



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **TUGAS AKHIR**

**Potensi Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Untuk Remediasi Lahan Bekas Pengolahan Tambang Emas Rakyat di Kabupaten Kulon Progo**

**Nabila Putri Zahran**

**20513206**

**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**



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **BACHELOR THESIS**

**Potential of Compost, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, and *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* for Remediation of Former Traditional Gold Mining Processing Site in Kulon Progo Regency**

**Nabila Putri Zahran**

**20513206**

**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, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Untuk Remediasi Lahan Bekas Pengolahan Tambang Emas Rakyat di Kabupaten Kulon Progo**

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.

**Nabila Putri Zahran**

**20513206**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 13 November 2025 dan disetujui oleh:

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

(Pembimbing)


  
Suprivanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D.

(Penguji 1)

 - 13.11.25  
Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T.

(Penguji 2)

Mengetahui  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

  
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, 30 Oktober 2025  
Yang membuat pernyataan,



Nabila Putri Zahran  
20513206

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Potensi Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Untuk Remediasi Lahan Bekas Pengolahan Tambang Emas Rakyat di Kabupaten Kulon Progo”. Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tentu tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang selalu memberikan rahmat-Nya, kesehatan, dan kelancaran sehingga penulis bisa mengerjakan dan menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Kedua orang tua dan adik saya yang senantiasa memberikan dorongan, kepercayaan, dan motivasi kepada penulis.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M. Agr., Ph.D. atas segala waktu dan bimbingan yang diberikan serta saran dan masukan kepada penulis.
4. Terima kasih kepada teman penulis yang selalu memberikan arahan, Syifa Anisa Antari dan Farihah Tyana Parawansa.
5. Terima kasih kepada teman-teman kelompok TA dan seluruh pihak yang telah memberikan bantuan selama ini, yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis terbuka atas kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan ke depannya. Semoga laporan ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak.

Cilacap, 30 Oktober 2025

Nabila Putri Zahran

**Potensi Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Untuk Remediasi Lahan Bekas Pengolahan Tambang Emas Rakyat di Kabupaten Kulon Progo**

Mahasiswa : Nabila Putri Zahran  
NIM : 20513206  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

**Abstrak**

Tambang Emas Rakyat merupakan tambang emas yang dikelola oleh perseorangan dan umumnya tidak memiliki izin yang resmi. Salah satu tambang emas rakyat terletak di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengolahan emas pada tambang emas rakyat tidak lepas dari limbah *tailing* yang mengandung logam berat. Penambangan emas pada umumnya menggunakan merkuri (Hg) untuk memisahkan bijih emas melalui proses amalgamasi. *Tailing* penambangan emas mengandung logam berat seperti merkuri (Hg). Hal ini menjadi urgensi untuk dilakukan penelitian terkait potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) pada *Capsicum frutescens* L. untuk mengurangi risiko dari logam merkuri serta mengetahui pengaruhnya terhadap nutrisi di tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kabupaten Kulon Progo. Pengujian logam berat Hg menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric* (ICP-OES). Pengujian fosfor menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Metode analisis data menggunakan pendekatan standar deviasi untuk data pertumbuhan tanaman. Hasil yang didapatkan adalah laju pertumbuhan tanaman dengan perlakuan kompos, AMF, dan PGPR cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman kontrol selama 6 minggu. Kadar logam merkuri (Hg) pada tanah cenderung lebih rendah dengan pemberian bahan pembenah tanah berupa kompos, AMF, dan PGPR.

Kata kunci: Tambang emas rakyat, kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, Hg.

***Potential of Compost, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Remediation of Former Traditional Gold Mining Processing Site in Kulon Progo Regency***

*Student* : Nabila Putri Zahran  
*Student Number* : 20513206  
*Study Program* : Environmental Engineering – Bachelor Program  
*Supervisor* : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

***Abstract***

*Traditional gold mining is managed by individuals and usually does not have official permit. One of the gold mining site is located in Kulon Progo Regency, Yogyakarta Special Region. Gold mining activities can not be separated from tailing waste containing heavy metals. Gold mining activities in traditional site use mercury (Hg) to separate gold from the ore through amalgamation process. Gold mining tailing contains heavy metals such as mercury (Hg). This condition creates urgency to conduct research on potential of compost, Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Capsicum frutescens L. to reduce the risk of mercury (Hg) and know its effect on nutrients in former traditional gold mining processing site in Kulon Progo Regency. Mercury (Hg) was tested using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric (ICP-OES). Phosphor was tested using Spectrophotometry UV-Vis. The data analysis method used standard deviation approach for plant growth. The results showed that plant with compost, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Plant Growth Promoting Rhizobacteria has tendency to have a bigger value in plant growth rate such as height, diameter and number of leaves in 6 weeks. Plant with combination of compost, AMF and PGPR has tendency to have a lower mercury concentration compared to control plant.*

*Key words: Traditional gold mining, compost, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Hg.*

## DAFTAR ISI

PRAKATA	iv
Abstrak	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.6 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pencemaran di Tambang Emas Tradisional	6
2.2 Logam Berat	7
2.2.1 Merkuri (Hg)	7
2.3 Remediasi Tanah	8
2.4 Bioremediasi	8
2.4.1 Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)	8
2.4.2 Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)	10
2.5 Tanaman cabai rawit ( <i>Capsicum frutescens</i> L.)	11
2.6 Penelitian Tedahulu	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Lokasi	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	15
3.3 Prosedur Penelitian	16
3.3.1 <i>Sampling</i> Tanah	17
3.3.2 Persiapan Semai Tanaman	18
3.3.3 Persiapan Media Tanam dan Penanaman Semai	18

3.3.4	Persiapan Inokulum Mikroba	18
3.3.5	Inokulasi Mikroba	19
3.3.6	Pemeliharaan dan Pengamatan Tanaman	20
3.3.7	Pemanenan Tanaman	20
3.3.8	Analisis Parameter Merkuri (Hg) dan Nutrisi Fosfor (P)	21
3.4	Analisis Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Pengaruh Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR sebagai Bahan Pembenh Tanah terhadap Pertumbuhan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L.	22
4.1.1	<i>Survival Rate</i>	22
4.1.2	Tinggi Tanaman	24
4.1.3	Diameter Tanaman	25
4.1.4	Jumlah Daun Tanaman	26
4.1.5	Biomassa Tanaman	28
4.1.6	Kadar Air	30
4.2	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Nutrisi Fosfor (P)	31
4.2.1	Kadar P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dalam Tanah	31
4.2.2	Kadar P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dalam Jaringan Tanaman	33
4.3	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Logam Merkuri (Hg)	34
4.4	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Kadar Sulfat dalam Tanah	37
4.5	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap pH Tanah	38
BAB V		40
PENUTUP		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		41
LAMPIRAN		46
RIWAYAT HIDUP		53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3. 1 Jumlah Perlakuan pada Penelitian	19
Tabel 3. 2 Perbandingan Media Tanam pada Penelitian	20
Tabel 4. 1 Tabel <i>Survival Rate</i> Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. Perlakuan Kontrol	23
Tabel 4. 2 Tabel <i>Survival Rate</i> Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR	23
Tabel 4. 3 Standar Baku Mutu Ketersediaan P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dalam Tanah	32
Tabel 4. 4 Standar Kandungan Logam Berat Merkuri pada Tanah	34

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Simbiosis AMF dengan Akar Tanaman	9
Gambar 2. 2 Simbiosis PGPR dengan Akar Tanaman	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	16
Gambar 3. 2 Peta Lokasi <i>Sampling</i>	17
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan <i>Survival Rate</i> Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. antara Perlakuan Kontrol dengan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	24
Gambar 4. 2 Grafik Perbedaan Tinggi Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	25
Gambar 4. 3 Grafik Diameter Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	26
Gambar 4. 4 Grafik Jumlah Daun Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	28
Gambar 4. 5 Grafik Berat Basah Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	29
Gambar 4. 6 Grafik Berat Kering Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	30
Gambar 4. 7 Grafik Kadar Air Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. pada Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol, dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	31
Gambar 4. 8 Grafik Kadar $P_2O_5$ dalam Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	33
Gambar 4. 9 Grafik Kadar $P_2O_5$ dalam Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR	34

- Gambar 4. 10 Grafik Kadar Hg dalam Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR 36
- Gambar 4. 11 Grafik Kadar Hg dalam Jaringan Batang Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR 36
- Gambar 4. 12 Grafik Kadar Hg dalam Jaringan Akar Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR 37
- Gambar 4. 13 Grafik Kadar Sulfat dalam Tanah dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR 38
- Gambar 4. 14 Grafik Nilai pH Tanaman *Capsicum frutescens* L. pada Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol, dan Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR 39

