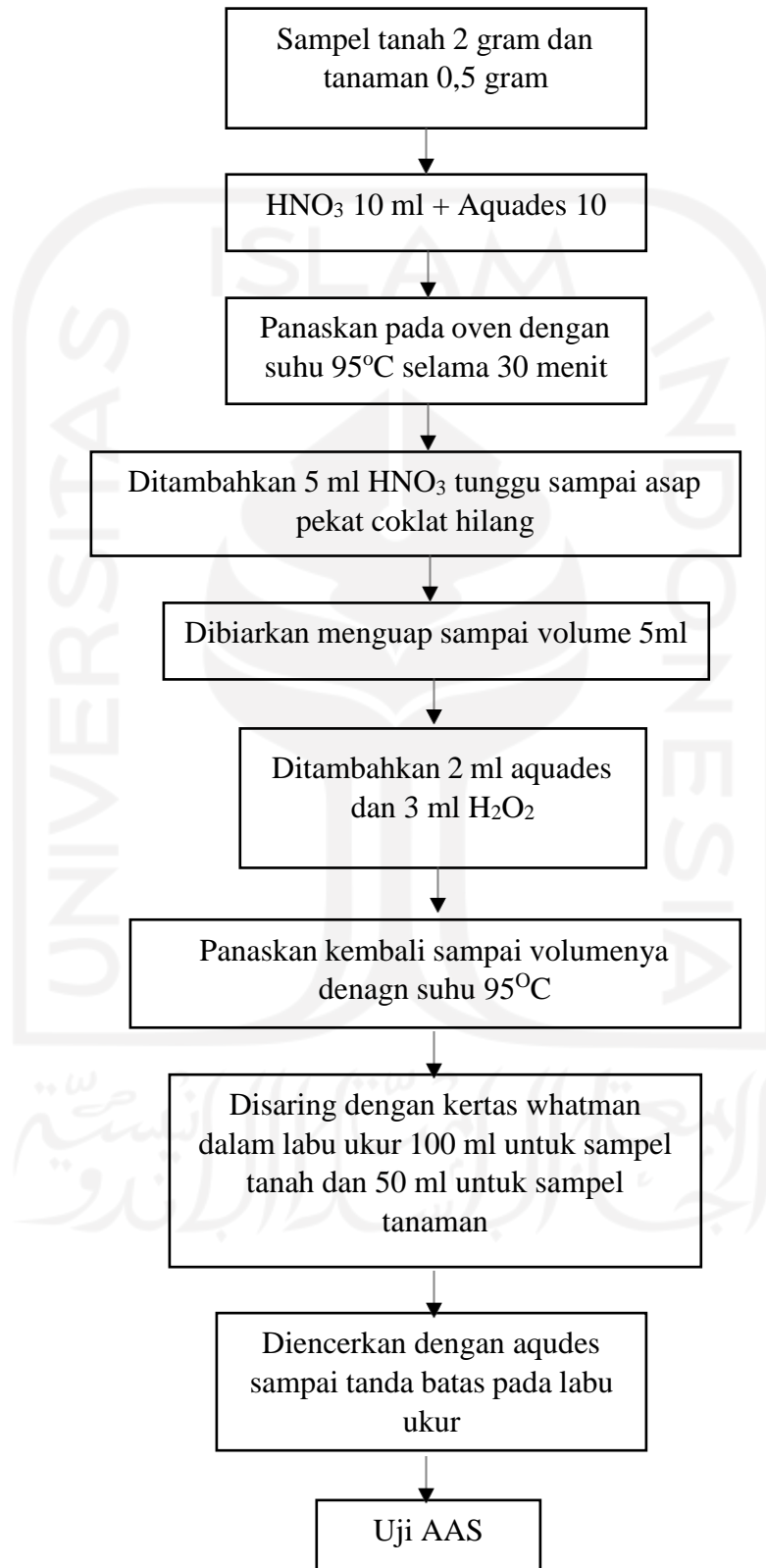
Pengujian Nutrisi P-Total



Pengujian Nutrisi Kalium



Pengujian Logam Berat Fe (Besi) dan Seng (Zn)

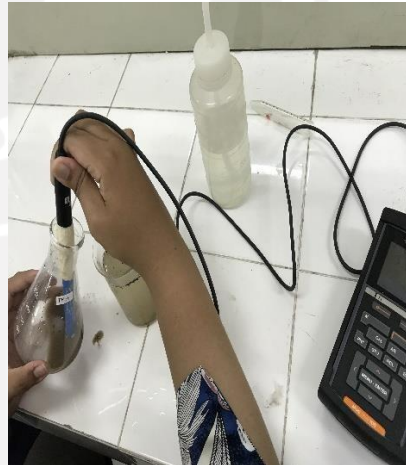


LAMPIRAN 3: Dokumentasi Perawatan, Pengukuran Pertumbuhan Tanaman, Inokulasi Mikroba di *Green House* dan Reculture Mikroba



الجامعة الإسلامية
الاستدائات

LAMPIRAN 4: Pengujian Nutrisi dan Kalium di Laboratorium



RIWAYAT HIDUP



Nisrina Khoirunnisa dipanggil Nisrina lahir di Magelang 5 Maret 2000. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Suwardi dan Ibu Tri Sulistyaningsih. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 3 Magelang. Dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 2 Magelang lalu melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas di SMA N 4 Magelang. Penulis melanjutkan pendidikan S-1 pada tahun 2018 – saat ini di prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti beberapa kegiatan akademik maupun kegiatan non akademik. Kegiatan yang diikuti yaitu seperti menjadi asisten praktikum, *organizing committee* kepanitiaan, pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan, dan *mentee* Studi Independen Kampus Merdeka di PT Microsoft Indonesia. Untuk menyelesaikan studi sarjana, penulis mengambil penelitian mengenai remediasi lahan kritis dan melakukan penelitian di *green house* dan pengujian di laboratorium.