



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Potensi Kompos dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) pada *Capsicum frutescens L.* di Lahan Bekas Tambang Emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta

Evans Tito

21513005

Dosen Pembimbing:

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

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Potential of Compost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on *Capsicum frutescens* L. in Former Gold Mining Land in Kalirejo Village, Kokap District, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta

Evans Tito

21513005

Supervisor:

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

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**


Potensi Kompos dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) pada *Capsicum frutescens L.* di Lahan Bekas Tambang Emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta


Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

**Evans Tito
21513005**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 11 November 2025 dan disetujui oleh:


Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. (Pembimbing 1)


Supriyanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D. (Penguji 1)

 - 19.11.25
Dian Ayu Prawitasari, S.T., M.T. (Penguji 2)

Mengetahui,

Ketua ~~Studi~~ Teknik Lingkungan Program Sarjana

 20/11-25
Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.

6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 11 November 2025

Yang membuat pernyataan,



Evans Tito

21513005

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Proses penyusunan tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari dukungan, dorongan, dan kasih sayang dari berbagai pihak.

Dalam perjalanan penyelesaian karya ini, banyak pihak yang turut membantu serta memberikan doa dan dukungan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, serta doa, sehingga penulisan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada:

1. Dengan izin dan pertolongan Allah SWT melalui rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua beserta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan motivasi dalam setiap langkah penulis.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, serta Bapak Supriyanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D. dan Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang dengan tulus telah memberikan bimbingan, arahan, serta meluangkan waktu dan kesempatan bagi penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah membekali penulis dengan ilmu yang berharga.
5. Seluruh staff Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII.
6. Sahabat dekat penulis yaitu Muhammad Rayhan Hafidz, Elvino Rudi Hendrawan, dan Raihan Isnaini yang selalu mendampingi serta membantu penulis selama perkuliahan hingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Tugas Akhir yang selalu mendukung penulis.
8. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang membangun. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Sleman, 11 November 2025

Evans Tito

Potensi kompos dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* pada *Capsicum frutescens L.* di Lahan Bekas Tambang Emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta

Mahasiswa : Evans Tito

NIM : 21513005

Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana

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

Abstrak

Di Indonesia masih banyak ditemui penambangan emas tradisional yang mengesampingkan masalah lingkungan baik saat beroperasi maupun sudah tidak beroperasi. Penambang emas di Kulon Progo mengolah emas secara langsung di lokasi penambangan dengan menggunakan merkuri melalui teknik amalgamasi. Hal ini menimbulkan pencemaran lingkungan yang berisiko membahayakan kesehatan masyarakat sekitar. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kontaminasi logam berat di lingkungan dan pencemaran karena limbah berpotensi meresap ke dalam tanah atau terbawa aliran air menuju sungai di sekitarnya. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap perbaikan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman.

Penelitian ini dilakukan pada skala rumah kaca dengan menggunakan sampel tanah bekas tambang emas. Tanah tersebut diberi perlakuan berupa bahan pembenah kompos dan *arbuscular mycorrhizal fungi* (AMF), kemudian dijadikan media tanam cabai rawit *Capsicum frutescens L.* dalam polybag. Perlakuan kombinasi kompos dan AMF dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan. Analisis kandungan nutrisi dan logam berat merkuri (Hg) tanah dilakukan menggunakan spektrofotometri, AAS, dan ICP-MS. Data hasil pengamatan kemudian dianalisis untuk membandingkan efektivitas perlakuan terhadap kontrol dalam memperbaiki kualitas tanah bekas tambang emas.

Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya tendensi perbaikan status kualitas tanah tanaman K1+M. Terlihat bahwasanya tanaman K1+M memiliki konsentrasi yang lebih tinggi ketimbang tanaman kontrol, seperti kadar air tanah 2,13%, konsentrasi sulfat tanah 512 mg/kg, dan konsentrasi P₂O₅ tanah 6,939 mg/kg. Lalu juga menunjukkan adanya tendensi kenaikan terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* yang terlihat pada tanaman K1+M saat akhir masa pengamatan peningkatan rerata tinggi batangnya 18,5 cm, diameter batangnya 2,5 mm, dan jumlah daunnya 5 pcs.

Kata kunci: Logam Berat, Mikroorganisme, Nutrisi Tanaman, Pembenah Tanah, Tambang Emas

Potential of Compost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on Capsicum frutescens L. in Former Gold Mining Land in Kalirejo Village, Kokap District, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta

Student : Evans Tito

Student Number : 21513005

Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program

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

Abstract

In Indonesia, traditional gold mining operations are still common, ignoring environmental concerns, both during and after operations. Gold miners in Kulon Progo process gold directly at the mining site using mercury through an amalgamation technique. This leads to environmental pollution that poses a health risk to the surrounding community. This situation can lead to heavy metal contamination in the environment and pollution, as waste can potentially seep into the soil or be carried by waterways to nearby rivers. The purpose of this study was to analyze the potential of soil amendments such as compost and AMF to improve soil quality and plant growth.

This research was conducted at a greenhouse scale using ex-gold mine soil samples. The soil was treated with compost amendments and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), then used as a growing medium for cayenne pepper (Capsicum frutescens L.) in polybags. The combined compost and AMF treatment was compared with an untreated control. Analysis of nutrient content and heavy metal mercury (Hg) in the soil was carried out using spectrophotometry, AAS, and ICP-MS. The observational data were then analyzed to compare the effectiveness of the treatment versus the control in improving the quality of ex-gold mine soil.

The results obtained showed a tendency to improve the soil quality status of K1+M plants. It was seen that K1+M plants had higher concentrations than control plants, such as soil air content of 2.13%, soil sulfate concentration of 512 mg/kg, and soil P₂O₅ concentration of 6.939 mg/kg. Then it also showed a tendency to increase the growth of Capsicum frutescens L. plants which was seen in K1+M plants at the end of the observation period, the average increase in stem height was 18.5 cm, stem diameter was 2.5 mm, and the number of leaves was 5 pcs.

Key words: Heavy Metals, Microorganisms, Plant Nutrition, Soil Improver, Gold Mining

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tambang Emas Tradisional.....	5
2.2 Logam Berat di Tambang Emas	5
2.2.1 Merkuri (Hg).....	6
2.2.2 Timbal (Pb).....	6
2.2.3 Kadmium (Cd)	6
2.3 Remediasi Tanah	7
2.3.1 <i>Arbuscular Mycorrhizal Fungi</i>	7
2.3.2 Kompos	9
2.4 <i>Capsicum Frutescens L.</i>	9
2.5 Penelitian Terdahulu.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Lokasi.....	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Bahan	14

3.3 Tahapan Penelitian	15
3.4 Pengambilan Sampel Tanah	16
3.5 Persiapan Media Tanam	16
3.6 Penanaman.....	17
3.7 Inokulasi AMF.....	18
3.9 Perawatan dan Pengamatan	18
3.9 Pemanenan.....	19
3.10 Analisis Data	20
3.11 Proses Analisa Data.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman Uji..	22
4.1.1 Tinggi, Diameter, dan Jumlah Daun Tanaman Uji.....	23
4.1.2 Biomassa Tanaman Uji.....	27
4.2 Hasil Pengujian pH Tanah.....	28
4.3 Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Nutrisi.....	29
4.3.1 Kadar Air Tanah	30
4.3.2 Konsentrasi Sulfat Tanah.....	31
4.3.3 Konsentrasi P ₂ O ₅ Tanah.....	32
4.3.4 Konsentrasi P ₂ O ₅ Batang.....	34
4.4 Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Reduksi Logam Berat.....	35
4.4.1 Reduksi Logam Merkuri (Hg)	35
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	47
RIWAYAT HIDUP.....	52

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu</i>	10
<i>Tabel 3. 1 Alat</i>	14
<i>Tabel 3. 2 Bahan.....</i>	14
<i>Tabel 4. 1 Survival Rate Tanaman Uji Capsicum frutescens L.....</i>	22

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 3. 1 Peta Lokasi Titik Sampling</i>	13
<i>Gambar 3. 2 Prosedur Uji Analisis</i>	15
<i>Gambar 3. 3 Pengambilan Sampel Tanah</i>	16
<i>Gambar 3. 4 Proses Sterilisasi Tanah Bekas Tambang</i>	17
<i>Gambar 3. 5 Proses Penanaman Semai</i>	17
<i>Gambar 3. 6 Proses Inokulasi AMF</i>	18
<i>Gambar 3. 7 Perawatan dan Pengamatan Tanaman</i>	18
<i>Gambar 3. 8 Pemanenan Tanaman</i>	20
<i>Gambar 3. 9 Pengujian Sampel</i>	20
<i>Gambar 4. 1 Pertumbuhan Tinggi Tanaman</i>	23
<i>Gambar 4. 2 Pertumbuhan Diameter Tanaman</i>	24
<i>Gambar 4. 3 Pertumbuhan Jumlah Daun</i>	26
<i>Gambar 4. 4 Biomassa Basah dan Kering Tanaman Uji</i>	27
<i>Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian pH H₂O Tanah</i>	29
<i>Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Kadar Air Tanah</i>	30
<i>Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Kadar Sulfat Tanah</i>	31
<i>Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi P₂O₅ Tanah</i>	33
<i>Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian P₂O₅ Pada Batang</i>	34
<i>Gambar 4. 10 Konsentrasi Hg Tanah</i>	35
<i>Gambar 4. 11 Konsentrasi Hg Batang</i>	36
<i>Gambar 4. 12 Konsentrasi Hg Akar</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kurva Kalibrasi.....	47
Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas adalah mineral dalam logam mulia, salah satu produk pertambangan terpenting. Formasinya dikaitkan dengan peningkatan larutan magma residu di permukaan yang dikenal sebagai larutan panas berair. Pergerakan larutan hidrotermal dikendalikan oleh zona lemah yang membentuk rongga sedemikian rupa sehingga larutan hidrotermal bergerak dan kemudian menumpuk dan membentuk endapan di bawah permukaan (Junaedy et al., 2016). Di Indonesia masih banyak ditemui penambangan emas tradisional yang mengesampingkan masalah lingkungan baik saat beroperasi maupun sudah tidak beroperasi. Salah satu kegiatan penambangan emas tradisional emas di Indonesia terdapat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Potensi emas di Kulon Progo telah dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar sejak tahun 1991 (Strategi et al., 2020).

Penambang emas di Kulon Progo mengolah emas secara langsung di lokasi penambangan dengan menggunakan merkuri melalui teknik amalgamasi (Banunaek, 2016). Teknik amalgamasi adalah metode untuk mengekstraksi emas dengan mencampurkan bijih emas dan merkuri (Hg) di dalam alat yang disebut gelondong. Penggunaan metode ini berpotensi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Proses tersebut dapat menyebabkan pencampuran antara merkuri dan logam berat lainnya, sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan yang berisiko membahayakan kesehatan masyarakat sekitar (Hidayat, 2020). Setelah proses amalgamasi selesai, limbah hasil proses ini kemudian dibuang ke kolam penampungan tanpa melalui tahapan pengolahan lebih lanjut. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kontaminasi logam berat di lingkungan dan pencemaran karena limbah berpotensi meresap ke dalam tanah atau terbawa aliran air menuju sungai di sekitarnya (Hidayat, 2020).

Pencemaran logam berat di lingkungan merupakan permasalahan yang sering terjadi di berbagai wilayah. Pada lingkungan tanah, logam berat cenderung terakumulasi dan dapat menimbulkan dampak jangka panjang. Beberapa jenis

logam berat seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), arsen (As), seng (Zn), kromium (Cr), dan timbal (Pb) dikenal sangat beracun bagi makhluk hidup. Umumnya, logam-logam tersebut menumpuk di dalam tanah dan dapat membahayakan kehidupan mikroorganisme yang ada di dalamnya (Ding et al., 2022).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Husna et al, (2015) terkait pengujian efektivitas inokulasi AMF dari enam lokasi rizosfer di Sulawesi Tenggara terhadap pertumbuhan bibit kayu kuku (*Pericopsis mooniana*). Hasil menunjukkan bahwa inokulum AMF lokal efektif dalam meningkatkan pertumbuhan, biomassa, dan penyerapan hara bibit kayu kuku yang bergantung tinggi pada mikoriza, sehingga penting memilih AMF yang kompatibel untuk budidaya dan konservasi kayu kuku.

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) adalah jenis jamur mikoriza dari filum Glomeromycota yang hidup secara simbiosis mutualisme dengan akar tanaman inang. Jamur ini berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara dari tanah serta membantu tanaman bertahan terhadap kondisi lingkungan yang kurang mendukung pertumbuhannya (Purwaka Putri et al., 2022).

Kompos merupakan pupuk organik yang terbentuk dari pelapukan bahan organik seperti sisa-sisa makanan dan kotoran hewan melalui proses dekomposisi. Namun, hingga saat ini pemanfaatan limbah organik tersebut sebagai alternatif pengganti pupuk kimia masih belum maksimal. Kompos memiliki peran penting dalam memperbaiki kesuburan tanah, khususnya dalam mengatasi degradasi fisik tanah akibat penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dapat merusak struktur tanah (Budiastuti et al., 2023).