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Kurva Kalibrasi Larutan Standar Parameter Uji Logam Hg, Nutrisi P, dan Sulfat	46
<b>Lampiran 2</b> Contoh Perhitungan	48
<b>Lampiran 3</b> Dokumentasi Kegiatan Sampling	49
<b>Lampiran 4</b> Dokumentasi Perawatan Tanaman	50
<b>Lampiran 5</b> Dokumentasi Tanaman Sebelum dan Sesudah Panen	50
<b>Lampiran 6</b> Dokumentasi Analisis Parameter Uji di Laboratorium	52

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara yang kaya akan berbagai bahan tambang yang tersebar di berbagai daerah. Emas menjadi salah satu bahan tambang yang paling banyak dihasilkan oleh Indonesia. Emas merupakan bahan tambang yang memiliki nilai jual tinggi serta nilai investasi yang meningkat tiap tahunnya di pasar dagang seluruh dunia. Pertambangan emas tersebar luas di berbagai daerah di Indonesia. Secara umum, pertambangan emas terbagi menjadi dua jenis yakni pertambangan resmi dan pertambangan tidak resmi. Pertambangan resmi adalah pertambangan yang memiliki izin usaha dan tempat pertambangan khusus. Sementara itu, pertambangan tidak resmi adalah pertambangan yang tidak memiliki izin usaha dan tidak memiliki tempat pertambangan khusus. Pertambangan tidak resmi umumnya dikelola oleh masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi pertambangan tersebut. Pertambangan tidak resmi juga dikenal dengan nama tambang emas rakyat. Salah satu aktivitas pertambangan emas rakyat terdapat di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tambang emas rakyat banyak ditemukan di Kabupaten Kulon Progo. Pertambangan emas rakyat di Kulon Progo sudah berdiri sejak tahun 1991 (Nata *et al.*, 2021). Aktivitas pertambangan emas rakyat di Kulon Progo terdiri dari kegiatan penambangan dan pengolahan emas. Penambangan emas dilakukan dengan sistem tambang bawah tanah. Sementara itu, pengolahan emas dilakukan dengan teknik amalgamasi menggunakan merkuri (Hg) sebagai media untuk mengikat logam emas dari bijihnya. Setelah proses amalgamasi selesai, campuran logam dipisahkan dengan cara diperas dengan kain. Selanjutnya, limbah dari proses tersebut dikumpulkan pada kolam penampungan tanpa disertai pengolahan lebih lanjut. Kondisi ini dapat membuat limbah masuk ke dalam tanah hingga mengalir ke sumber air di sekitarnya (Nilamprasasti, 2019).

Aktivitas pertambangan tidak akan lepas dari masalah lingkungan yang ditimbulkan. Masalah yang muncul seperti pencemaran tanah, air, dan kerusakan ekosistem. Aktivitas pertambangan emas merupakan salah satu penyumbang kerusakan lingkungan yang cukup signifikan. Proses ekstraksi emas yang menggunakan bahan kimia berbahaya seperti merkuri (Hg) meninggalkan residu beracun di tanah bekas

pengolahan tambang. Akibatnya, lahan bekas pengolahan tambang emas umumnya memiliki karakteristik yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, seperti pH yang ekstrim, kandungan logam berat yang tinggi, rendahnya kandungan bahan organik, serta aktivitas mikroba yang minimal (Xiao *et al.*, 2017). Disamping itu, kurangnya perhatian pemilik tambang dalam penyediaan kolam pengolahan limbah yang layak turut menjadi penyebab kerusakan ekosistem yang terjadi.

Logam berat yang terkandung dalam limbah *tailing* akan terakumulasi dalam tanah dan membuat pencemaran tanah semakin meningkat yang mengakibatkan pH tanah menurun. Kondisi pH yang rendah membuat mobilitas logam berat bergerak bebas pada tanah dan akan terakumulasi dalam tanaman. Tanah seperti ini tidak hanya kehilangan fungsi ekologisnya, tetapi juga tidak produktif untuk pertanian dan berpotensi mencemari lingkungan sekitar.

Kompos merupakan pupuk organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik seperti dedaunan, rumput-rumputan, batang-batang tumbuhan, dan kotoran hewan. Proses dekomposisi bahan organik dilakukan oleh mikroorganisme pengurai. Kompos mengandung unsur hara makro dan mikro yang lengkap. Penambahan kompos pada tanah dapat memperbaiki struktur tanah dengan cara meningkatkan daya serap tanah terhadap air dan zat hara serta dapat meningkatkan pH tanah (Luo *et al.*, 2017). Disamping itu, kompos juga dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan bahan-bahan organik di dalam tanah (Ch'ng *et al.*, 2014).

*Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) merupakan mikroorganisme yang amat penting dalam dunia agrikultur, terutama di bidang produksi tanaman hortikultura (Rillig *et al.*, 2019). AMF berasal dari simbiosis mutualisme antara jamur dengan akar tumbuhan tingkat tinggi. AMF memiliki beberapa manfaat bagi tanaman diantaranya akar mikoriza dapat meningkatkan penyerapan zat hara dari tanah, meningkatkan resistensi tanaman terhadap patogen, dan hifa jamur menghasilkan enzim-enzim hidrofilik yang melepaskan nitrogen dan fosfor dari senyawa organik (Ge *et al.*, 2020).

*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan bakteri yang bersimbiosis dengan jaringan akar tanaman yang dapat memacu pertumbuhan tanaman. PGPR membentuk koloni di perakaran tanaman. PGPR memiliki banyak manfaat bagi tanaman, baik manfaat secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat yang terjadi secara langsung diantaranya yaitu memproduksi hormon pertumbuhan, meningkatkan

fiksasi nitrogen, dan meningkatkan persediaan nutrisi. Sedangkan manfaat yang terjadi secara tidak langsung yaitu seperti mengurangi penyakit dengan memproduksi senyawa antibiosis, enzim, serta dengan meningkatkan simbiosis bakteri. Selain itu, manfaat lain dari PGPR yaitu dapat mendegradasi kontaminan dalam tanah, seperti bahan organik, logam berat, serta pestisida (Gurikar *et al.*, 2016).

Bioremediasi merupakan metode remediasi tanah tercemar yang menggunakan mikroorganisme dalam menurunkan toksisitas atau memobilisasi polutan dalam tanah. Dalam proses bioremediasi, mikroba bermanfaat untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun terhadap tanaman.

Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang terkenal dengan produksi hortikultura yang melimpah. Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu tanaman unggulan yang diproduksi secara masif. Produksi cabai rawit mengalami peningkatan signifikan setiap tahunnya. Hal ini tidak lepas dari peran pemerintah yang turut berupaya meningkatkan produksi cabai rawit. Pada tahun 2023, produksi cabai rawit di Kabupaten Kulon Progo mencapai 88.766 kwintal (BPS, 2024). Produksi cabai yang masif di Kabupaten Kulon Progo menjadi alasan utama tanaman ini dipilih sebagai media tanam. Selain karena ketersediaannya yang melimpah, tanaman cabai rawit juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap bahan pencemar (Sutardi dan Wirasti, 2017).

Bioremediasi dengan kombinasi aplikasi kompos, AMF, dan PGPR menggunakan tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) diharapkan dapat meningkatkan kualitas tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat serta mengurangi kandungan logam berat dalam tanah secara signifikan. Selain itu, kombinasi aplikasi kompos, AMF, dan PGPR diharapkan dapat meningkatkan daya serapan nutrisi serta membantu pertumbuhan tanaman. Penelitian ini menjadi penting sebagai bagian dari upaya rehabilitasi lahan pascatambang di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap laju pertumbuhan tanaman

*Capsicum frutescens* L. di tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta?

- 2) Bagaimana potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam penyerapan logam berat merkuri (Hg) pada tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menginvestigasi potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap laju pertumbuhan *Capsicum frutescens* L. di tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 2) Menganalisis potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam penyerapan logam berat merkuri (Hg) pada tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengembangkan studi literatur terkait potensi kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap penyerapan logam berat merkuri (Hg) pada tanaman *Capsicum frutescens* L.
- 2) Memberikan solusi remediasi tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk pemerintah dan masyarakat sekitar.
- 3) Hasil dari penelitian dapat digunakan untuk acuan penelitian selanjutnya.

### **1.6 Ruang Lingkup**

Batasan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Tambang emas rakyat berlokasi di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

- 2) Parameter tanaman dilihat dari pengukuran tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun.
- 3) Potensi penggunaan kompos pada media tanam *Capsicum frutescens* L.
- 4) Potensi penggunaan mikroorganisme *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) pada media tanam *Capsicum frutescens* L.
- 5) Potensi penggunaan mikroorganisme *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) pada media tanam *Capsicum frutescens* L.
- 6) Pengujian kandungan logam berat merkuri (Hg) pada sampel tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 7) Penelitian dan pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan dalam skala rumah kaca.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran di Tambang Emas Tradisional**

Bahan tambang merupakan salah satu komoditas terbesar Indonesia. Emas menjadi salah satu komoditas pertambangan utama di Indonesia. Pembentukan emas di alam terjadi ketika larutan sisa magma naik ke atas permukaan. Larutan tersebut dikenal dengan istilah larutan hidrotermal. Pergerakan larutan hidrotermal dikontrol oleh zona lemah yang membentuk rongga sehingga mengakibatkan larutan hidrotermal tersebut bermigrasi dan kemudian terakumulasi membentuk suatu endapan yang terletak di bawah permukaan (Junaedy *et al.* 2016).

Keberadaan emas di Indonesia tersebar luas di berbagai daerah. Bijih emas yang ditemukan di berbagai daerah mendorong masyarakat setempat untuk melakukan penambangan sendiri secara tradisional. Tambang emas rakyat bisa ditemukan di berbagai daerah di Indonesia seperti Aceh Selatan, Sumatera Utara, Jawa Barat, Jawa Tengah, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Barat, dan Papua. Tambang emas rakyat terdiri dua kegiatan penting yaitu penambangan dan pengolahan bijih emas. Kegiatan penambangan dan pengolahan bijih emas dapat menghasilkan limbah. Proses pengambilan bijih emas menghasilkan limbah batuan samping, yaitu sisa batuan yang sudah diambil tetapi tidak memiliki nilai jual untuk diolah. Batuan samping biasanya ditimbun di area sekitar penambangan. Selanjutnya proses pengolahan bijih emas, pengolahan bijih emas pada tambang emas rakyat biasanya menggunakan metode amalgamasi dan sianidasi (Kusdarini dan Budianto, 2021).

Pada hakikatnya, kegiatan pertambangan yang ada tidak boleh sampai membuat keseimbangan lingkungan menjadi terganggu (Listiyani, 2017). Namun tak bisa dipungkiri, kegiatan pertambangan akan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, baik abiotik maupun biotik. Tanah yang memiliki histori sebagai bekas tambang umumnya mengalami degradasi berupa kerusakan lapisan tanah, pH yang ekstrem, serta memiliki berbagai ancaman kesehatan (*US Department of Interior, Bureau of Land Management*, 2023). Permukaan atas tanah bekas tambang memiliki karakteristik tanah yang keras yang mengakibatkan terbentuknya lapisan tanah yang menghambat pertumbuhan tanaman. Lahan bekas tambang mengalami penurunan kualitas tanah akibat

adanya aktivitas tambang yang terjadi di masa lampau. Beberapa indikator terjadinya penurunan kualitas tanah adalah berkurangnya kesuburan tanah serta adanya penurunan kandungan dan kualitas air tanah. Unsur hara dan mineral yang terus berkurang di dalam tanah dapat merugikan pertumbuhan tanaman. Terjadinya penurunan kualitas lingkungan umumnya disebabkan oleh pencemaran logam berat pada lahan bekas tambang. Masuknya logam berat ke dalam tanah dapat disebabkan karena limpasan air hujan yang mengakibatkan akumulasi logam berat pada tanah.

## **2.2 Logam Berat**

Logam berat merupakan bahan pencemar lingkungan yang berbahaya. Logam berat masuk ke dalam lingkungan melalui aktivitas alami di alam maupun aktivitas antropogenik yang dilakukan oleh manusia. Paparan logam berat pada lingkungan merupakan ancaman bagi kesehatan dan kelestarian lingkungan. Logam berat bersifat tidak dapat terdegradasi. Logam berat yang terakumulasi dalam lingkungan dapat masuk ke dalam rantai makanan dan menyebabkan masalah kesehatan yang serius bagi makhluk hidup (Lemessa *et al*, 2022).

### **2.2.1 Merkuri (Hg)**

Merkuri (Hg) merupakan logam berat berbentuk cair, berwarna putih perak, serta mudah menguap jika disimpan pada suhu ruangan. Umumnya merkuri akan memadat pada tekanan 7.640 Atm. Merkuri memiliki nomor atom 80, berat atom 200,6 g/mol, titik beku  $-39^{\circ}\text{C}$ , dan titik didih  $356,6^{\circ}\text{C}$ . Merkuri menempati urutan ke-67 kelimpahannya di bumi di antara elemen lain pada kerak bumi. Merkuri murni sulit didapatkan dalam bentuk bebas di alam, tetapi berupa bijih cinnabar (HgS).

Merkuri merupakan salah satu logam berat yang toksik bagi tanaman (Rahman dan Singh, 2019). Keberadaan logam merkuri pada lingkungan berasal dari berbagai sumber seperti aktivitas penambangan, batuan induk, serta aktivitas alami lainnya. Merkuri yang masuk ke dalam lingkungan dapat menyebabkan berbagai masalah seperti menurunkan kualitas lingkungan, meracuni organisme air, merusak akar tanaman hingga menghambat penyerapan air dan nutrisi pada tanaman.

### **2.3 Remediasi Tanah**

Remediasi tanah dapat diartikan sebagai perbaikan lingkungan secara umum diharapkan dapat menghindari resiko-resiko yang ditimbulkan oleh kontaminasi logam yang berasal dari alam (*geochemical*) ataupun dari aktivitas manusia (*anthropogenic*). Logam dalam tanah tidak dapat mengalami biodegradasi sehingga pembersihan kontaminan menjadi pekerjaan yang berat dan mahal. Terdapat 2 jenis remediasi tanah yaitu in-situ (*on-site* atau di dalam lokasi) dan ex situ (*off-site* atau di luar lokasi).

Penggunaan bioremediasi dapat membantu dalam proses perubahan dan penghilangan senyawa organik maupun anorganik yang tidak dibutuhkan oleh lingkungan untuk 9 dapat didegradasi mikroorganisme seperti bakteri, jamur, ganggang dengan hasil akhir berupa karbon dioksida serta air (Lukic *et al.*, 2017). Dalam proses bioremediasi, reaksi-reaksi biologis yang utama adalah reaksi metabolisme sel.

### **2.4 Bioremediasi**

Bioremediasi adalah strategi atau proses detoksifikasi (menurunkan tingkat racun) dalam tanah atau lingkungan lainnya dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Bioremediasi merupakan alternatif untuk mendegradasi logam berat dengan menggunakan peran mikroorganisme (Girma, 2015). Mikroorganisme telah banyak digunakan dalam mengurangi senyawa organik dan bahan beracun baik yang berasal dari limbah rumah tangga maupu industri.

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Bioremediasi mempunyai potensi untuk menjadi salah satu teknologi lingkungan yang bersih, alami, dan murah untuk mengantisipasi masalah-masalah lingkungan. Sehingga dapat disimpulkan, bioremediasi adalah salah satu teknologi untuk mengatasi masalah lingkungan dengan memanfaatkan bantuan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dimaksud adalah khamir, alga, jamur dan bakteri yang berfungsi sebagai agen bioremediator.

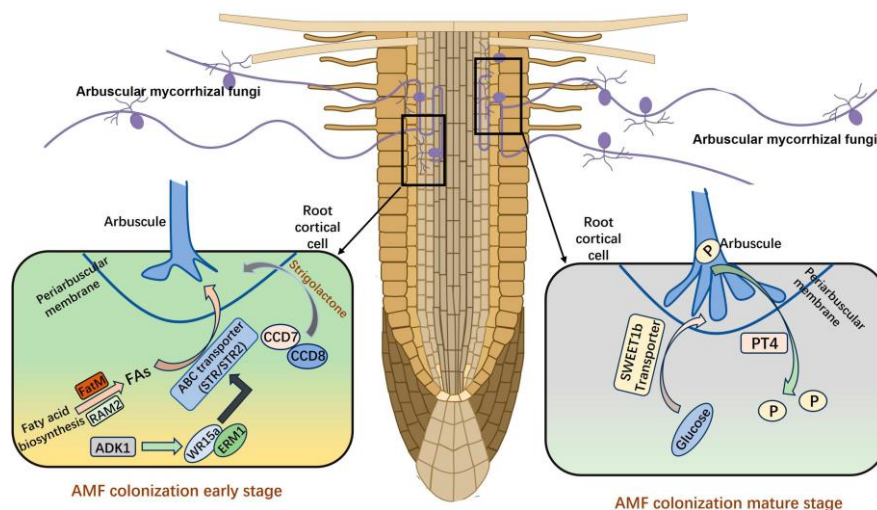
#### **2.4.1 Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)**

*Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) merupakan mikroorganisme yang amat penting dalam dunia agrikultur, terutama di bidang produksi tanaman hortikultura (Rillig *et al.*, 2019). AMF berasal dari simbiosis mutualisme antara jamur dengan akar tumbuhan tingkat tinggi. *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF)

memiliki tiga struktur primer berupa hifa, vesikel, dan arbuskula. Struktur ini digunakan sebagai sumber inokulum untuk bersimbiosis dengan akar tanaman. Hifa yang diproduksi oleh AMF berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara sehingga baik bagi pertumbuhan tanaman (Rini *et al.*, 2017). AMF memiliki efektifitas pada tanaman inang dengan dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, mikroorganisme tanah, pH, serta karakteristik inangnya (Finmeta *et al.*, 2018).