Salah satu tanaman unggulan dalam bidang pertanian adalah cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*). Cabai rawit termasuk tanaman hortikultura yang memiliki banyak fungsi, seperti digunakan sebagai bumbu masakan, bahan pembuatan saus atau sambal, serta mengandung beragam zat gizi (Antagonis et al., 2022). Cabai rawit dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal apabila ditanam di lingkungan yang sesuai dari segi iklim maupun kondisi tanah. Tanah yang ideal untuk cabai rawit harus gembur, subur, berpori, serta kaya akan humus atau bahan organik. Untuk memperoleh hasil panen yang melimpah, tanaman cabai rawit perlu diberi pupuk secara lengkap dan seimbang (Rawit & Hatta, 2011).

Hasil dari penelitian terdahulu bahwasanya pemanfaatan dari pemberian *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dan Pupuk Organik Cair terhadap pertumbuhan bibit tanaman dapat meningkatkan kesuburan dan perbaikan struktur tanah yang rusak dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Chávez-mejía et al., 2019). Berdasarkan yang telah dipaparkan, peneliti termotivasi untuk melakukan penelitian mengenai potensi *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dan pupuk kompos pada *Capsicum frutescens L.* di lahan bekas tambang emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, potensi pencemaran logam berat karena tambang emas tradisional sangat besar. Berikut adalah rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap perbaikan kualitas tanah serta mengurangi tingkat pencemaran tanah?
2. Bagaimana potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap perbaikan kualitas tanah serta mengurangi tingkat pencemaran tanah.
2. Menganalisis potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan studi literatur terkait potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap perbaikan kualitas tanah serta mengurangi tingkat pencemaran tanah.
2. Memberikan solusi terkait potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.*

1.5 Ruang Lingkup

Batasan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan Bulan April 2025 hingga Oktober 2025.
2. Tambang emas tradisional berlokasi di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Penelitian potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap perbaikan kualitas tanah serta mengurangi tingkat pencemaran tanah.
4. Penelitian potensi bahan pembenah tanah seperti kompos dan AMF terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tambang Emas Tradisional

Pertambangan emas skala rakyat merupakan aktivitas yang umumnya dilakukan oleh masyarakat yang tinggal di sekitar wilayah pertambangan yang memiliki sumber daya alam yaitu emas. Masyarakat tersebut percaya hal ini dapat menunjang kehidupan mereka. Bagi sebagian besar masyarakat, emas dimanfaatkan sebagai sumber penghasilan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kegiatan pengolahan di pertambangan emas rakyat umumnya masih menggunakan peralatan sederhana, dan proses pengoperasiannya dilakukan secara bergotong royong, mulai dari memecah batuan hingga menghasilkan butiran emas (Juliani et al., 2021).

Penambangan emas rakyat memiliki dua kegiatan penting, pertama yaitu pengambilan bijih emas dan pengolahan bijih emas. Pada kedua kegiatan ini otomatis akan menghasilkan limbah. Proses pengambilan bijih emas akan menghasilkan limbah batuan samping, yaitu batuan yang telah diambil tetapi tidak ekonomis untuk diolah (Kusdarini & Budianto, 2021).

Kabupaten Kulon Progo terletak di sebelah barat Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, secara geografis terletak 7^o 38'42" LS – 7^o 59'03" LS dan 110^o 01' 01'37" BT – 110^o 16'26" BT. Kabupaten Kulon Progo berbatasan dengan Kabupaten Sleman dan Bantul di sebelah Timur, Kabupaten Magelang (Jawa Tengah) di sebelah utara, dan Kabupaten Purworejo (Jawa Tengah). Tanah lahan bekas tambang emas ini lokasinya terletak di Dusun Sangon, Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah ini dapat ditempuh dari pusat Kota Yogyakarta dengan menggunakan mobil melalui jalur Wates sekitar kurang lebih 2 jam (Daris Alwan, 2021).

2.2 Logam Berat di Tambang Emas

Logam berat dapat diklasifikasikan sebagai esensial dan non-esensial berkaitan dengan perannya dalam sistem biologis. Logam berat esensial adalah

logam berat yang dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah sedikit untuk mendukung fungsi fisiologis dan biokimia, misalnya Fe, Mn, Cu, dan Zn. Logam berat non-esensial adalah logam berat yang tidak dibutuhkan organisme hidup untuk mendukung fungsi fisiologis dan biokimia, misalnya Cd, As, Hg, dan Cr (Handayanto et al, 2017).

2.2.1 Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) termasuk logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya, serta menjadi komponen utama dalam limbah hasil kegiatan penambangan emas. Hal ini disebabkan oleh penggunaannya sebagai media dalam proses amalgamasi untuk mengikat emas (Yulis, 2020). Merkuri dapat berasal dari berbagai sumber, baik alami maupun buatan. Secara alami, merkuri dilepaskan melalui proses penguapan air laut serta aktivitas vulkanik. Di sisi lain, aktivitas industri seperti pengecoran logam dan industri lain yang menggunakan merkuri sebagai bahan utama atau bahan tambahan juga menjadi kontributor utama. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil turut menyumbang pelepasan merkuri ke lingkungan (Nasution, 2012)

2.2.2 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang tersebar luas di lingkungan dan dikenal memiliki efek toksik yang signifikan terhadap kesehatan manusia (Hahn et al., 2022). Senyawa ini bersifat beracun bagi makhluk hidup serta lingkungannya, dan keberadaannya dapat ditemukan secara alami di perairan maupun sebagai hasil dari aktivitas antropogenik (Hidayati, 2019). Timbal sendiri merupakan unsur logam yang secara umum membentuk senyawa melalui kombinasi dengan unsur lain, dan dapat bereaksi dengan udara maupun air membentuk senyawa seperti timbal sulfat, timbal karbonat, atau timbal oksida (Collin et al., 2022).

2.2.3 Kadmium (Cd)

Beberapa faktor yang memengaruhi penyerapan kadmium di dalam tanah antara lain kandungan bahan organik, tingkat keasaman (pH) tanah,

ukuran partikel tanah, kapasitas pertukaran ion, serta suhu tanah. Meskipun pencemaran kadmium di tanah belum menimbulkan kasus kematian dalam jumlah besar, logam ini tetap dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan serius, bahkan berpotensi mengakibatkan kematian pada manusia (Setyoningrum et al., 2014).

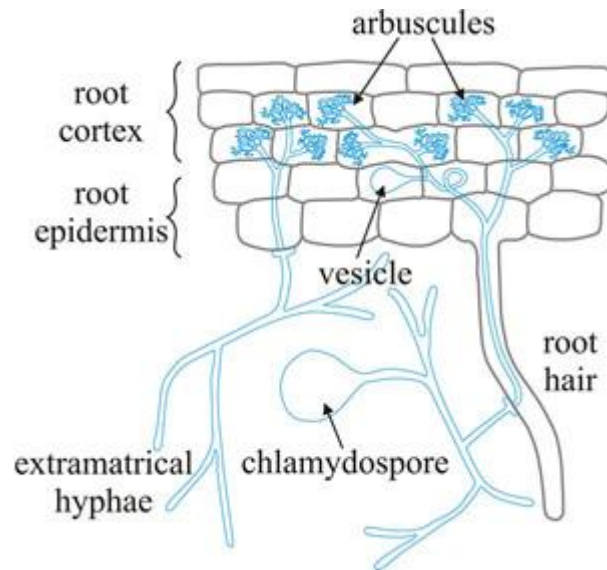
2.3 Remediasi Tanah

Remediasi merupakan proses pembersihan tanah atau media lain yang telah tercemar, dengan tujuan mengembalikan kondisi lingkungan ke keadaan semula. Istilah ini berasal dari kata "remedial" yang berarti tindakan perbaikan atau pemulihan. Terdapat dua pendekatan utama dalam remediasi tanah, yaitu in-situ dan ex-situ. Remediasi in-situ dilakukan langsung di lokasi pencemaran tanpa memindahkan tanah yang terkontaminasi, sehingga metode ini cenderung lebih efisien dan ekonomis. Sebaliknya, remediasi ex-situ melibatkan pengangkutan tanah yang tercemar ke lokasi lain yang aman untuk dilakukan proses pembersihan. Metode ex-situ biasanya memerlukan biaya yang lebih tinggi dan prosedur yang lebih kompleks dibandingkan dengan pendekatan in-situ (Priyadarshini et al., 2019).

2.3.1 *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) merupakan jenis jamur yang hidup bersimbiosis secara mutualisme dengan tanaman, khususnya pada jaringan sel korteks akar, untuk memperoleh karbon yang berasal dari hasil fotosintesis tanaman (Prihantoro et al., 2023). Sebagian besar AMF berasal dari akar tanaman di tanah tambang batubara.

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) memiliki struktur morfologi yang khas dan cukup kompleks, baik pada bagian yang berada di dalam akar tanaman inang maupun pada bagian yang tumbuh di dalam tanah (Muryati et al., 2016). Struktur morfologi utama AMF sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Struktur Morfologi AMF

1. Spora

Spora berfungsi sebagai organ reproduksi sekaligus tempat penyimpanan cadangan makanan bagi AMF. Ukurannya dapat berbeda - beda, mulai dari sekitar 10 - 105 μm hingga 100 - 600 μm , bergantung pada genus dan spesiesnya (Noreen et al., 2023).

2. Hifa

Setelah spora mengalami proses perkecambahan, terbentuklah hifa sebagai struktur awal pertumbuhan AMF. Hifa ini terdiri atas dua tipe, yaitu hifa eksternal yang berkembang di luar akar dan berperan dalam penyerapan nutrisi dari tanah, serta hifa internal yang tumbuh di dalam jaringan akar tanaman inang. Hifa yang muncul dari spora kemudian menjalar ke dalam tanah untuk mencari akar tanaman yang dapat dijadikan inang. Arah dan laju pertumbuhan hifa dipengaruhi oleh senyawa eksudat akar seperti strigolaktone serta kondisi lingkungan, termasuk kadar fosfor dalam tanah (Muryati et al., 2016).

3. Arbuskula

Arbuskula merupakan struktur hifa yang terbentuk dari percabangan halus di dalam sel korteks akar tanaman inang. Bentuknya menyerupai pohon kecil dengan percabangan yang sangat khas. Struktur inilah yang

menjadi lokasi utama terjadinya pertukaran nutrisi antara tanaman dan fungi (Pertanian et al., 2014).

4. Vesikula

Vesikula merupakan bagian dari hifa fungi yang mengalami pembesaran atau penggembungan, biasanya berbentuk bulat. Struktur ini dapat terbentuk di dalam sel akar maupun di ruang antar sel pada jaringan akar tanaman inang (Syahputra & Elfiati, n.d.).

Jamur mikoriza ini memiliki peran penting dalam meningkatkan ketersediaan dan penyerapan nutrisi, khususnya fosfor, yang sering kali terbatas di dalam tanah. Melalui jaringan hifa yang ekstensif, mikoriza memperluas area penyerapan akar, memungkinkan tanaman mengakses nutrisi yang sebelumnya sulit dijangkau (Smith & Read, 2010).

AMF memperoleh kebutuhan nutrisinya terutama dari senyawa karbon, seperti glukosa dan sukrosa yang disuplai oleh tanaman inangnya melalui hubungan simbiosis mutualistik. Tanaman menghasilkan karbohidrat tersebut lewat proses fotosintesis, lalu menyalurkannya kepada jamur melalui struktur khusus bernama arbuskula. Struktur inilah yang menjadi jalur utama pertukaran nutrisi antara tanaman dan mikoriza (Thirkell et al., 2020).

2.3.2 Kompos

Kompos merupakan hasil dari proses dekomposisi bahan-bahan organik yang dilakukan secara biologis dan terkontrol. Proses ini sengaja dilakukan karena secara alami jarang terjadi, mengingat kondisi lingkungan di alam seringkali tidak mendukung, seperti tingkat kelembaban atau suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi untuk berlangsungnya aktivitas biologis (Firmansyah, 2010).

2.4 *Capsicum Frutescens L.*

Salah satu tanaman unggulan dalam sektor pertanian adalah cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*). Tanaman ini termasuk dalam kelompok hortikultura dan

memiliki banyak manfaat. Selain sering digunakan sebagai bahan utama dalam masakan seperti bumbu dapur, saus, dan sambal (Purwaka Putri et al., 2022).

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diperlukan acuan literatur yang relevan untuk mendukung setiap tahapan yang dilakukan. Referensi yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan spesifik penelitian, seperti proses penambangan emas tradisional, dampak logam berat terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, teknik remediasi tanah yang tercemar. Tabel berikut menyajikan ringkasan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik-topik tersebut.