Simbiosis antara AMF dengan jaringan akar terbentuk ketika spora AMF yang berada di dalam tanah berkecambah dan menghasilkan hifa. Hifa bergerak menuju akar tanaman. Ketika hifa bertemu dengan akar tanaman, ujung hifa AMF akan membentuk struktur yang dinamakan hifopodium. Arbuskula merupakan struktur yang menyerupai pohon kecil. Arbuskula terbentuk di dalam sel korteks akar. Arbuskula berperan sebagai tempat pertukaran nutrisi (Khaliq *et al.*, 2022). Vesikula berbentuk seperti kantung yang berfungsi sebagai cadangan nutrisi bagi AMF. Siklus hidup AMF meliputi penyebaran spora, kolonisasi akar tanaman inang, dan pembentukan hifa dalam tanah (Uwamungu *et al.*, 2022).

AMF memiliki berbagai manfaat bagi tanaman. AMF dapat membantu penyerapan nutrisi dalam tanah, terutama nitrogen dan fosfor, melalui perpanjangan hifa-hifa yang melekat di akar tanaman. Hifa akan menjangkau daerah yang kaya akan nutrisi, yang mana hal ini tidak bisa dilakukan oleh tanaman tanpa tambahan AMF (Khaliq *et al.*, 2022). Disamping itu, AMF juga dapat meningkatkan resiliensi tanaman pada keadaan yang ekstrem seperti adanya kontaminan dan kadar air rendah.

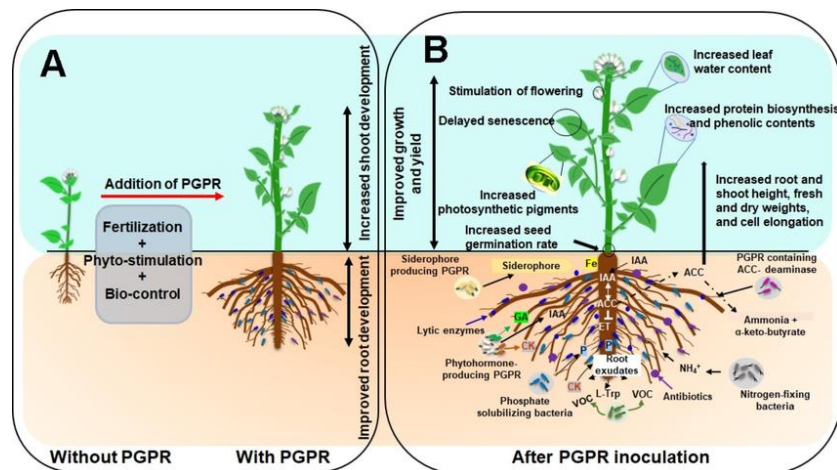


Gambar 2. 1 Simbiosis AMF dengan Akar Tanaman

## 2.4.2 Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

PGPR merupakan mikroba yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Bakteri yang terdapat dalam PGPR adalah bakteri yang hidup di akar tanaman. PGPR merupakan sekelompok bakteri menguntungkan yang secara aktif melakukan kolonisasi pada perakaran tanaman sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanaman (Basu *et al.*, 2021).

PGPR pertama kali diteliti untuk menggambarkan bakteri tanah yang mendiami daerah perakaran tanaman yang diinokulasikan ke dalam benih dan ternyata dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Proses kolonisasi dimulai dari kemampuan mempertahankan diri dari proses inokulasi ke dalam benih, penggandaan PGPR dalam spermosfer (daerah di sekeliling benih) dalam responsnya terhadap benih, penyerangan terhadap permukaan akar, dan selanjutnya PGPR berkolonisasi serta mendiami daerah perakaran untuk memperkuat sistem perakaran. PGPR hidup di sekitar permukaan akar. Tidak seperti AMF, PGPR tidak masuk ke dalam sel akar dan hanya menempel pada permukaan akar.



Gambar 2. 2 Simbiosis PGPR dengan Akar Tanaman

PGPR berperan dalam meningkatkan produksi tanaman dengan cara sebagai berikut:

1. Memacu atau merangsang pertumbuhan dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai hormon pertumbuhan tanaman (fitohormon) seperti IAA, giberelin, sitokinin, dan etilen dalam rhizosfer. Hormon-hormon ini membantu memperkuat perkembangan akar sehingga terjadi peningkatan penyerapan unsur hara.

2. Sebagai penyedia hara dengan memfiksasi N<sub>2</sub> dari udara secara asimbiosis dan melarutkan hara P yang terikat di dalam tanah.
3. Sebagai pengendali patogen yang berasal dari tanah dengan cara menghasilkan berbagai senyawa atau metabolit anti patogen. PGPR menghasilkan antibiotik dan enzim lisis dinding sel patogen. PGPR akan memicu sistem pertahanan tanaman tanpa menyebabkan penyakit. Hal ini membuat tanaman lebih resisten dalam menghadapi infeksi jamur maupun stres abiotik.

### **2.5 Tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)**

Menurut Simpson (2006) dan van Steenis (2008), berikut ini adalah klasifikasi tanaman cabai rawit:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Class	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: Capsicum
Species	: Capsicum frutescens L.

Cabai rawit merupakan salah satu tanaman hortikultura dari jenis sayuran yang memiliki buah kecil dengan rasa yang pedas. Cabai rawit menjadi komoditas yang menjanjikan sebab memiliki nilai jual yang tinggi. Di Indonesia, cabai rawit digunakan untuk bumbu masakan karena memiliki cita rasa yang pedas serta dapat menambah nafsu makan.

Tanaman cabai rawit terdiri atas batang, daun, buah, dan akar. Cabai rawit memiliki banyak cabang. Setiap cabangnya akan tumbuh bunga dan daun. Cabai rawit dapat beradaptasi dengan baik pada tanah berpasir, tanah liat, maupun tanah liat berpasir. Cabai rawit memiliki toleransi tinggi terhadap keadaan pH tanah yang asam (Tjahyadi, 1991).

Cabai rawit mengandung karbohidrat, protein, lemak, vitamin A, C, B1, dan mineral seperti kalsium, fosfor dan besi (Sujitno & Dianawati, 2015). Cabai mengandung zat yang bernama *capsaicin* yang menyebabkan cabai memiliki rasa pedas. Kandungan

zat *capsaicin* bersifat anti koagulan yang membuat cabai dapat mencegah penyakit stroke dan jantung koroner.

Sebagai produk hortikultura yang banyak digemari masyarakat, cabai rawit merupakan salah satu produk unggulan di Kabupaten Kulon Progo. Cabai rawit diproduksi secara masif dan mengalami peningkatan produksi setiap tahunnya. Pada tahun 2023, produksi cabai rawit di Kabupaten Kulon Progo mencapai 88.766 kwintal (BPS, 2024). Peningkatan produksi cabai rawit tak lepas dari peran pemerintah yang senantiasa memberdayakan para petani cabai rawit di Kabupaten Kulon Progo.

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk referensi serta menjadi pembandingan pada penelitian yang dilakukan. Penjelasan terkait penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Dieta <i>et al.</i> , 2018	Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai ( <i>Capsicum annum</i> L.) Pada Pemberian PGPR ( <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> )	Perlakuan PGPR berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai pada komponen tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buah, dan berat buah perpetak.
2	Ghaisani <i>et al.</i> , 2020	Respon Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens</i> L.) Akibat Inokulasi Cendawan Mikoriza Arbuskular dan Pemupukan Fosfat	Inokulasi CMA berpengaruh terhadap jumlah daun, jumlah cabang dan jumlah cabai. Pemupukan fosfat berpengaruh terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah cabang, jumlah cabai dan berat kering tajuk.
3	Murti <i>et al.</i> , 2024	Pengaruh PGPR dan Kompos terhadap	Terjadi interaksi nyata antara konsentrasi PGPR

		Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens</i> L.)	dan perbandingan tanah : kompos setiap parameter. Untuk bobot kering tajuk, panjang akar, dan jumlah buah terbaik didapatkan dengan perbandingan tanah : kompos (1:1) dan konsentrasi PGPR sebanyak 16 ml.
4	Lopita <i>et al.</i> , 2024	The Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on Gambier Seedlings' ( <i>Uncaria gambir</i> (Hunter) Roxb) Growth on Former Coal Mining Land	AMF membantu pertumbuhan tanaman Gambir pada tanah bekas tambang. Dosis AMF optimal yang dibutuhkan adalah 20 gram per tanaman.
5	Hayati <i>et al.</i> , 2024	Aplikasi Dosis Kompos Tithonia dan Konsentrasi PGPR Fluorane <sup>®</sup> terhadap Pertumbuhan dan Hasil Terung	Aplikasi kompos dan PGPR secara bersamaan dapat membantu tanaman terung menghasilkan bunga pertama dalam waktu yang cepat.