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1	Tio Hotman Siagian	Pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada Fitoremediasi	Penelitian ini menyoroti peran AMF dalam fitoremediasi tanah yang terkontaminasi, dengan meningkatkan penyerapan nutrisi dan logam berat oleh tanaman. AMF juga membantu dalam memperbaiki sifat kimia tanah, seperti pH dan kandungan bahan organik.
2	Putra, B., Jayanegara, A., & Susanto, I. (2024)	Unraveling the Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth, Nutrient	Meta-analisis ini mengungkapkan bahwa AMF secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman, kandungan nutrisi (N, P, K), dan mengurangi

		Content, and Heavy Metal Accumulation in the Contaminated Soil: A Meta-analysis	akumulasi logam berat dalam tanaman yang tumbuh di tanah terkontaminasi.
3	Hidayat (2015)	Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar.	Penggunaan biochar di tanah lahan pertanian yang terkontaminasi oleh limbah industri dapat menurunkan kadar logam berat seperti Cd, As, Cr, Cu, Ni, dan Pb.
4	Husna, (2015)	Respon Pertumbuhan Bibit Kayu Kuku (Pericopsis mooniana) terhadap Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula Lokal	Penelitian ini menunjukkan bahwa inokulasi AMF lokal pada bibit kayu kuku meningkatkan pertumbuhan tanaman dan penyerapan nutrien di tanah bekas tambang nikel, menunjukkan peran penting AMF dalam rehabilitasi lahan terdegradasi.
5	Husna, Budi S.W., Mansur I., Kusmana C., Kramadibrata K. (2014)	Fungi Mikoriza Arbuskula pada Rizosfer Pericopsis mooniana di	Penelitian ini mengidentifikasi keberadaan AMF pada rizosfer Pericopsis mooniana di Sulawesi

		Sulawesi Tenggara	Tenggara, memberikan informasi dasar tentang potensi AMF lokal dalam mendukung pertumbuhan tanaman di lahan terdegradasi.
--	--	----------------------	---

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa AMF mampu memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman. Meski begitu, kajian mengenai penerapan AMF dan kompos pada tanaman *Capsicum frutescens L.* di lahan bekas tambang emas masih terbatas. Karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan data terbaru sekaligus analisis yang lebih mendalam mengenai peran AMF dan kompos dalam memperbaiki kualitas tanah terdegradasi akibat aktivitas tambang, serta melihat sejauh mana pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan perkembangan *Capsicum frutescens L.*

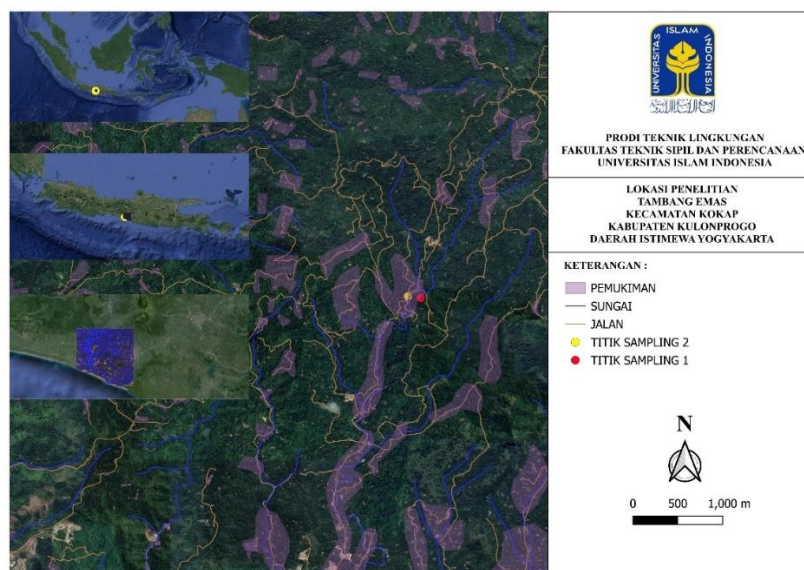
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada skala rumah kaca mulai dari persiapan media tanam, penanaman, pengamatan, dan pemanenan tanaman *Capsicum Frutescens L.* Rumah kaca berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Titik sampling terdiri dari dua titik, pengambilan 2 titik lokasi sampel berada di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Titik sampling pada penelitian ini terletak pada koordinat $7^{\circ}49'37.9''S$ $110^{\circ}04'15.6''E$ untuk lokasi satu dan $7^{\circ}49'38.9''S$ $110^{\circ}04'11.2''E$ untuk lokasi dua. Selain tanah tambang emas, penelitian ini menggunakan sampel tanah non tambang yang diambil di sekitar lokasi yang tidak terdampak secara langsung. Perbedaan lokasi pengambilan sampel ada pada kondisi sekitarnya. Di titik pertama, lokasinya dekat dengan peternakan kambing dan kebun warga, sedangkan di titik kedua lebih banyak ditumbuhi semak-semak dan letaknya sekitar 15 meter dari tepi sungai. Berikut adalah peta lokasi titik sampling yang dilakukan:



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Titik Sampling

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 3. 1 Alat

No	Alat	Kegunaan
1	Polybag	Sebagai wadah bagi media tanam dan tanaman
2	Caliper Digital	Alat ukur diameter batang
3	Meteran	Alat ukur tinggi tanaman
4	Autoclave	Alat sterilisasi yang menggunakan uap air bertekanan tinggi dan panas untuk membunuh mikroorganisme
5	Timbangan Analitik	Untuk menimbanih berat basah dan berat kering tanaman uji
6	Timbangan Digital	Untuk menimbang bahan kimia yang digunakan
7	Oven	Untuk mengeringkan atau menghilangkan kadar air jaringan tanaman
8	Amplop Coklat	Sebagai wadah jaringan akar dan jaringan batang
9	Plastik Klip	Sebagai wadah sampel setelah dihaluskan dan ditimbang
10	Tabung Reaksi	Sebagai wadah untuk mencampuran dan menampung larutan sebelum diujikan
11	Rak Tabung Reaksi	Sebagai wadah untuk meletakkan tabung reaksi
12	Erlenmeyer 250 ml	Sebagai wadah untuk mencampur dan menampung larutan
13	Gelas Beaker 250 ml	Sebagai wadah destruksi sampel
14	Corong Kaca	Untuk meletakkan kertas saring saat menyaring sampel hasil destruksi
15	Kaca Arloji	Sebagai wadah untuk menimbang sampel dan bahan

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu:

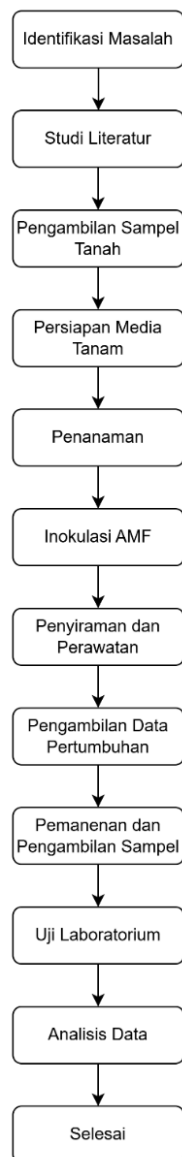
Tabel 3. 2 Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	Bibit <i>Capsicum frutescens L.</i>	Sebagai vegetasi penguji dalam penelitian
2	Tanah Bekas Tambang Emas	Sebagai media tanam dan media yang diujikan

No	Bahan	Kegunaan
3	Aquadest	Untuk melarutkan bahan kimia

3.3 Tahapan Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan serta analisis di laboratorium. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari studi literatur, seperti situs resmi, jurnal ilmiah, dan berbagai referensi lain yang relevan sebagai acuan selama proses penelitian. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Prosedur Uji Analisis

3.4 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara mencangkul tanah pada kedalaman sekitar 1 hingga 30 cm. Sampel tidak diambil dari lapisan permukaan karena dikhawatirkan kandungan logam berat telah berkurang akibat proses erosi. Tanah yang telah dicangkul dari titik pengambilan sampel kemudian dimasukkan ke dalam karung berkapasitas 25 kg.



Gambar 3. 3 Pengambilan Sampel Tanah

3.5 Persiapan Media Tanam

Bahan pembenah tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah kompos dan AMF. Kompos dengan berat 25g dicampurkan dengan tanah bekas tambang dengan berat 450g. kompos yang digunakan berasal dari toko pertanian dengan kandungan N total sebesar 1,51%, P₂O₅ total sebesar 1,6%, dan K₂O total sebesar 5,93%. Selanjutnya akar tanaman ditaburkan AMF sekitar 25g di sekeliling akar tanaman.

Tahap awal dalam persiapan media tanam dilakukan dengan mensterilkan tanah bekas tambang emas yang telah dikumpulkan. Proses sterilisasi ini bertujuan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen yang mungkin masih ada di dalam tanah. Sterilisasi dilakukan menggunakan autoklaf, yaitu alat berbasis uap bertekanan tinggi, dilakukan selama sekitar lima jam pada suhu tinggi untuk memastikan tanah benar-benar bebas dari kontaminasi. Komposisi media di dalam polybag yang berukuran 15 x 15 cm yaitu 90% atau 450 g tanah, 5% atau 25 g kompos, dan 5% atau 25 g AMF.



Gambar 3. 4 Proses Sterilisasi Tanah Bekas Tambang

3.6 Penanaman

Penanaman dilakukan pada pagi hari untuk memanfaatkan suhu udara yang masih sejuk dan kelembapan tanah yang optimal. Tanaman yang digunakan adalah cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*), yang dikenal memiliki kemampuan adaptasi tinggi dan nilai ekonomis yang cukup tinggi. Tanaman *Capsicum frutescens L.* Ini telah melalui proses penyemaian hingga berukuran tingginya lebih dari 10 cm. Sampel dibagi menjadi dua jenis yaitu sampel yang tidak diberi bahan pembenah tanah (kontrol) sebanyak 11 tanaman dan sampel yang menggunakan pembenah tanah kompos dan AMF (K1+M) sebanyak 10 tanaman.



Gambar 3. 5 Proses Penanaman Semai

3.7 Inokulasi AMF

Inokulasi dilakukan dengan cara menaburkan inokulum AMF di sekitar perakaran benih saat penanaman semai ke media tanam. Pertama, media tanam disiapkan terlebih dahulu, kemudian taburkan sekitar 25 gram AMF di sekitar akar tanaman. Selanjutnya masukan tanah hingga setara dengan tinggi polybag.



Gambar 3. 6 Proses Inokulasi AMF

3.9 Perawatan dan Pengamatan

Penyiraman dilakukan setiap hari pada sore hari sekitar pukul 16.00. Perawatan tanaman dilakukan dengan cara mencabut rumput liar yang tumbuh di dalam polybag. Selanjutnya untuk pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan dengan pengukur tinggi, diameter, dan jumlah daun setiap 2 kali seminggu. Tinggi tanaman diukur dari bagian leher akar hingga batang bagian atas. Sementara untuk diameter batang diukur pada jarak 1 cm dari permukaan tanah. Hal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan pembenah tanah terhadap pertumbuhan tanaman.



Gambar 3. 7 Perawatan dan Pengamatan Tanaman

3.9 Pemanenan

Pengamatan dilakukan dengan melihat pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* setelah dilakukan perlakuan ke dalam polybag. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, diameter tanaman dan jumlah daun. Pengamatan dilakukan setiap 2 minggu setelah penanaman. Untuk tahapan pemanenan dilakukan setelah 1,5 bulan dari penanaman. Alasan mengapa melakukan pengamatannya hanya 1,5 bulan yaitu karena beberapa tanaman yang terus menerus mengalami kematian. Jika dilanjutkan kekhawatiran muncul apabila pengamatan dilanjutkan hingga minggu-minggu berikutnya, sebagian besar tanaman berpotensi mati seluruhnya, sehingga data pertumbuhan tidak dapat dikumpulkan secara optimal. Oleh karena itu, pengamatan dihentikan pada minggu ke-6 untuk memastikan data yang diperoleh masih valid dan representatif sebelum tanaman mengalami kematian massal.

Proses pemanenan dengan memisahkan tanah, jaringan batang dan jaringan akar tanaman. Selanjutnya dilakukan pengukuran biomassa basah dan kering tanaman. Pengukuran biomassa basah menggunakan timbangan analitik kemudian masing-masing sampel jaringan batang dan jaringan akar dimasukkan ke dalam amplop cokelat dengan identitas kode tanaman. Untuk sampel tanah dari tanaman dimasukkan ke dalam plastik bening agar udara tidak masuk dan diberi identitas kode tanaman untuk memudahkan proses pendataan. Pengukuran biomassa kering dilakukan dengan memasukan jaringan tanaman ke dalam oven dengan suhu 70°C selama 72 jam dan setelah kering dilakukan penimbangan kembali di timbangan analitik.

Sementara untuk pengambilan tanah uji dilakukan dengan cara menyimpan sampel tanah ke dalam plastik transparan, kemudian dibungkus kembali menggunakan plastik hitam agar berada dalam kondisi gelap. Penyimpanan dalam kondisi gelap ini bertujuan untuk mempertahankan kandungan serta sifat asli dari tanah uji.



Gambar 3. 8 Pemanenan Tanaman

3.10 Analisis Data

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap kadar logam berat, pH, dan kandungan nutrisi. Parameter nutrisi yang dianalisis meliputi konsentrasi kadar air tanah, sulfat tanah, P_2O_5 tanah, dan P_2O_5 batang tanaman. Sementara itu, logam berat yang diuji meliputi kandungan merkuri (Hg) pada tanah, batang, dan akar tanaman.

Pengukuran pH dilakukan di laboratorium Pengujian Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Yogyakarta. Pengujian nutrisi dan logam berat dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan alat *Spektrofotometry*, *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), dan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS).