Hasil penelitian sebelumnya telah membahas aplikasi AMF, PGPR, serta kompos pada tanaman. Namun, penerapan kombinasi dari kompos, AMF, PGPR pada tanah bekas pengolahan tambang emas masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian terkait aplikasi kompos, AMF, dan PGPR pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) penting dilakukan untuk melihat potensi ketiganya dalam remediasi tanah serta penyerapan logam berat merkuri (Hg).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Lokasi**

Penelitian dilakukan dimulai dari bulan Desember 2024 hingga September 2025. Penelitian dilakukan dalam skala rumah kaca. Penelitian mencakup *sampling* tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat dan rangkaian penelitian skala rumah kaca yang terdiri dari persiapan semai tanaman, persiapan media tanam, penanaman semai, pengamatan dan pemanenan tanaman. Rumah kaca berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tanah bekas pengolahan tambang emas yang digunakan berasal dari tanah bekas pengolahan tambang emas tradisional di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut.

##### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Polybag
2. *Measuring tape*
3. *Caliper*
4. Timbangan analitik
5. Gelas ukur
6. Labu erlenmeyer
7. Pipet ukur
8. *Autoclave*
9. *Laminar air flow*
10. *Magnetic stirrer*
11. *Shaker*
12. AAS (*Automatic Absorption Spectrofotometry*)

13. ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric*)
14. Sendok
15. Botol
16. Plastik ukuran 1 kg

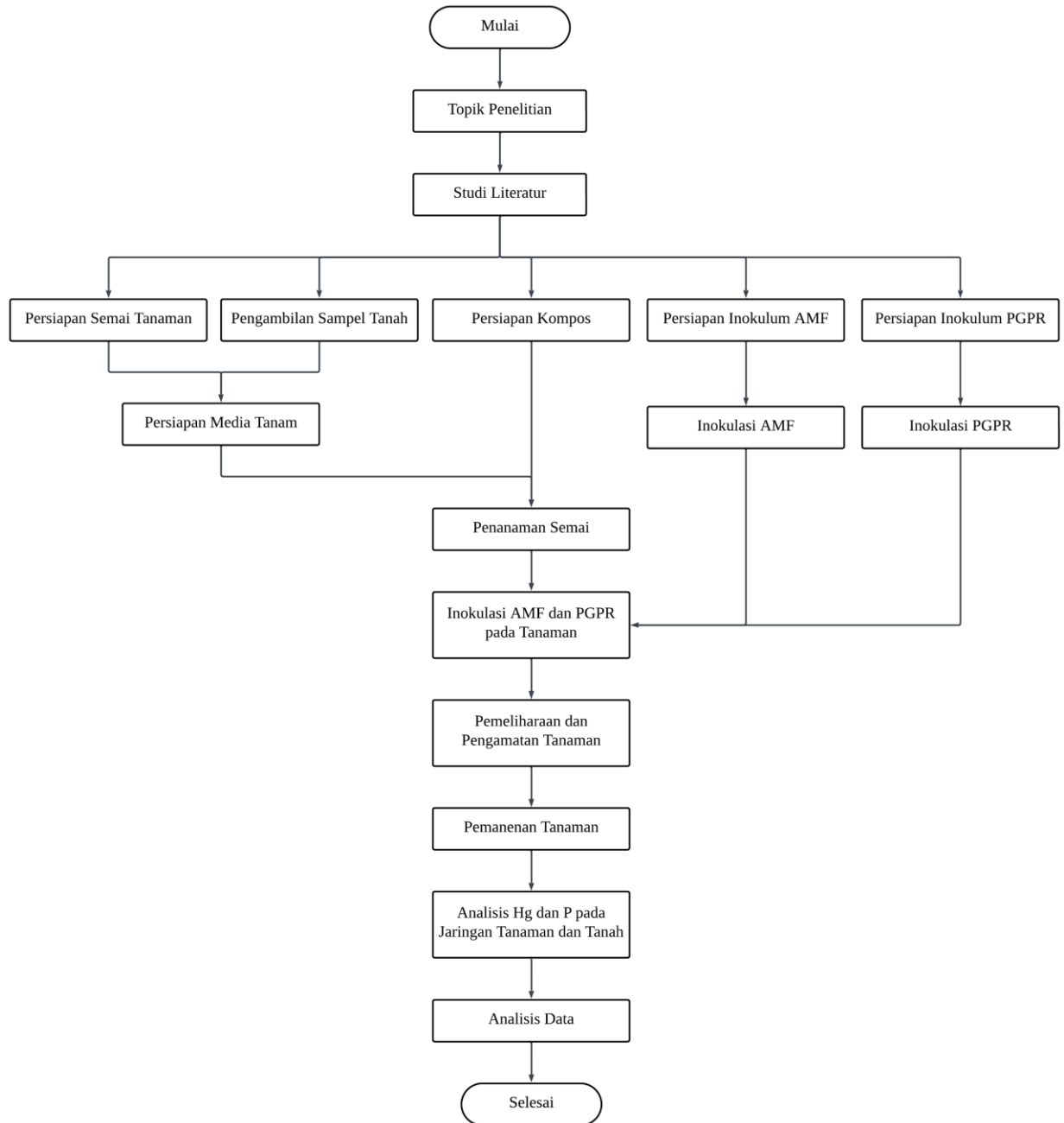
### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Semai tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)
2. Tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat
3. NaCl
4. HCl 25%
5. HNO<sub>3</sub>
6. Aquadest
7. Kompos
8. AMF (*Arbuscular Mycorrhizal Fungi*)
9. PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

### 3.3 Prosedur Penelitian

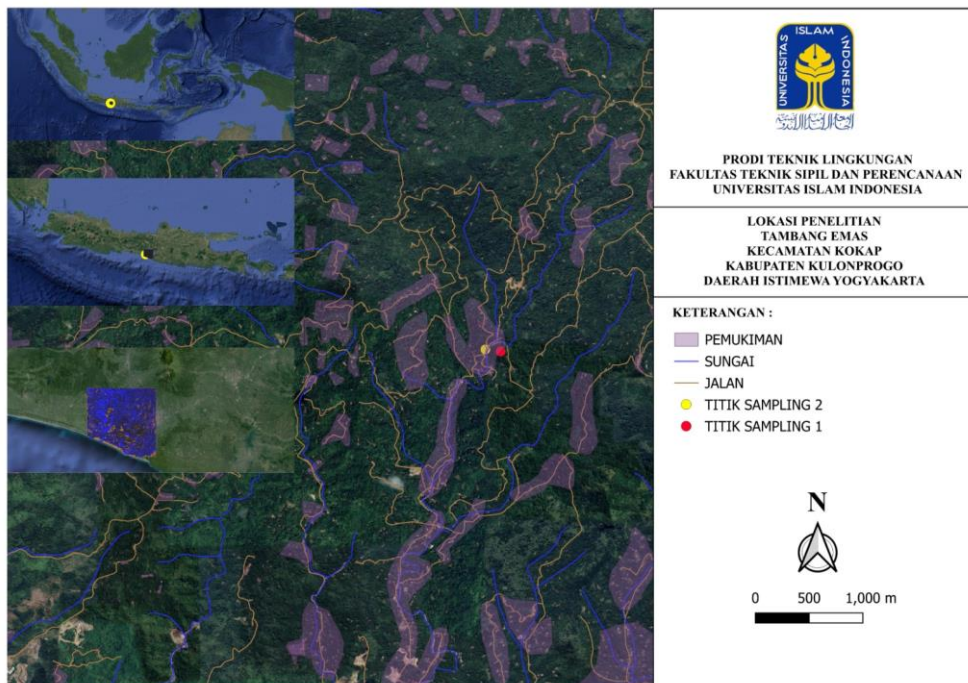
Prosedur penelitian dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

### 3.3.1 *Sampling* Tanah

Sampel tanah berasal dari lahan bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Titik *sampling* terdiri dari dua titik. Kedua titik tersebut merupakan *tailing* bekas pengolahan tambang emas rakyat yang sudah tidak beroperasi. Titik *sampling* 1 terletak di dekat peternakan kambing dan kebun milik warga yang tinggal di wilayah sekitar lokasi *sampling*. Sementara itu, titik *sampling* 2 terletak di area perhutanan serta lokasinya berada sejauh 15 m dari tepi sungai. Pengambilan sampel tanah menggunakan metode *grab sampling*. Metode *grab sampling* merupakan metode pengambilan sampel secara langsung dari badan tanah. Penggunaan metode ini dengan pertimbangan wilayah pengambilan sampel yang cukup sulit sehingga untuk menghemat waktu dilakukan pengambilan sampel secara *grab sampling*. Disamping itu, hal ini juga untuk mempermudah dalam pembuatan peta lokasi *sampling*. Gambar 3.2 berikut ini merupakan peta lokasi titik *sampling* yang dilakukan:



Gambar 3. 2 Peta Lokasi *Sampling*

### 3.3.2 Persiapan Semai Tanaman

Semai yang digunakan adalah semai tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Usia semai tanaman yang digunakan adalah 2 bulan dengan tinggi tanaman berkisar pada rentang 10-20 cm. Pemeliharaan tanaman dilakukan di rumah kaca yang berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman.

### 3.3.3 Persiapan Media Tanam dan Penanaman Semai

Tanah yang telah diambil, dilakukan proses sterilisasi di *green house* dengan menggunakan autoklaf selama 5 jam. Setelah proses sterilisasi selesai, tanah dapat dikeluarkan dari autoklaf. Langkah selanjutnya adalah homogenisasi tanah secara komposit. Tanah dari dua lokasi yang berbeda dicampur agar homogen serta membantu sampel dalam menghasilkan data pada titik lokasi tertentu sehingga mampu mewakili seluruh titik penelitian. Setelah tanah tercampur rata, maka dapat dilakukan penanaman semai cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

### 3.3.4 Persiapan Inokulum Mikroba

Penggunaan inokulum mikroba berupa *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) bertujuan untuk membantu pertumbuhan tanaman. Penggunaan inokulum pada tanaman membantu dalam proses pemenuhan kebutuhan nutrisi selama pertumbuhan dan memungkinkan terjadinya mobilisasi dan penyerapan kontaminan yang berada dalam tanah ke akar tanaman dan jaringan tanaman. Inokulasi mikroba berasal dari tanah yang berada di sekitar jaringan perakaran (rhizosfer) di lahan bekas tambang.

Persiapan inokulum AMF dilakukan dengan membuat semai tanaman sorgum dan media tanam zeolit. Tanaman sorgum disemai pada usia 2 minggu. Setelah itu, tanaman disiram setiap 3 hari sekali. Tanaman sorgum dapat dipanen setelah 3 bulan. Setelah dipanen, media zeolit disimpan dalam plastik untuk menghindari kontaminasi. Inokulasi AMF menggunakan spesies *Glomus clarum* yang didapat dari bekas tambang.

Inokulum PGPR dilakukan dengan budidaya mikroba pada media baru. Rekultur mikroba pada media NA (*Nutrient Agar*) dimasukkan ke dalam cawan petri pada alat *laminar air flow* agar tetap steril. Mikroba induk yang sudah dipindahkan ke dalam NA dibungkus dengan kertas sampul dan diinkubasi selama 24 jam. Lalu,

mikroorganismenya terpilih diambil dari media NA dan dimasukkan pada larutan *carrier* NaCl. Larutan kemudian dihomogenisasi menggunakan *shaker* pada kecepatan 130 rpm dan *magnetic stirrer* selama 24 jam (Wijaugi, 2022).

### 3.3.5 Inokulasi Mikroba

Tanah yang sudah disiapkan selanjutnya dilakukan penanaman semai ke media tanam. Penanaman dimulai dengan mencampurkan 450 gram tanah dengan 25 gram kompos. Kompos yang digunakan berasal dari kotoran kambing dengan kandungan N total sebesar 1,51%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total sebesar 1,6%, dan K<sub>2</sub>O total sebesar 5,93%. Setiap perlakuan memiliki jumlah ulangan sebanyak 11 tanaman. Fungsi dari banyaknya pengulangan adalah untuk meningkatkan reliabilitas pada pengukuran tanaman.

Metode yang digunakan pada inokulasi mengikuti metode penelitian (Wijaugi, 2022). Inokulasi AMF dilakukan dengan menambahkan inokulum AMF ke sekitar akar media tanam *Capsicum frutescens* L. sebanyak 25 gram. Inokulasi PGPR dilakukan dengan melubangi media tanam *Capsicum frutescens* L. sedalam 3-5 cm lalu dimasukkan 10 ml inokulum PGPR dan tanah ditutup kembali. Tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki perbandingan 88,2 % tanah bekas tambang, 4,9% kompos, 4,9% inokulum AMF, dan 2% inokulum PGPR.

Inokulasi AMF dengan PGPR diberi jeda waktu untuk memberikan kondisi optimal bagi mikroorganismenya untuk melakukan kolonisasi di dalam tanah. Tabel 3.1 merupakan tabel yang memuat jumlah ulangan tanaman pada setiap perlakuan.

Tabel 3. 1 Jumlah Perlakuan pada Penelitian

Perlakuan	Kode	Jumlah Tanaman
Kontrol	K	11
Kompos + AMF + PGPR	K1 + M + P	11

Tabel 3.2 di bawah ini merupakan tabel yang memuat perbandingan media tanam yang digunakan untuk masing-masing perlakuan tanaman.

Tabel 3. 2 Perbandingan Media Tanam pada Penelitian

Perlakuan	Kode	Perbandingan Media Tanam
Kontrol	K	500 gram tanah bekas tambang
Kompos + AMF + PGPR	K1 + M + P	450 gram tanah bekas tambang, 25 gram kompos, 25 gram inokulum AMF, 10 ml inokulum PGPR

### 3.3.6 Pemeliharaan dan Pengamatan Tanaman

Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan melakukan penyiraman tanaman setiap hari. Pengamatan tanaman dilakukan dengan melakukan pengukuran tinggi tanaman yang dilakukan dari leher akar ke batang atas. Pengukuran diameter batang tanaman dilakukan menggunakan *caliper* dengan cara menghitung 1 cm dari leher atas. Pengukuran tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali. Pengamatan tanaman dilakukan untuk menganalisis pengaruh dari perlakuan kompos, AMF, dan PGPR terhadap tanaman.

### 3.3.7 Pemanenan Tanaman

Tahap pemanenan tanaman dilakukan setelah 6 minggu atau 1,5 bulan penanaman. Pemanenan tanaman sebelumnya direncanakan untuk dilakukan setelah 12 minggu atau 3 bulan penanaman. Namun, pemanenan harus dilakukan lebih cepat dikarenakan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain adalah pH tanah yang sangat rendah dan adanya serangan jamur. Tanah yang memiliki pH rendah bersifat asam. pH tanah yang asam sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman karena pH mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan unsur hara. Tanaman memiliki kecenderungan untuk mengalami kematian yang disebabkan oleh rendahnya nilai pH tanah serta minimnya nutrisi bagi pertumbuhan tanaman. Apabila pemanenan tetap dilakukan sesuai perencanaan, maka besar kemungkinannya akan terjadi kegagalan panen.

Pemanenan dilakukan pada jaringan akar tanaman, daun, batang, serta tanah. Tanah yang sudah dipanen dicampur hingga homogen untuk masing-masing perlakuan. Sementara itu, jaringan tanaman yang sudah dipanen dipisahkan antara jaringan atas dan bawah. Setelah dipisah antara jaringan atas dan bawah, masing-

masing jaringan tanaman dicuci hingga bersih dan dikeringkan. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran biomassa pada jaringan tanaman. Biomassa yang diukur merupakan biomassa berat basah dan biomassa berat kering. Biomassa berat basah diukur menggunakan timbangan analitik. Setelah itu, jaringan tanaman disimpan dalam amplop untuk menghindari kontaminasi dan menjaga kondisi tanaman dalam keadaan baik. Pengukuran biomassa berat kering dilakukan dengan memasukkan jaringan tanaman ke dalam oven selama 72 jam dengan suhu 70°C agar dapat dikeringkan, lalu ditimbang kembali dengan timbangan analitik untuk mengetahui massanya setelah dikeringkan.