Gambar 3. 9 Pengujian Sampel

3.11 Proses Analisa Data

Proses analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengamatan pada tanah sampel yang diberi perlakuan stabilisasi dengan tanah kontrol yang tidak mendapatkan perlakuan, kemudian disajikan dalam bentuk diagram dan grafik. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi kompos dan AMF sebagai bahan pembenah tanah terhadap status kualitas tanah dan tanaman *Capsicum frutescens L.* pada lahan bekas tambang emas.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman Uji

Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* dilakukan setiap dua minggu selama enam minggu. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun, serta biomassa. Berikut merupakan tabel *survival rate* uji dari tanaman kontrol dan tanaman K1+M:

Tabel 4. 1 Survival Rate Tanaman Uji Capsicum frutescens L.

minggu	kontrol		K1+M (kompos + AMF)		persentase	
	hidup	mati	hidup	mati	kontrol	K1+M
0	11	0	10	0	100%	100%
2	3	8	7	3	27%	70%
4	2	1	3	4	18%	30%
6	2	0	3	0	18%	30%

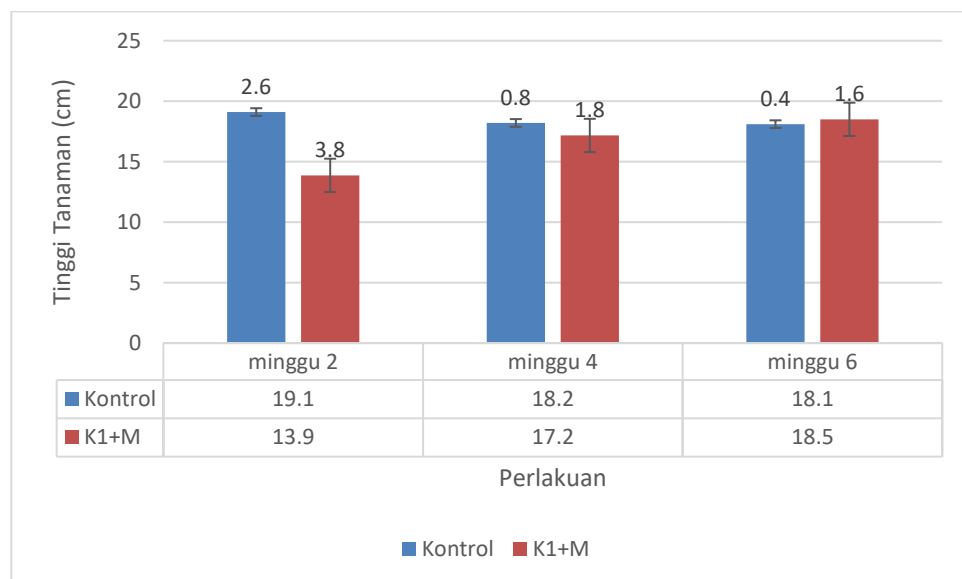
Berdasarkan gambar di atas, dari 11 tanaman kontrol dan 10 tanaman K1+M yang dilakukan pengamatan selama 6 minggu, hanya 3 tanaman K1+M dan 2 tanaman kontrol yang berhasil tumbuh hingga masa pemanenan dengan uraian pada minggu ke-2 tanaman kontrol mengalami 8 kematian sehingga tersisa 3 tanaman kontrol yang hidup, lalu pada minggu ke-4 tanaman kontrol mengalami 1 kematian sehingga tersisa 2 tanaman kontrol yang hidup dan bertahan hingga akhir masa pemanenan. Sementara pada minggu ke-2 tanaman K1+M mengalami 3 kematian sehingga tersisa 7 tanaman K1+M yang hidup, lalu pada minggu ke-4 tanaman K1+M mengalami 4 kematian hingga tersisa 3 tanaman dan bertahan hingga akhir masa pemanenan.

Kematian pada beberapa tanaman tanpa perlakuan diduga terjadi karena tanah yang tidak diberi pembenh umumnya memiliki kandungan bahan organik yang rendah, sehingga kemampuan tanah dalam menahan air, membentuk agregat, dan menyediakan unsur hara menjadi terbatas. Kondisi ini menyebabkan akar tanaman mengalami stres lebih cepat dan membuat bibit jauh lebih rentan terhadap gangguan lingkungan (Wright et al., 2022). Sementara itu, kematian

pada beberapa tanaman yang diberi perlakuan bahan pembenah tanah (K1+M) disebabkan oleh serangan hama kutu, yang mengakibatkan kerusakan jaringan tanaman. Hama kutu menghisap cairan dalam jaringan tanaman, menyebabkan kehilangan nutrisi dan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Akibatnya, tanaman menunjukkan gejala kerusakan seperti daun menguning (Dirjen Hortikultura, 2023).

4.1.1 Tinggi, Diameter, dan Jumlah Daun Tanaman Uji

Dalam pengamatan pertumbuhan tanaman, perlu dilakukan pengukuran tinggi batang, diameter batang, dan jumlah daun untuk menilai efektivitas penggunaan bahan pembenah tanah pada lahan bekas tambang emas. Hal ini menjadi indikator utama dalam pemantauan pertumbuhan tanaman uji. Penghitungan tiga indikator tersebut dilakukan setiap dua minggu sekali selama periode pengamatan yaitu 6 minggu. Berikut disajikan diagram pertambahan tinggi batang pada tanaman uji selama masa pengamatan:

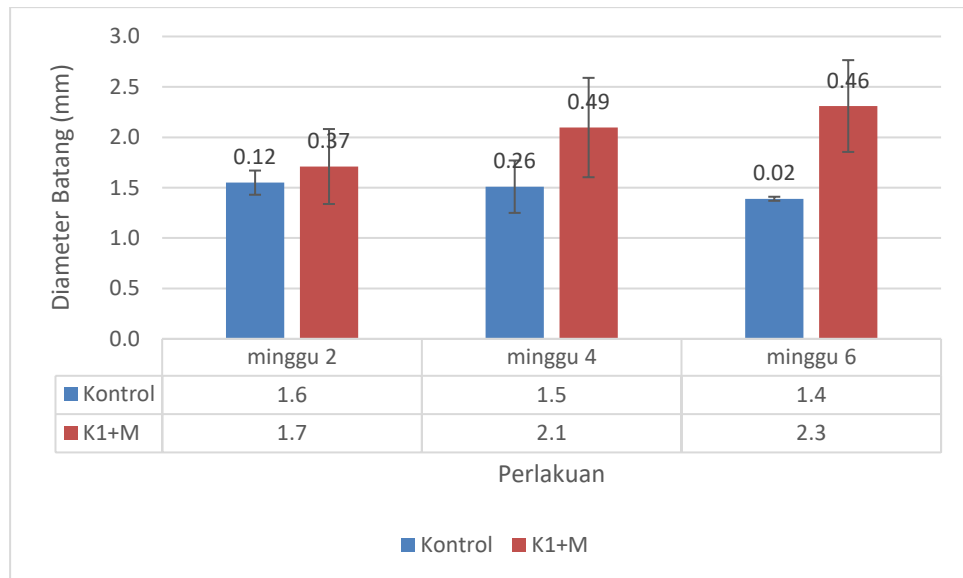


Gambar 4. 1 Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Berdasarkan gambar di atas, diagram menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman kontrol dan tanaman perlakuan bahan pembenah tanah berupa kompos dan AMF. Pada minggu ke-2, rata-rata tinggi tanaman kontrol mencapai 19,1 cm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan

pembenah tanah mencapai 13,9 cm. Lalu minggu ke-4, rata-rata tinggi tanaman kontrol mencapai 18,2 cm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 17,2 cm. minggu ke-6, rata-rata tinggi tanaman kontrol mencapai 18,1 cm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah (K1+M) mencapai 18,5 cm.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan menaikkan pertumbuhan tinggi tanaman. Kombinasi kompos mengandung bahan organik seperti asam humat yang memiliki gugus fungsional karboksil dan fenolat. Gugus ini mampu mengikat ion logam, sehingga mencegah pengikatan unsur hara oleh logam dan menjaga ketersediaan hara tetap tersedia bagi tanaman. Lalu AMF menciptakan kondisi rhizosfer yang lebih kondusif. Dalam kondisi tersebut, tanaman tidak perlu menghabiskan energi untuk bertahan hidup, melainkan dapat mengalihkan energinya untuk mendukung pertumbuhan batang, daun, dan pembentukan biomassa (García-Sánchez et al., 2014).



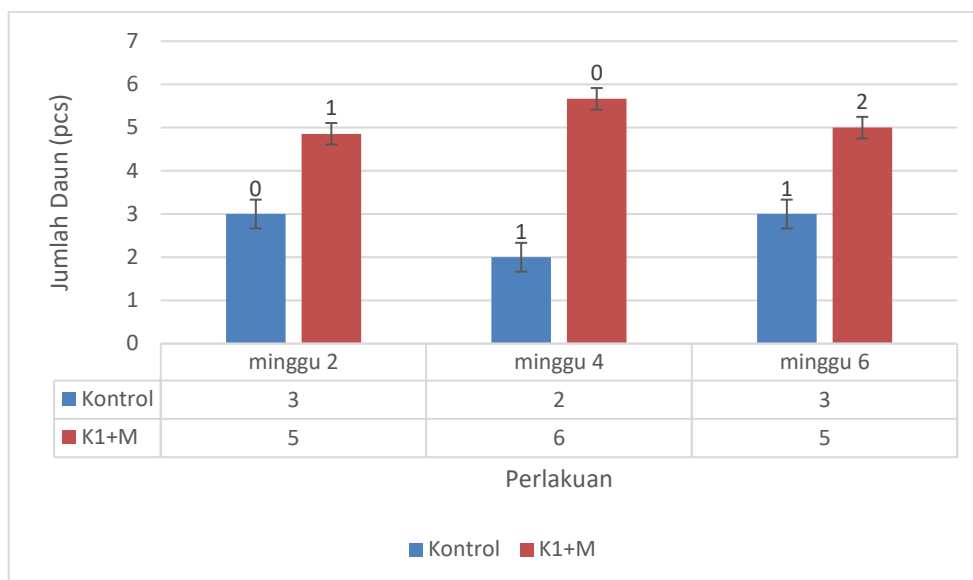
Gambar 4. 2 Pertumbuhan Diameter Tanaman

Berdasarkan gambar di atas, diagram menunjukkan pertumbuhan diameter tanaman kontrol dan tanaman perlakuan bahan pembenah tanah berupa kompos dan AMF. Pada minggu ke-2, rata-rata diameter tanaman kontrol mencapai 1,6 mm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 1,7 mm. Lalu minggu ke-4, rata-rata diameter

tanaman kontrol mencapai 1,5 mm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 2,1 mm. minggu ke-6, rata-rata diameter tanaman kontrol mencapai 1,4 mm. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 2,3 mm.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan diameter batang yang lebih tinggi ketimbang diameter batang tanaman kontrol. Kondisi ini terjadi karena pemberian kompos mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah sekaligus menyediakan unsur hara makro seperti N, P, dan K yang mendukung penyerapan nutrisi oleh tanaman. Selain itu, kompos juga memperbaiki sifat fisik tanah dengan meningkatkan kemampuan tanah menahan air dan menurunkan bobot isi, sehingga akar dapat tumbuh dan berkembang lebih optimal, termasuk dalam mendukung pembesaran diameter batang. (Iraji et al., 2025).

Aplikasi AMF membantu meningkatkan penyerapan fosfor melalui perluasan area serapan akar oleh hifa yang tumbuh menjalar ke dalam tanah. Selain itu, AMF juga menghasilkan asam organik yang membantu melarutkan fosfor terikat sehingga lebih mudah diserap tanaman. Ketersediaan fosfor yang lebih tinggi ini mendorong pembentukan biomassa, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pembesaran diameter batang (Chandrasekaran, 2020).



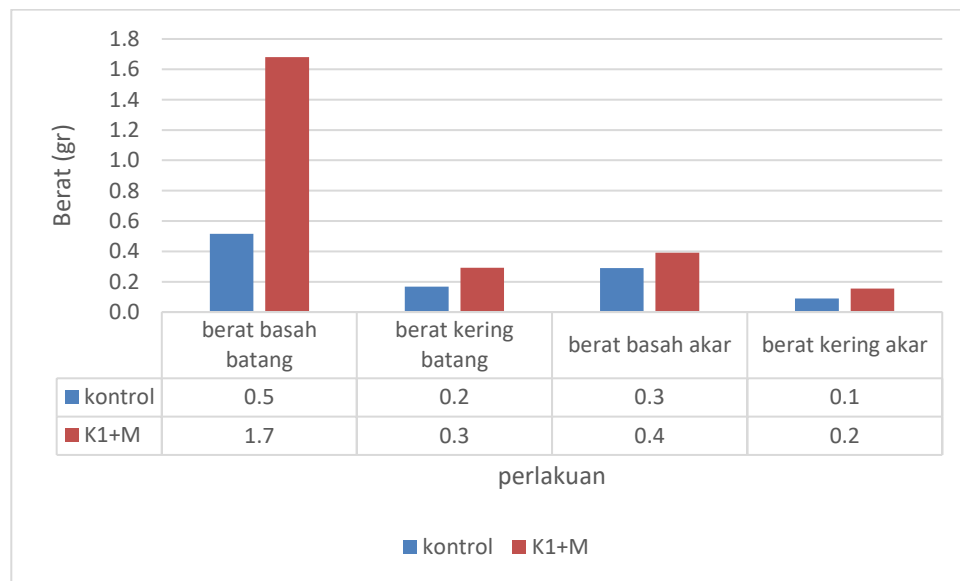
Gambar 4. 3 Pertumbuhan Jumlah Daun

Berdasarkan gambar di atas, hasil menunjukkan adanya perbedaan jumlah daun antara tanaman kontrol dan tanaman yang mendapat perlakuan kompos serta AMF. Pada minggu ke-2, rata-rata jumlah daun tanaman kontrol mencapai 3 pcs. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 5 pcs. Lalu minggu ke-4, rata-rata jumlah daun tanaman kontrol mencapai 2 pcs. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 6 pcs. minggu ke-6, rata-rata jumlah daun tanaman kontrol mencapai 3 pcs. Sementara tanaman yang memiliki perlakuan pembenah tanah mencapai 5 pcs.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan jumlah daun yang lebih banyak ketimbang jumlah daun tanaman kontrol. Hal ini terjadi karena pengaplikasian kompos mampu memperbaiki struktur tanah dan menjaga kelembapan, sehingga mengurangi stres pada tanaman dan membuat ketersediaan N, P, dan K lebih stabil untuk mendukung pembentukan organ baru seperti daun. Inokulasi AMF meningkatkan serapan fosfor dan kandungan klorofil, sehingga pasokan energi untuk proses ekspansi daun menjadi lebih optimal. (Werner et al., 2001).

4.1.2 Biomassa Tanaman Uji

Biomassa tanaman terdiri atas biomassa basah dan biomassa kering. Pengukuran biomassa basah dilakukan setelah dilakukan pemanenan tanaman dengan memisahkan bagian akar dan batang, kemudian menimbanginya. Sementara itu, biomassa kering diperoleh dengan terlebih dahulu mengeringkan tanaman menggunakan oven. Proses pengeringan tanaman uji dilakukan selama 72 jam pada suhu 70°C. Berikut disajikan hasil pengukuran biomassa tanaman uji:



Gambar 4. 4 Biomassa Basah dan Kering Tanaman Uji

Berdasarkan gambar di atas, sampel yang telah dianalisis diatas terlihat bahwa data yang diperoleh menunjukkan adanya variasi. Pada diagram berat basah batang, rata-rata berat basah batang pada sampel kontrol tercatat sebesar 0,5 gram, sedangkan pada sampel dengan perlakuan pembenah tanah rata-ratanya mencapai 1,7 gram. Lalu pada diagram berat kering batang, rata-rata berat kering batang pada sampel kontrol tercatat sebesar 0,2 gram, sedangkan pada sampel dengan perlakuan pembenah tanah rata-ratanya mencapai 0,3 gram. Lalu pada diagram berat basah akar, rata-rata berat kering batang pada sampel kontrol tercatat sebesar 0,3 gram, sedangkan pada sampel dengan perlakuan pembenah tanah rata-ratanya mencapai 0,4 gram. Lalu pada diagram berat kering akar, rata-rata berat

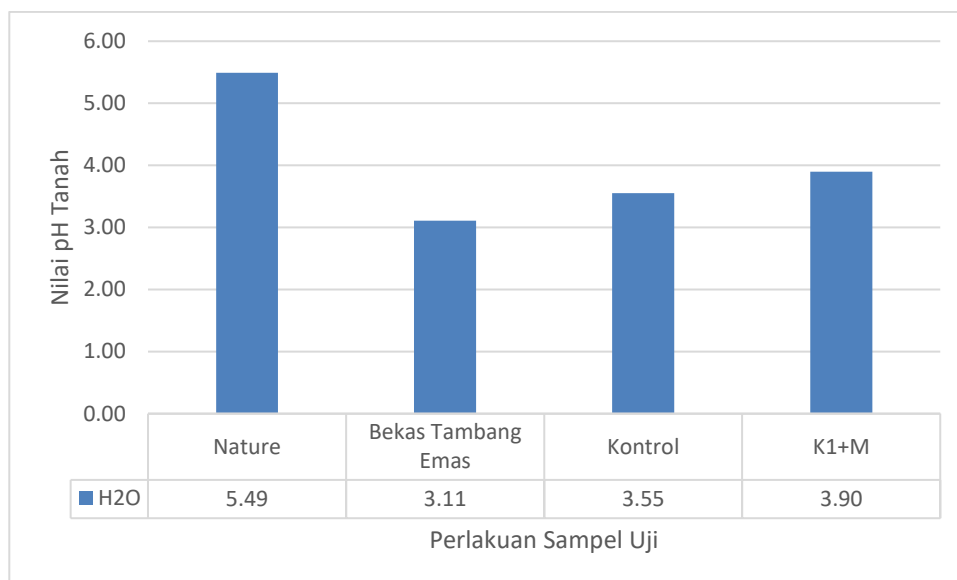
kering akar pada sampel kontrol tercatat sebesar 0,1 gram, sedangkan pada sampel dengan perlakuan pembenah tanah rata-ratanya mencapai 0,2 gram.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan biomassa yang lebih berat ketimbang biomassa tanaman kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian kompos dapat menimbulkan efek priming yang mempercepat proses dekomposisi bahan organik serta meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, sehingga biomassa jaringan batang meningkat (Simanjuntak et al., 2022). Sementara AMF menjalin hubungan simbiosis mutualisme dengan sistem perakaran tanaman, yang memungkinkan peningkatan area penyerapan unsur hara dan efisiensi penggunaan air. Ketersediaan air yang lebih optimal ini berperan penting dalam mendukung proses fisiologis tanaman, termasuk pembentukan biomassa (Abdalla & Ahmed, 2021)

4.2 Hasil Pengujian pH Tanah

Setelah proses pengamatan berlangsung selama 6 minggu, tanah pada masing-masing sampel uji kemudian dianalisis untuk mengetahui derajat keasaman (pH). Setiap sampel tanah seberat 200 gram dimasukkan ke dalam plastik sesuai dengan kode perlakuannya, lalu dibawa ke Laboratorium Penguji Balai Penerapan Modernisasi Pertanian DIY untuk dilakukan pengukuran pH.

Nilai pH digunakan untuk menunjukkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang terdapat di dalam tanah. Pada penelitian ini, pengujian pH dilakukan dengan satu parameter, yaitu pH aktual menggunakan media air (H_2O). Pengukuran pH aktual dilakukan dengan melihat jumlah ion hidrogen yang dilepaskan dalam larutan tanah (YANTI & Kusuma, 2022). Berikut merupakan grafik hasil uji pengukuran pH aktual pada sampel uji:



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian pH H₂O Tanah

Sampel nature menunjukkan pH tertinggi yaitu 5,49. Meskipun masih berada dalam rentang asam, nilai ini sudah lebih mendekati kondisi yang ideal untuk pertumbuhan tanaman. Sampel bekas tambang emas memiliki pH terendah yaitu 3,11 menunjukkan tanah sangat asam. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh sisa aktivitas tambang dan akumulasi logam berat yang bersifat menurunkan pH. Lalu sampel Kontrol memperlihatkan pH 3,55.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan pH tanah yang lebih tinggi ketimbang pH tanah tanaman kontrol. Hal ini terindikasi karena aktivitas bahan organik dalam kompos mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme *Bacillus*, yang menghasilkan senyawa bersifat basa. Proses ini menurunkan jumlah ion H⁺ di dalam tanah sehingga pH tanah meningkat (Indriyani & Darlis, 2024).

AMF menghasilkan senyawa organik seperti glomalin yang mampu mengikat kation logam penyebab tanah menjadi asam. Ketika kation tersebut terikat, kejenuhan basa meningkat sehingga pH tanah ikut mengalami kenaikan (Nurmasyitah & Sayuthi, 2013).

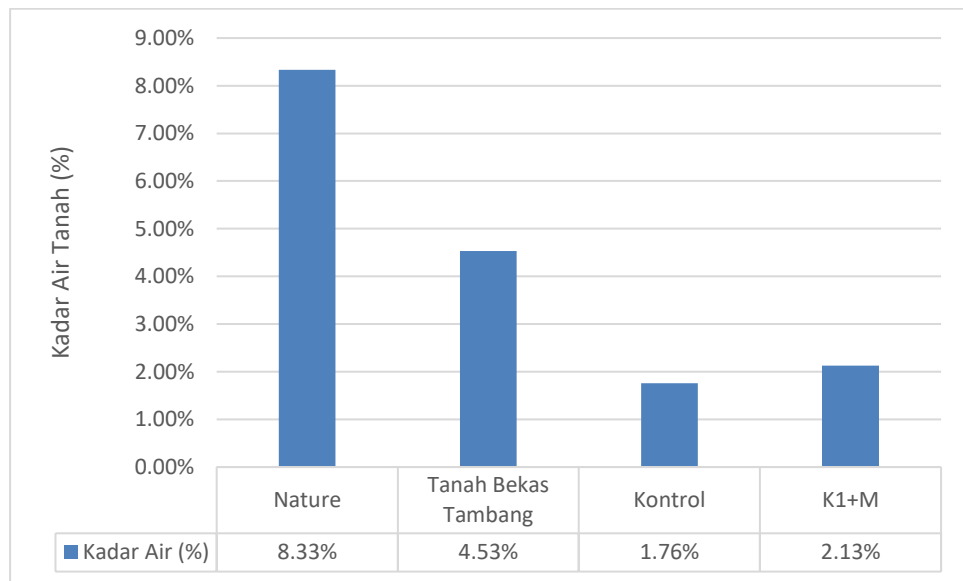
4.3 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Nutrisi

Faktor utama yang mempengaruhi proses stabilisasi tanah meliputi keberadaan mikroba, ketersediaan nutrisi, dan kondisi lingkungan. Tanah bekas

tambang umumnya memiliki sedikit unsur hara sehingga kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, upaya stabilisasi tanah melalui penambahan bahan pembenah tanah menjadi penting untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Berikut merupakan hasil pengujian terhadap nutrisi:

4.3.1 Kadar Air Tanah

Kadar air tanah adalah jumlah air yang tersimpan di dalam tanah, yang umumnya dinyatakan dalam persentase terhadap berat kering tanah. Air ini menjadi salah satu komponen penting penyusun tanah dan sebagian besar berasal dari atmosfer, terutama dari air hujan yang masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (Rahman et al., 2019).



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

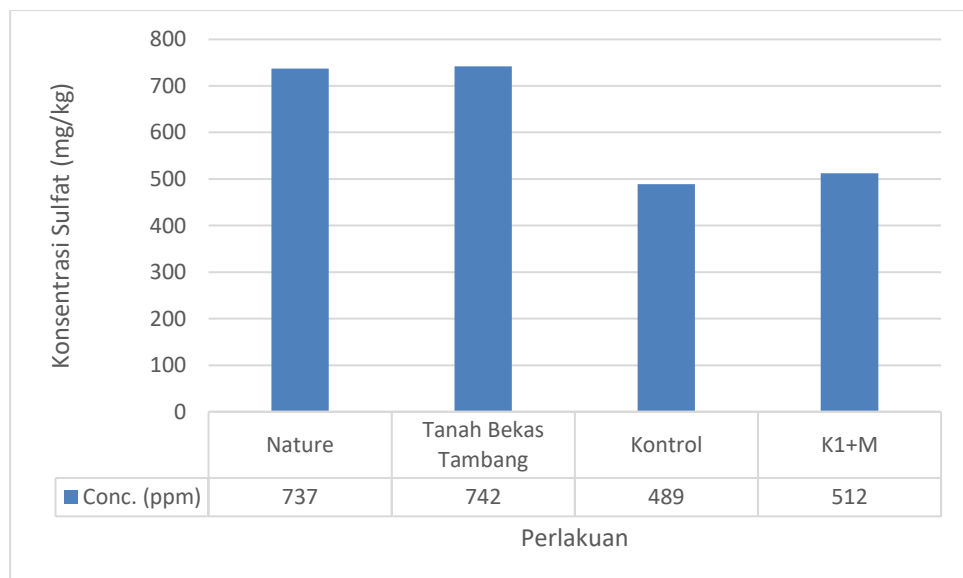
Berdasarkan gambar di atas, merupakan hasil pengujian kadar air tanah terhadap empat sampel. Pada sampel *nature*, memiliki kadar air tanah sekitar 8,33%. Lalu pada sampel tanah bekas tambang, memiliki kadar air tanah sekitar 4,53%. Lalu pada sampel kontrol memiliki kadar air tanah sekitar 1,76%. Terakhir pada sampel K1+M memiliki kadar air sekitar 2,13%. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kadar air tanah tertinggi

terdapat pada sampel *nature* yaitu 8,33%. Lalu untuk kadar air tanah terendah terdapat pada sampel kontrol yaitu 1,76%.

Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan kadar air tanah yang lebih tinggi ketimbang kadar air tanah tanaman kontrol. Pemberian kompos meningkatkan kandungan bahan organik tanah sehingga membentuk struktur tanah yang lebih gembur dan berpori. Kondisi ini memungkinkan air meresap dan tertahan lebih baik di dalam tanah (Natanael et al., 2020). AMF memberikan manfaat bagi tanaman, khususnya pada bagian akar. Selain itu juga membentuk hubungan simbiosis mutualisme dengan sistem perakaran, sehingga mampu memperluas jangkauan penyerapan nutrisi serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan air (Fau et al., 2024).

4.3.2 Konsentrasi Sulfat Tanah

Sulfat merupakan salah satu bentuk utama sulfur di dalam tanah yang dapat diserap tanaman sebagai unsur hara esensial (Ida Nursanti & Yuza Defitri, 2024). Pengujian Sulfat mengacu pada SNI 06-6989.20-2004 tentang cara pengujian sulfat, SO_4^{2-} secara turbidimetri.