### **3.3.8 Analisis Parameter Merkuri (Hg) dan Nutrisi Fosfor (P)**

Parameter yang diuji pada penelitian adalah parameter logam merkuri (Hg) dan nutrisi fosfor (P). Parameter merkuri (Hg) dianalisis sesuai dengan acuan SNI 8910:2021 menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric* (ICP-OES). Prinsip uji yaitu logam yang tidak larut dalam air didestruksi dengan campuran asam nitrat dan hidrogen peroksida hingga membentuk logam terlarut. Logam terlarut selanjutnya diuji menggunakan ICP-OES. Nutrisi fosfor (P) dianalisis sesuai dengan acuan Petunjuk Teknik Edisi 3 Analisis Kimia Tanah, Tanaman Air dan Pupuk menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

### **3.4 Analisis Data**

Analisis data dilakukan dengan membandingkan beberapa media tanam. Penelitian ini menggunakan pendekatan standar deviasi. Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa sampel yang mendapatkan perlakuan berbeda dengan tanah sampel yang tidak mendapatkan perlakuan (tanah kontrol). Hasil data ditampilkan dalam bentuk statistik berupa grafik.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengaruh Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR sebagai Bahan Pembenh Tanah terhadap Pertumbuhan Tanaman *Capsicum frutescens* L.**

Pengamatan pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens* L. dilakukan setiap 2 minggu sekali dengan jangka waktu 6 minggu atau 1,5 bulan. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengukuran tinggi tanaman, diameter tanaman, jumlah daun, dan biomassa tanaman setelah diberikan perlakuan. Pengamatan ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh dari bahan pembenh tanah yaitu kompos, AMF, dan PGPR sebagai media tanam.

##### **4.1.1 *Survival Rate***

*Survival rate* atau tingkat kelangsungan hidup merupakan persentase jumlah tanaman dalam suatu populasi yang hidup setelah periode waktu tertentu dibandingkan dengan jumlah awal pada periode tersebut. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terdapat perbedaan tingkat kelangsungan hidup pada tanaman kontrol dengan tanaman yang diberi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Secara garis besar, tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki persentase *survival rate* yang lebih tinggi. Tingkat kelangsungan hidup tanaman yang diberi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki kecenderungan lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman kontrol.

Tanah bekas tambang umumnya bersifat asam dan memiliki kadar nutrisi yang rendah akibat dari aktivitas *leaching*. *Top soil* merupakan lapisan tanah paling atas yang kaya akan bahan organik. Pada tanah bekas tambang, lapisan ini biasanya tergerus akibat aktivitas *leaching*. Kondisi ini membuat tanah bekas tambang tidak cocok untuk pertumbuhan tanaman karena berpotensi meningkatkan mortalitas pada tanaman.

Pemberian kompos pada tanah mampu meningkatkan kadar nutrisi melalui penyediaan unsur hara makro dan mikro. Kompos dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan memperbaiki kerusakan sifat fisik pada tanah. PGPR turut berperan dalam meningkatkan *survival rate* tanaman sebab PGPR bersifat sebagai bioprotektan yang mana mampu melindungi tanaman dari patogen (Rai, 2006 dalam

Kamilla *et al*, 2013). Sebagaimana PGPR, AMF juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan resistensi tanaman terhadap kontaminan.

**Tabel 4.1** merupakan tabel *survival rate* dari perlakuan kontrol pada tanaman *Capsicum frutescens* L. Sebagai contoh, pada minggu ke-6 tanaman yang hidup berjumlah 2 tanaman dari total 11 tanaman dengan perlakuan kontrol. Maka, persentase *survival rate* pada minggu ke-6 adalah 18%.

Tabel 4. 1 Tabel *Survival Rate* Tanaman *Capsicum frutescens* L. Perlakuan Kontrol

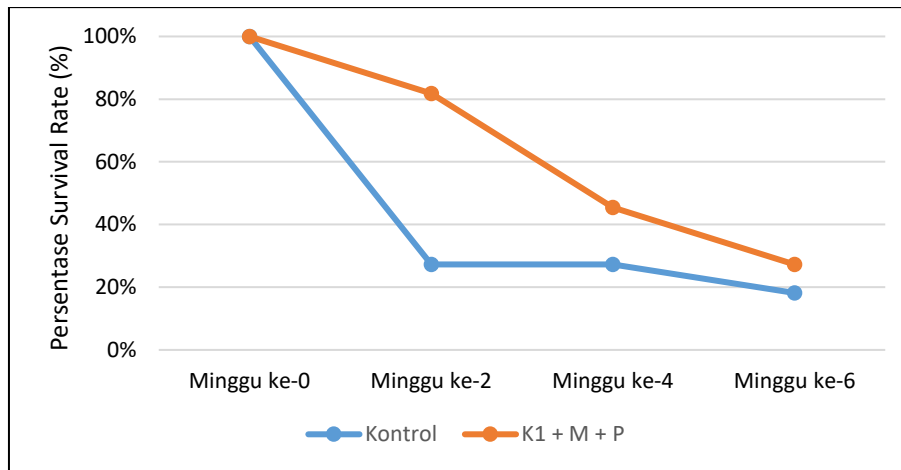
No	Tanaman Hidup	Tanaman Mati	Survival Rate (%)
Minggu ke-0	11	0	100%
Minggu ke-2	3	8	27%
Minggu ke-4	3	8	27%
Minggu ke-6	2	9	18%

**Tabel 4.2** merupakan tabel *survival rate* dari perlakuan kompos, AMF, dan PGPR pada tanaman *Capsicum frutescens* L. Sebagai contoh, pada minggu ke-6 tanaman yang hidup berjumlah 3 tanaman dari total 11 tanaman dengan perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Maka, persentase *survival rate* pada minggu ke-6 adalah 27%.

Tabel 4. 2 Tabel *Survival Rate* Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR

No	Tanaman Hidup	Tanaman Mati	Survival Rate (%)
Minggu ke-0	11	0	100%
Minggu ke-2	9	2	82%
Minggu ke-4	5	6	45%
Minggu ke-6	3	8	27%

Berikut ini merupakan grafik perbandingan *survival rate* tanaman antara perlakuan kontrol dengan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR.



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan *Survival Rate* Tanaman *Capsicum frutescens* L. antara Perlakuan Kontrol dengan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

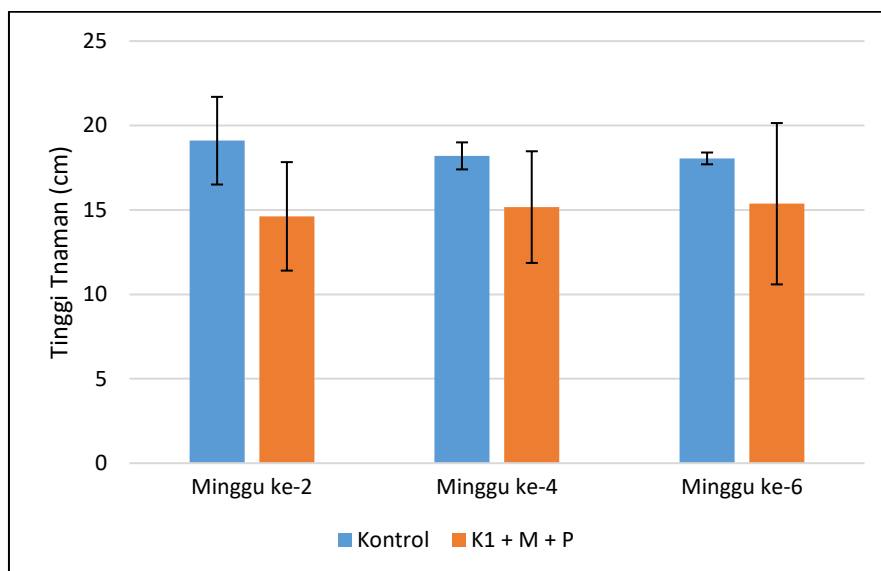
#### 4.1.2 Tinggi Tanaman

Dari hasil pengukuran tinggi tanaman terdapat perbedaan pertumbuhan tinggi tanaman antara perlakuan kontrol dengan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Perbedaan pertumbuhan tinggi tanaman mulai terlihat pada minggu ke-2 dan seterusnya. Tanaman dengan perlakuan kontrol mengalami penurunan tinggi. Sementara itu, tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR mengalami penambahan tinggi setiap 2 minggu. Hal ini menandakan bahwa kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki tendensi untuk meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman.

Pemberian kompos mampu meningkatkan ketersediaan kandungan unsur hara yang dapat membantu pertumbuhan tinggi tanaman. Kompos meningkatkan kemampuan tanah dalam penyerapan unsur hara dan air serta meningkatkan ketersediaan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman (Andri *et al.*, 2017). PGPR mengandung bakteri *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* yang dapat meningkatkan kelarutan P dalam tanah (Mulyana, 2016). Disamping itu, PGPR dapat merangsang pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon atau hormon pertumbuhan (Ollo *et al.*, 2019). Sama seperti PGPR, AMF turut meningkatkan penyerapan unsur hara dalam tanah (Rini *et al.*, 2017). AMF bersimbiosis dengan

jaringan akar tanaman untuk menciptakan ruang pertukaran nutrisi (Floss *et al.*, 2013).