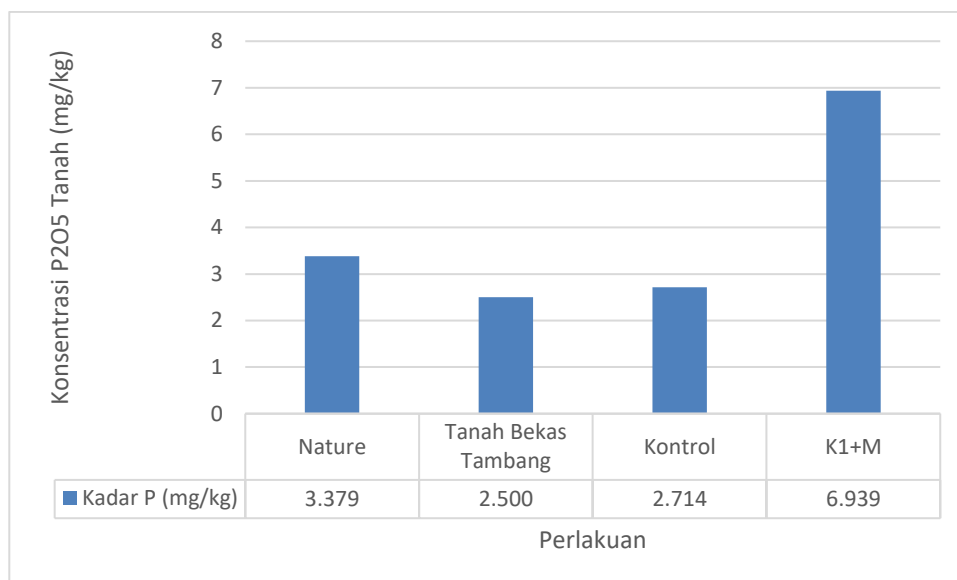
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Kadar Sulfat Tanah

Gambar di atas merupakan hasil pengujian kadar sulfat tanah terhadap empat sampel. Pada sampel *nature*, memiliki kadar sulfat tanah sekitar 737 mg/kg. Lalu pada sampel tanah bekas tambang, memiliki kadar sulfat tanah sekitar 742 mg/kg. Lalu pada sampel kontrol, memiliki kadar sulfat tanah sekitar 489 mg/kg. Terakhir pada sampel K1+M memiliki kadar sulfat tanah sekitar 512 mg/kg. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kadar sulfat tanah tertinggi terdapat pada sampel tanah bekas tambang yaitu 742 mg/kg. Lalu untuk kadar sulfat tanah terendah terdapat pada sampel kontrol yaitu 489 mg/kg. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan kadar sulfat tanah yang lebih tinggi ketimbang kadar sulfat tanah tanaman kontrol.

Mekanisme ini terjadi karena kompos mengandung sulfur organik yang mengalami mineralisasi menjadi sulfat melalui aktivitas mikroba tanah, sehingga meningkatkan fraksi sulfat dibandingkan dengan kontrol. Lalu keberadaan AMF dapat mempercepat mobilisasi S organik melalui interaksi dengan bakteri di zona hyphosphere, sekaligus meningkatkan serapan S anorganik oleh tanaman. Akibatnya, sebagian sulfat hasil mineralisasi langsung dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman dan tidak terakumulasi secara berlebihan di dalam tanah (Bohacz, 2019).

4.3.3 Konsentrasi P₂O₅ Tanah

Fosfor (P) adalah unsur hara esensial bagi tanaman karena menjadi salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan serta produktivitasnya. Pada tanaman, fosfor berperan penting dalam merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar (De Datta, 1981). Berikut merupakan hasil pengujian P₂O₅ tanah dari sampel pengujian:



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi P_2O_5 Tanah

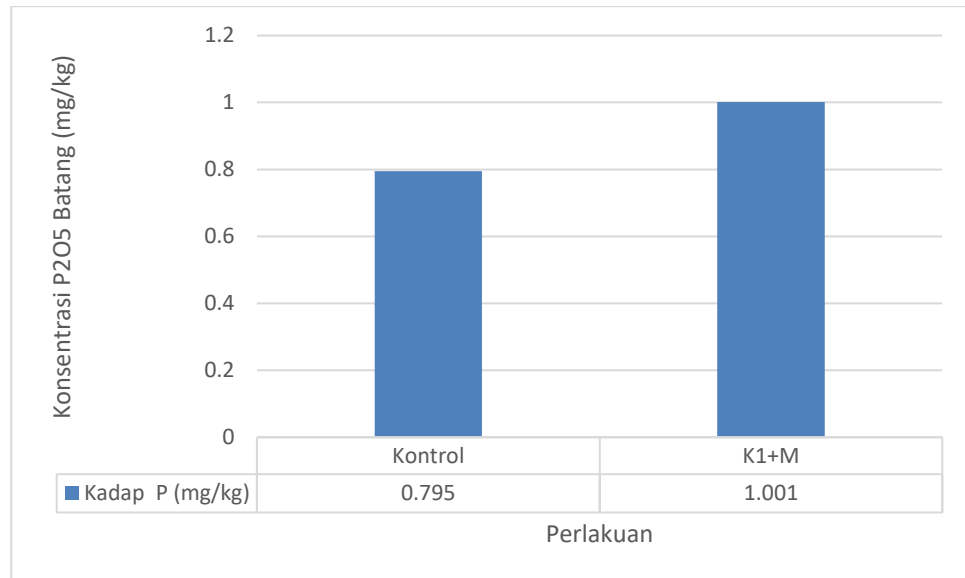
Gambar di atas merupakan hasil pengujian konsentrasi P_2O_5 tanah terhadap empat sampel. Pada sampel *nature*, memiliki konsentrasi P_2O_5 tanah sekitar 3,379 mg/kg. Lalu pada sampel tanah bekas tambang, memiliki konsentrasi P_2O_5 tanah sekitar 2,5 mg/kg. Lalu pada sampel kontrol, memiliki konsentrasi P_2O_5 tanah sekitar 2,714 mg/kg. Terakhir pada sampel K1+M memiliki konsentrasi P_2O_5 tanah sekitar 6,939 mg/kg. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan P_2O_5 tanah yang lebih tinggi ketimbang P_2O_5 tanah tanaman kontrol.

Pada tanaman K1+M, proses penyerapan fosfor oleh tanaman diikuti dengan peran aktif kompos dan AMF yang secara bersamaan membantu melarutkan kembali fosfor dari cadangan mineral yang masih tersisa di tanah bekas tambang. Mekanisme pengisian ulang ini berlangsung cukup efisien, sehingga laju pelepasan fosfor hampir seimbang dengan laju penyerapannya oleh tanaman. Kondisi tersebut membuat konsentrasi P_2O_5 tanah tetap stabil pada tingkat yang tinggi. Sebaliknya, pada tanaman kontrol tidak terdapat proses yang mampu menggantikan atau melepaskan kembali fosfor yang telah diserap tanaman, sehingga ketersediaan unsur P berkurang seiring waktu dan menyebabkan tanah menjadi kurang subur (Radwan et al., 2020). Menurut Petunjuk Teknis Balai Penelitian Tanah

(2009), hasil pengujian perlakuan K1+M masuk pada kategori sangat rendah yaitu kurang dari 100 mg/kg.

4.3.4 Konsentrasi P₂O₅ Batang

Berikut ini adalah grafik dari hasil pengujian konsentrasi P₂O₅ batang:



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian P₂O₅ Pada Batang

Berdasarkan gambar di atas, merupakan hasil pengujian kadar P Total Batang (P₂O₅) terhadap dua sampel. Grafik tersebut menunjukkan bahwa sampel K1+M memiliki kadar P Total Batang lebih tinggi daripada sampel kontrol yaitu 1,001 mg/kg. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan P₂O₅ batang yang lebih tinggi ketimbang P₂O₅ batang tanaman kontrol.

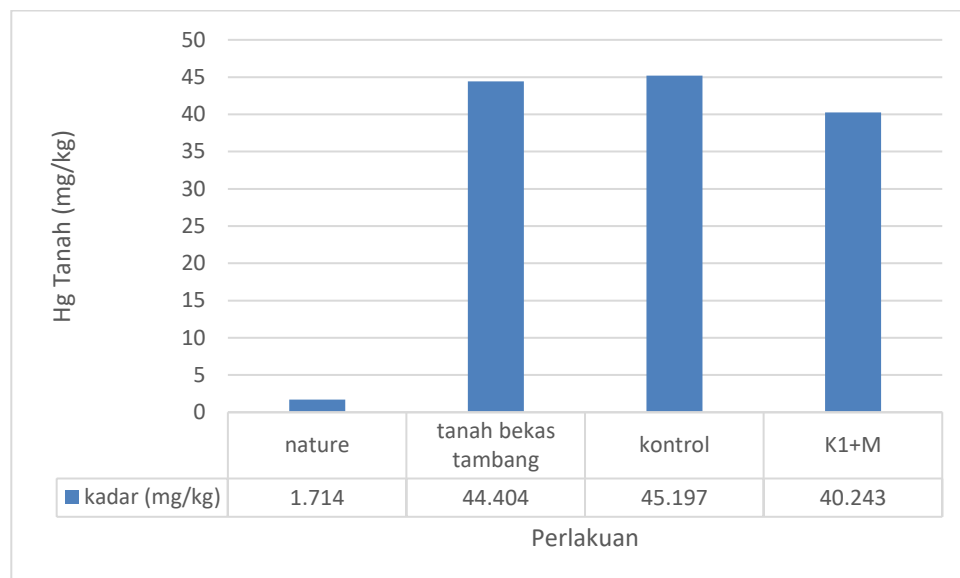
Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan menaikkan P₂O₅ batang. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan kombinasi kompos dan AMF pada tanaman K1+M tidak hanya membantu meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam tanah, tetapi juga memperkuat kemampuan tanaman dalam menyerap serta memanfaatkannya. Kenaikan kadar fosfor pada jaringan batang menunjukkan hubungan yang erat dengan peningkatan biomassa dan pertumbuhan tinggi tanaman, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan lebih

optimal (Qi et al., 2022). Menurut Marschner (2012) hasil dari perlakuan K1+M, masuk pada kategori sangat rendah yaitu kurang dari 1.000 mg/kg.

4.4 Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Reduksi Logam Berat

4.4.1 Reduksi Logam Merkuri (Hg)

Logam merkuri (Hg) tergolong logam beracun yang tidak memiliki manfaat yang jelas, sehingga dikategorikan sebagai logam non-potensial (Syaifullah et al., 2018). Menurut *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) tahun 2024, bahwasanya standar baku mutu merkuri pada tanah perumahan yaitu 0,23 mg/kg. Berikut merupakan hasil dari pengujian logam berat merkuri pada sampel pengujian:



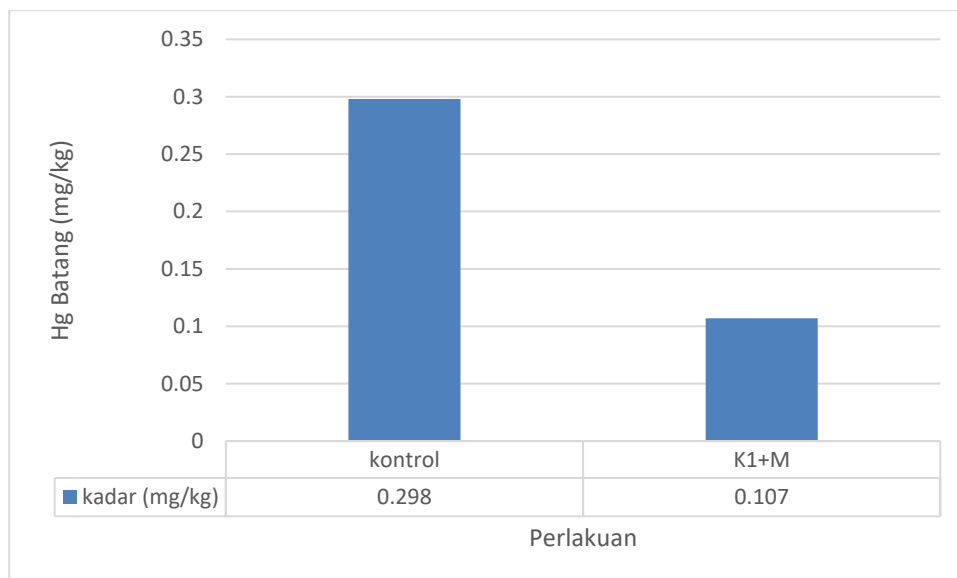
Gambar 4. 10 Konsentrasi Hg Tanah

Gambar di atas merupakan hasil pengujian kadar Hg tanah terhadap empat sampel. Pada sampel *nature*, memiliki kadar Hg tanah sekitar 1,714 mg/kg. Lalu pada sampel tanah bekas tambang, memiliki kadar Hg tanah sekitar 44,404 mg/kg. Lalu pada sampel kontrol, memiliki kadar Hg tanah sekitar 45,197 mg/kg. Terakhir pada sampel K1+M memiliki kadar Hg tanah sekitar 40,243 mg/kg. Penggunaan bahan pembenh tanah kompos dan AMF

pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan Hg tanah yang lebih rendah ketimbang Hg tanah tanaman kontrol.

Hal ini mengindikasikan karena kompos mengandung asam humat dan asam fulvat memiliki struktur molekul yang mengandung berbagai gugus fungsional reaktif seperti karbonil dan amino. Gugus-gugus ini umumnya bermuatan negatif sehingga mampu menarik dan mengikat ion logam berat seperti Hg yang ada di dalam tanah. Ikatan tersebut membentuk kompleks metal organik yang stabil sehingga mobilitas dan ketersediaan logam berat dalam larutan tanah menjadi jauh lebih rendah (Murao et al., 2019).

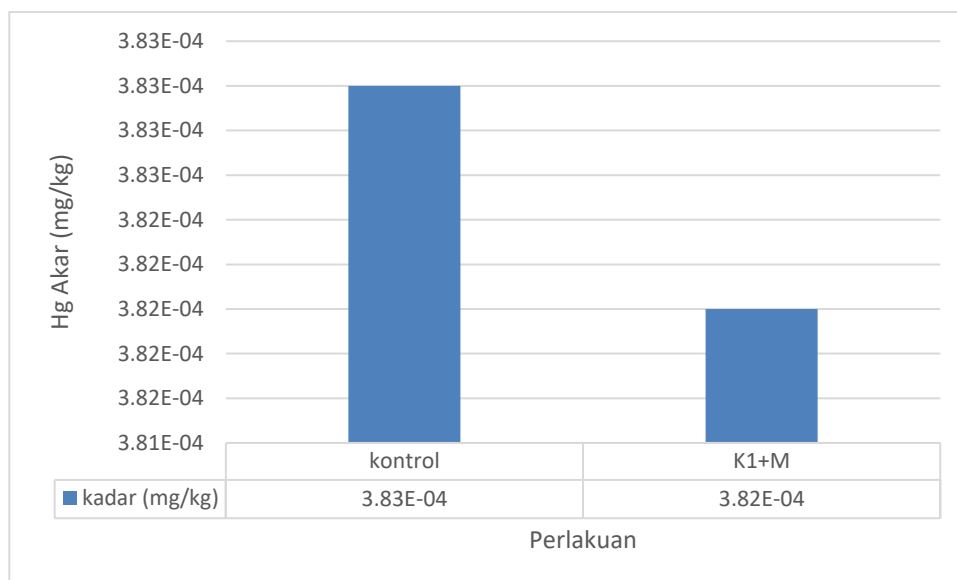
AMF dapat mengikat logam berat dari aktivitas Glomalin Related Soil Protein (GRSP), GRSP yang dilepaskan oleh hifa AMF berperan penting dalam menahan merkuri di dalam tanah dengan cara membentuk kompleks yang stabil, alhasil logam tersebut tidak mudah terserap oleh akar tanaman. GRSP memiliki kemampuan yang sangat kuat dalam mengikat logam berat beracun seperti merkuri. Hal ini disebabkan oleh keberadaan gugus fungsional karboksil, hidroksil dan tiol yang memberikan muatan negatif pada permukaannya, sehingga logam dapat menempel dan terikat dengan mudah (Son et al., 2024).



Gambar 4. 11 Konsentrasi Hg Batang

Gambar di atas merupakan hasil pengujian kadar Hg batang terhadap dua sampel. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan Hg batang yang lebih rendah ketimbang Hg batang tanaman kontrol. Hal ini mengindikasikan karena kompos yang kaya akan asam humat dan fulvat mampu menurunkan ketersediaan merkuri di tanah secara signifikan melalui pembentukan kompleks Hg humat yang sangat stabil. Asam humat berikatan dengan ion Hg^{2+} melalui gugus karboksil, hidroksil, dan fenolat yang bermuatan negatif, sehingga terbentuk ikatan khelat yang kuat. Kompleks organik merkuri ini memiliki stabilitas tinggi dan mobilitas sangat rendah, membuat merkuri yang awalnya mudah diserap akar menjadi terperangkap atau terimmobilisasi di dalam tanah. Selain itu, kompos juga meningkatkan ketersediaan unsur hara utama seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Peningkatan nutrisi ini menciptakan kompetisi alami dengan Hg pada jalur transport ion di membran akar, sehingga penyerapan merkuri oleh tanaman semakin berkurang (Banerjee et al., 2024).

AMF memiliki kemampuan khusus untuk menurunkan penyerapan merkuri, terutama metil Hg yang merupakan bentuk paling beracun serta mencegah perpindahannya dari akar menuju batang. Struktur mikoriza bekerja melalui mekanisme penjerapan dan pengikatan logam pada dinding sel hifa sehingga Hg tertahan di zona akar dan tidak dapat memasuki jaringan xilem. Dengan cara ini, AMF berfungsi sebagai *filtration barrier* yang sangat efektif dalam menahan pergerakan logam berat ke bagian tanaman di atas tanah. Akibatnya, merkuri terakumulasi pada sistem perakaran dan tidak ditranslokasikan ke tajuk, sehingga AMF berperan penting dalam proses fitostabilisasi (Bmmd et al., 2021)



Gambar 4. 12 Konsentrasi Hg Akar

Terlihat pada gambar di atas bahwa tanaman kontrol memiliki kadar Hg akar yaitu 0,000383 mg/kg. Sementara tanaman yang diberi perlakuan pembenah tanah memiliki kandungan Hg 0,000382 mg/kg. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF pada tanaman K1+M, memiliki kecenderungan Hg akar yang lebih rendah ketimbang Hg akar tanaman kontrol.

Pada tanaman kontrol yang tidak diberi perlakuan kompos dan AMF, akar berinteraksi langsung dengan ion Hg yang terlarut di dalam tanah. Akibatnya, ion merkuri yang menempel pada dinding sel akar akan masuk ke dalam jaringan tanaman. Sementara itu, hifa yang tumbuh di luar akar tanaman K1+M berperan menahan ion Hg pada dinding hifa, sehingga jumlah merkuri yang mencapai jaringan akar dapat berkurang (Herath et al., 2023).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan topik “Potensi Kompos dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) pada *Capsicum frutescens L.* di Lahan Bekas Tambang Emas di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan AMF menunjukkan adanya tendensi perbaikan status kualitas tanah. Terlihat bahwasanya tanaman K1+M memiliki konsentrasi lebih tinggi ketimbang tanaman kontrol, seperti kadar air tanah 2,13%, konsentrasi sulfat tanah 512 mg/kg, dan konsentrasi P₂O₅ tanah 6,939 mg/kg.
2. Pemberian bahan pembenah tanah kompos dan AMF menunjukkan adanya tendensi kenaikan terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* yang terlihat pada tanaman K1+M saat akhir masa pengamatan peningkatan rerata tinggi batangnya 18,5 cm, diameter batangnya 2,3 mm, dan jumlah daunnya 5 pcs.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan pada penelitian ini untuk memperoleh hasil yang lebih optimal adalah sebagai berikut:

1. Memperpanjang waktu pengamatan minimal 3 bulan agar proses kolonisasi AMF dapat berkembang secara maksimal. Hal tersebut dikarenakan AMF membutuhkan waktu yang memadai untuk membentuk struktur seperti hifa eksternal, arbuskula, serta vesikula di jaringan akar tanaman sebelum dapat memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman maupun perbaikan kondisi tanah. Durasi pengamatan selama 1,5 bulan pada penelitian ini diduga belum cukup untuk memperlihatkan kinerja AMF secara optimal, sehingga efeknya terhadap peningkatan penyerapan unsur hara dan penurunan kadar logam berat belum terlihat maksimal. Dengan memperpanjang waktu penelitian,

diharapkan peneliti dapat memperoleh data yang lebih akurat dan komprehensif mengenai perubahan karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah, serta respon tanaman terhadap perlakuan kombinasi kompos dan AMF dalam periode yang lebih panjang.

2. Melakukan penanaman di pagi hari sekitar pukul 6 - 8 pagi, hal ini karena pada rentang waktu tersebut udara masih sejuk dan kelembapannya cukup tinggi. Kondisi ini sangat penting bagi tanaman yang baru dipindahkan, karena akar masih mengalami stres dan membutuhkan waktu untuk beradaptasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, M., & Ahmed, M. A. (2021). Arbuscular Mycorrhiza Symbiosis Enhances Water Status and Soil-Plant Hydraulic Conductance Under Drought. *Frontiers in Plant Science*, 12(October). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.722954>
- Antagonis, S. B., Rizosfer, A., & Karim, H. (2022). *Tanaman Cabai (Capsicum sp) untuk Me nekan Penyakit Layu Fusa AUTHOR*. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>
- Banunaek, Z. A. (2016). Pencemaran Merkuri di Lahan Pertambangan Emas Rakyat dan Strategi Pengendaliannya. *Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November*, 1–76.
- Bmmd, H., Kwa, M., Jpd, L., & Pn, Y. (2021). *Arbuscular mycorrhizal fungi as a potential tool for bioremediation of heavy metals in contaminated soil*.
- Budiasuti, M. T. S., Setyaningrum, D., Purnomo, D., & Wahidurromdloni, F. (2023). Soybean growth and yield on corn cob compost application. *E3S Web of Conferences*, 467, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346701007>
- Chandrasekaran, M. (2020). A meta-analytical approach on arbuscular mycorrhizal fungi inoculation efficiency on plant growth and nutrient uptake. *Agriculture (Switzerland)*, 10(9), 1–12. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090370>
- Chávez-mejía, A. C., Magaña-lópez, R., Durán-álvarez, J. C., & Jiménez-cisneros, B. E. (2019). *International Journal of Environment , Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*. 1878(November), 73–84. <https://doi.org/10.22161/ijeab>
- Collin, M. S., Venkatraman, S. K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S. M., Stacey, R. G. S., Anusha, J., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S., & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7(March), 100094. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
- Daris Alwan, M. (2021). *ANALISIS KONSENTRASI Hg PADA SEDIMEN SUNGAI DI LOKASI TAMBANG EMAS TRADISIONAL, KULON PROGO, YOGYAKARTA* Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk

Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan. 1–66.

- Ding, C., Chen, J., Zhu, F., Chai, L., Lin, Z., Zhang, K., & Shi, Y. (2022). Biological Toxicity of Heavy Metal(loid)s in Natural Environments: From Microbes to Humans. *Frontiers in Environmental Science*, *10*(May), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.920957>
- Dirjen Hortikultura. (2023). Identifikasi dan Klasifikasi Hama Aphid (Kutu Daun) pada tanaman Kentang. *Direktorat Jenderal Hortikultura*. <https://hortikultura.pertanian.go.id/identifikasi-dan-klasifikasi-hama-aphid-kutu-daun-pada-tanaman-kentang>
- Firmansyah, M. A. (2010). Teknik Pembuatan Kompos. *Pelatihan Petani Plasma Kelapa Sawit*, 1–19.
- García-Sánchez, M., Šípková, A., Száková, J., Kaplan, L., Ochevová, P., & Tlustoš, P. (2014). Applications of organic and inorganic amendments induce changes in the mobility of mercury and macro- and micronutrients of soils. *Scientific World Journal*, *2014*. <https://doi.org/10.1155/2014/407049>
- Hahn, D., Vogel, N., Höra, C., Kämpfe, A., Schmied-Tobies, M., Göen, T., Greiner, A., Aigner, A., & Kolossa-Gehring, M. (2022). The role of dietary factors on blood lead concentration in children and adolescents - Results from the nationally representative German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). *Environmental Pollution*, *299*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118699>
- Hidayat, M. R. (2020). Analisis Sebaran Pencemaran Merkuri (Hg) Pada Air Sungai Di Lokasi Pertambangan Desa Sangon Kulon Progo. *Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*.
- Ida Nursanti, & Yuza Defitri. (2024). Karakteristik Tanah Sulfat Masam Dan Pengelolaannya Untuk Lahan Pertanian. *Jurnal Ilmiah Nusantara*, *1*(6), 174–185. <https://doi.org/10.61722/jinu.v1i6.2789>
- Indriyani, S., & Darlis, V. V. (2024). Pengaruh pemberian pupuk kompos terhadap pertumbuhan semai sengon (*Falcataria moluccana*) pada media tanam bekas tambang emas. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, *8*(2), 19. <https://doi.org/10.32522/ujht.v8i2.12369>

- Iraji, F., Jiménez-Ballesta, R., Mongil-Manso, J., Pellejero, G., Miguélez, D., Najafi, P., & Trujillo González, J. M. (2025). The effects of compost application on soil properties: Agricultural and environmental benefits. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 14(4), 1–18.
- Juliani, J., Khosmas, F. Y., & Syahrudin, H. (2021). Analisis Pertambangan Emas Rakyat Dalam Peningkatan Pendapatan Masyarakat Di Desa Kayuara Kecamatan Mandor Kabupaten Landak. *Jurnal Pendidikan Dan ...*, 10(10), 1–8.
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpdpb/article/download/49917/75676590842>
- Junaedy, M., Efendi, R., & Sandra, S. (2016). Studi Zona Mineralisasi Emas Menggunakan Metode Magnetik Di Lokasi Tambang Emas Poboya. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 5(2), 209–222.
<https://doi.org/10.22487/25411969.2016.v5.i2.6708>
- Kusdarini, E., & Budianto, A. (2021). Pengelolaan Tambang Emas Rakyat Berbasis Masyarakat. *Katalog Buku Karya Dosen ITATS*, 1, 7–18.
<http://ejurnal.itats.ac.id/buku/article/view/2055>
- Natanael, D., Firmansyah, M., & Mizwar, A. (2020). Perbaikan Sifat Fisika Dan Kimia Tanah Pada Tanah Bekas Tambang Intan Di Cempaka Dengan Metode Composting Berbahan Dasar Kotoran Sapi Physical and Chemical Soil Properties Improvement on Post-Diamond Mining Soil in Cempaka Using Composting Method Based on. *JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, 3(1), 25–35.
- Noreen, S., Yaseen, T., Iqbal, J., Abbasi, B. A., Elsadek, M. F., Eldin, S. M., Ijaz, S., & Ali, I. (2023). *Morphological and Molecular Characterizations of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Their Influence on Soil Physicochemical Properties and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02489>
- Pada, F. M. A., Desmodium, R., Sumberdaya, P. T. C., Muryati, S., Mansur, I., & Budi, W. (2016). *KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA*. 07(3), 188–197.
- Penelitian, L., & Nasution, H. I. (2012). Analisis Kandungan Logam Berat Besi

- (Fe) Dan Seng(Zn) Pada Air Sumur Gali Disekitar TempatPembuangan Akhir Sampah. In *Jurnal Sainika* (Vol. 12, Issue 2, pp. 164–169).
- Pertanian, K. B., Agroekoteknologi, P. S., Pertanian, F., & Udayana, U. (2014). *Isolasi dan Identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular (Fma) secara Mikroskopis pada Rhizosfer Tanaman Jeruk (Citrus sp .) di Desa Kerta , Kecamatan Payangan , Kabupaten Gianyar. 3(4), 201–208.*
- Prihantoro, I., Karti, P. D., Aditia, E. L., & Nisabillah, S. (2023). Kualitas Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) yang Diproduksi dengan Teknik Fortifikasi dan Fertigasi Berbeda pada Pertumbuhan Indigofera zollingeriana. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 28(3), 377–385.* <https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.377>
- Priyadarshini, E., Priyadarshini, S. S., & Pradhan, N. (2019). Heavy metal resistance in algae and its application for metal nanoparticle synthesis. *Applied Microbiology and Biotechnology, 103(8), 3297–3316.* <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09685-3>
- Purwaka Putri, K., Yulianti, Syamsuwida, D., Widayani, N., Sudrajat, D. J., Suita, E., & Nurhasbi. (2022). PEMANFAATAN FUNGI Mikoriza arbuskula DAN DARK SEPTATE ENDOPHYTE PADA BIBIT BALSAM (Ochroma pyramidale) UNTUK MENDUKUNG REHABILITASI LAHAN KRITIS (Utilization of Arbuscular mycorrhizal Fungi and Dark Septate Endophyte in Balsam (Ochroma pyramidale) Seedlings. *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan, 10(1), 67–80.* <https://doi.org/10.20886/btpth.2022.10.1.67-80>
- Rahman, M. A., Rachmawardani, A., & Lukito, I. S. (2019). *RANCANG BANGUN KALIBRATOR UNTUK SENSOR KADAR AIR TANAH. 8(1), 30–37.*
- Rawit, T. C., & Hatta, M. (2011). *Muhammad Hatta (2011) J. Floratek 6: 18 - 27. 18–27.*
- Setyoningrum, H. M., Hadisusanto, S., & Yunianto, T. (2014). KANDUNGAN KADMIUM (Cd) PADA TANAH DAN CACING TANAH DI TPAS PIYUNGAN, BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA (Cadmium (Cd) Content in Soil and Earthworms in Piyungan Controlled Landfill Municipal Waste Disposal, Bantul Yogyakarta Special District). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan, 21(2), 149–155.*

- Simanjuntak, F., Darmawan, & Sumawinata, B. (2022). The priming effect in compost amelioration of tropical peat soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1025(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1025/1/012033>
- Son, Y., Mart, C. E., & Kao-knif, J. (2024). *Three important roles and chemical properties of glomalin-related soil protein*. September, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1418072>
- Strategi, ", Lingkungan, P., Mineral, S., Untuk, E., Berkelanjutan, P., Surya, A., 1a, N., Mawardi, A., & Sobwan, I. (2020). Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Ke-II Analisis Kelayakan Pengkonsetrasian Bijih Emas Menggunakan Teknik Gravitasi Bebas Merkuri Dengan Meja Goyang Dalam Penambangan Emas Sekala Kecil di Wilayah Pertambangan Rakyat Kokap, Kulonprogo. *Fakultas Teknologi Mineral, November 2020*, 18–26. <https://doi.org/10.31315/psb.v2i1.4441.g3249>
- Syahputra, A., & Elfiati, D. (n.d.). *KEANEKARAGAMAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA HUTAN TRI DHARMA UNIVERSITAS SUMATERA UTARA Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Tri Dharma Forest University of Sumatera Utara*.
- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. (2018). KANDUNGAN LOGAM NON ESENSIAL (Pb, Cd dan Hg) DAN LOGAM ESENSIAL (Cu, Cr dan Zn) PADA SEDIMEN DI PERAIRAN TUBAN GRESIK DAN SAMPANG JAWA TIMUR. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 69. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i1.4497>
- Thirkell, T. J., Pastok, D., & Field, K. J. (2020). *Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration*. July 2019, 1725–1738. <https://doi.org/10.1111/gcb.14851>
- Werner, T., Motyka, V., Strnad, M., & Schmölling, T. (2001). Regulation of plant growth by cytokinin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(18), 10487–10492. <https://doi.org/10.1073/pnas.171304098>

- Wright, J., Kenner, S., & Lingwall, B. (2022). Utilization of Compost as a Soil Amendment to Increase Soil Health and to Improve Crop Yields. *Open Journal of Soil Science*, 12(06), 216–224. <https://doi.org/10.4236/ojss.2022.126009>
- YANTI, I., & Kusuma, Y. R. (2022). Pengaruh Kadar Air dalam Tanah Terhadap Kadar C-Organik dan Keasaman (pH) Tanah. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 92–97. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss2.art5>

LAMPIRAN

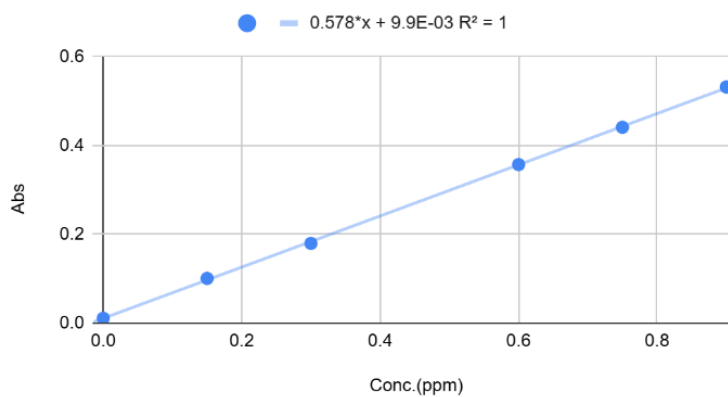
Lampiran 1 Kurva Kalibrasi

Kurva Kalibrasi P2O5

A. Kurva Kalibrasi Standar

Kode	Conc. (ppm)	Abs	Syarat	Kesimpulan
Std-1	0	0.01		
Std-2	0.15	0.1		
Std-3	0.3	0.179		
Std-5	0.6	0.357		
Std-6	0.75	0.441		
Std-7	0.9	0.532		
Rerata abs		0.2698		
Koef. Korelasi, R		0.9999	$R \geq 0,995$	DITERIMA
Slope		0.5776		
Intersep		0.0099		
STEYX		0.0031		
DEVSQ		0.6300		
LoD (μg)		0.0163		
LoQ (μg)		0.0542		
Intersep/Slope		0.0171		
MDL Estimasi		737.4725	$\text{Intersep/Slope} \leq \text{MDL Estimasi}$	DITERIMA

Kurva Kalibrasi Standar

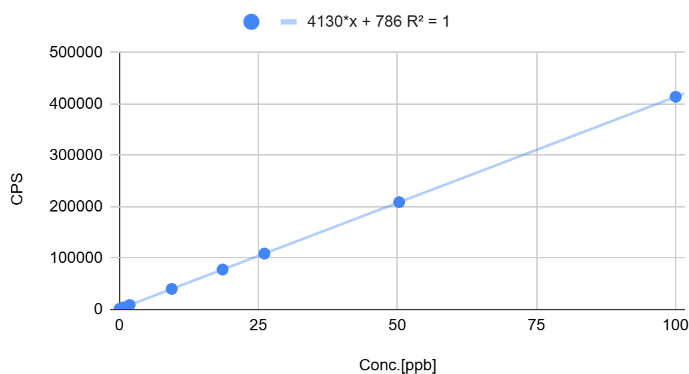


Kurva Kalibrasi Hg

A. Kurva Kalibrasi Standar

Kode	Conc.[ppb]	CPS	Syarat	Kesimpulan
Std 0.5	0.082	1123.43		
Std 1	0.76	3927.45		
Std 5	1.862	8476.51		
Std 10	9.443	39787.53		
Std 20	18.59	77567.22		
std 25	26.1	108585.52		
std 50	50.334	208678.19		
std 100	100.057	414051.5		
Rerata abs		107774.6688		
Koef. Korelasi, R		1.0000	$R \geq 0,995$	DITERIMA
Slope		4130.2933		
Intersep		785.6152		
STEYX		1.5091		
DEVSQ		8297.0040		
LoD (μg)		0.0011		
LoQ (μg)		0.0037		
Intersep/Slope		0.1902		
MDL Estimasi		10947.3411	Intersep/Slope \leq MDL Estimasi	DITERIMA

Kurva Kalibrasi Standar Hg Tanah

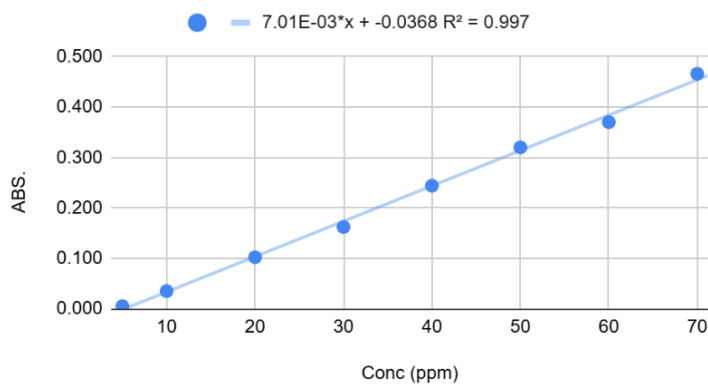


Kurva kalibrasi sulfat

Kode	Conc (ppm)	ABS.
blank	0	0.000
std 1	5	0.005
std 2	10	0.035
std 3	20	0.102
std 4	30	0.162
std 5	40	0.244
std 6	50	0.32
std 7	60	0.37
std 8	70	0.466

slope	0.0070
intersep	-0.0368

Kurva Kalibrasi Standar



Contoh Perhitungan

Kode	Abs	Fp	ppm kurva	Kadar P Potensial (mg P2O5/100 gr)	Kadar P Potensial (ppm) (mg/kg)
K1 + M	0.345	20	11.603	69.386	6.939
Rumus	-	-	$\left(\frac{Abs-Intercept}{Slope}\right) \times Fp$	$Ppm\ kurva \times \left(\frac{ml\ ekstrak}{1000\ ml}\right) \times 100\ gr \times Fp \times \left(\frac{142}{190}\right) \times fk$	69.386/10

Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan



Gambar 1 Proses pengambilan Sampel tanah



Gambar 2 Vegetasi sekitar area sampling tanah



Gambar 3 Proses pengamatan pada tanaman uji



Gambar 4 Proses pemanenan tanaman uji



Gambar 5 Proses foto tanaman uji



Gambar 6 Penampakan tanah uji setelah pemanenan



Gambar 7 Jaringan tanaman uji setelah pemanenan



Gambar 7 Penampakan amplop yang berisikan akar dan batang



Gambar 9 Proses pengayakan tanah uji



Gambar 10 Dokumentasi proses pengujian sampel



Gambar 11 Proses destruksi asam sebelum analisa parameter uji



Gambar 12 Analisa parameter menggunakan instrumen

RIWAYAT HIDUP



Evans Tito biasa dipanggil dengan nama Evan lahir di Duri, 4 Agustus 2003 yang mana merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Victoria dan Ibu Bettilidya. Adapun jenjang Pendidikan penulis yaitu Pendidikan Dasar di SDS IT Mutiara, kemudian melanjutkan Pendidikan di SMPS IT Mutiara, lalu melanjutkan Pendidikan di SMAS Cendana Mandau. Sebagai Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP UII, penulis diterima dengan jalur Rapor. Selama menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan, penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik seperti dan organisasi dan kepanitiaan (HMTL, LDK, dan LILIN).

Pada 26 Februari 2024, penulis berkesempatan melakukan kerja praktik di PT Perkebunan Nusantara Regional IV departemen *Health Safety and Environment* (HSE). Lalu pada 17 September 2024, penulis juga berkesempatan melakukan *internship* di PT Halliburton Indonesia base Duri departemen *Health Safety and Environment* (HSE). Lalu pada bulan Desember 2024, melakukan penelitian di *greenhouse* milik Bu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Laboratorium Kualitas Lingkungan yang telah mewadahi untuk menyelesaikan studi di program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas Islam Indonesia.