**Gambar 4.2** merupakan grafik dari pertumbuhan tinggi tanaman *Capsicum frutescens* L. antara perlakuan kontrol dengan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Rata-rata tinggi tanaman dengan perlakuan kontrol pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 19,1 cm, 18,2 cm, dan 18,05 cm. Rata-rata tinggi tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 14,62 cm, 15,17 cm, dan 15,37 cm. Secara garis besar, tinggi tanaman dengan kombinasi bahan pembenah tanah memiliki tendensi untuk mengalami peningkatan setiap 2 minggu dibandingkan dengan tanaman kontrol. Namun, rata-rata tinggi tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR lebih kecil dari rata-rata tinggi tanaman dengan perlakuan kontrol. Hal ini disebabkan dari adanya perbedaan persebaran penggunaan tinggi tanaman dari kedua perlakuan.

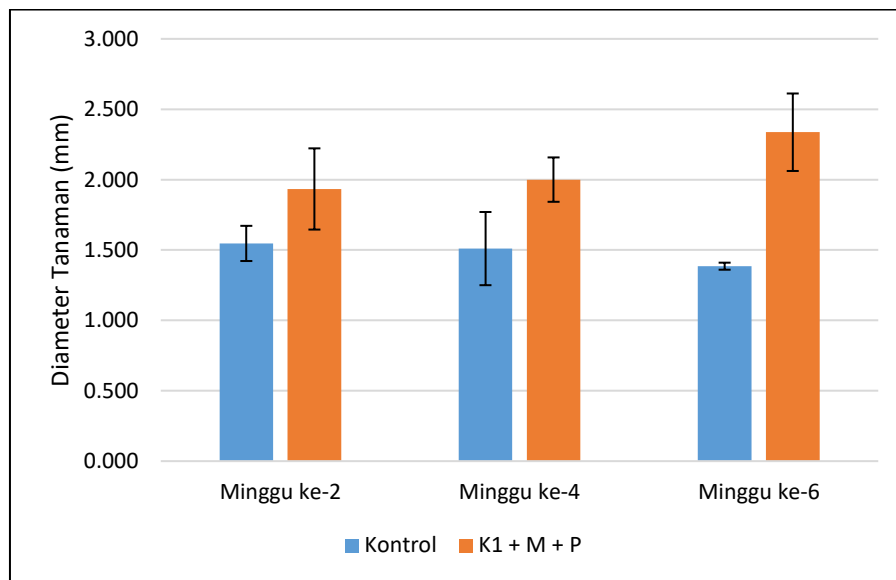


Gambar 4. 2 Grafik Perbedaan Tinggi Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

#### 4.1.3 Diameter Tanaman

Pertumbuhan diameter batang pada tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR mengalami peningkatan pada setiap minggunya. **Gambar 4.3** merupakan grafik dari pertumbuhan diameter tanaman *Capsicum frutescens* L. antara perlakuan kontrol dengan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Rata-rata

diameter tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 1,93 mm, 2 mm, dan 2,34 mm. Sementara itu, rata-rata diameter tanaman dengan perlakuan kontrol pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 1,55 mm, 1,51 mm, dan 1,39 mm. Terdapat perbedaan diameter tanaman pada perlakuan kontrol dan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Tanaman yang diinokulasi dengan AMF dan PGPR memiliki rata-rata diameter batang yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh peran dari kedua bahan pembenah tanah tersebut. Penambahan AMF mampu meningkatkan pertumbuhan batang melalui penyerapan zat hara yang lebih baik (Rini *et al.*, 2017). AMF memiliki kemampuan untuk melepas senyawa N<sub>2</sub> dan P dari senyawa organik (kompos). Sementara itu, PGPR membantu dalam menyediakan hormon pertumbuhan (fitohormon) pada tanaman dan memfasilitasi peningkatan penyerapan unsur hara bagi tanaman (Ollo *et al.*, 2019).



Gambar 4. 3 Grafik Diameter Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

#### 4.1.4 Jumlah Daun Tanaman

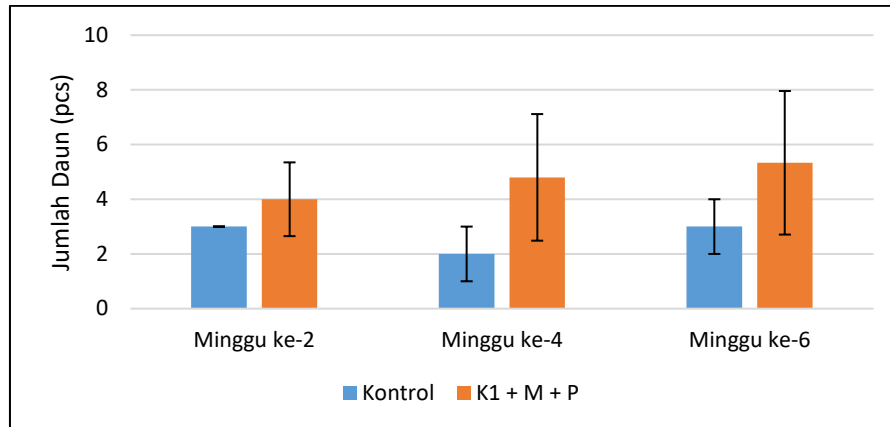
Jumlah daun menjadi parameter penting bagi pertumbuhan tanaman disamping tinggi dan diameter. Jumlah daun menunjukkan adanya peningkatan aktivitas fotosintesis, pertumbuhan organ baru, serta kemampuan penyerapan nutrisi yang lebih baik. Tanaman dengan unsur hara yang cukup akan memiliki jumlah daun

yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan lebih baik.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki rata-rata jumlah daun yang lebih banyak. Pertumbuhan jumlah daun tersebut dapat dilihat mulai dari minggu ke-2 hingga minggu ke-6. Sementara itu, tanaman dengan perlakuan kontrol mengalami penurunan jumlah daun pada minggu ke-4 dan mengalami peningkatan pada minggu ke-6. Adapun penurunan jumlah daun pada tanaman dengan perlakuan kontrol di minggu ke-4 disebabkan oleh beberapa faktor seperti terjangkit jamur tanaman dan cuaca. Hal ini menyebabkan kerontokan daun pada tanaman.

**Gambar 4.4** merupakan merupakan grafik dari pertumbuhan jumlah daun tanaman *Capsicum frutescens* L. antara perlakuan kontrol dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Rata-rata jumlah daun pada tanaman dengan perlakuan kontrol pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 3, 2, dan 3 buah. Sedangkan jumlah daun pada tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6 adalah 4, 5, dan 5 buah.

Tanah bekas tambang umumnya memiliki kadar nutrisi yang rendah. Hal ini menyebabkan penyerapan nutrisi yang rendah untuk pertumbuhan tanaman. Kondisi ini membuat pertumbuhan dan perkembangan tanaman di tanah bekas tambang terganggu. Penggunaan bahan pembenah tanah pada penelitian ini mampu membantu dalam meningkatkan jumlah daun tanaman. Kompos dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman (Banuwa *et al.*, 2020). Kompos mengandung nutrisi nitrogen, fosfor, dan kalium yang dibutuhkan oleh tanaman. AMF dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dari tanah, khususnya nitrogen, fosfor, dan kalium serta membantu dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fall *et al.*, 2023). AMF meningkatkan area serapan nutrisi lewat hifa-hifa yang menyelimuti perakaran tanaman. PGPR juga mampu mengoptimalkan penyerapan nutrisi tanaman dengan melakukan pelarutan fosfor.



Gambar 4. 4 Grafik Jumlah Daun Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

#### 4.1.5 Biomassa Tanaman

Biomassa tanaman *Capsicum frutescens* L. yang meliputi akar dan batang terdiri dari berat basah dan berat kering. Penimbangan biomassa berat basah dilakukan untuk mengetahui kandungan air tanaman saat panen. Biomassa berat kering didapatkan dari pengeringan jaringan tanaman menggunakan oven pada suhu 70°C selama 72 jam atau 3 hari. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar air pada tanaman.

**Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** merupakan grafik biomassa jaringan akar dan batang tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan perlakuan kontrol dan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Biomassa jaringan akar dan batang tanaman *Capsicum frutescens* L. pada kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR lebih besar dibandingkan dengan biomassa tanaman perlakuan kontrol. Terdapat perbedaan pada biomassa berat basah dan biomassa berat kering jaringan akar dan batang tanaman antara perlakuan kontrol dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR.

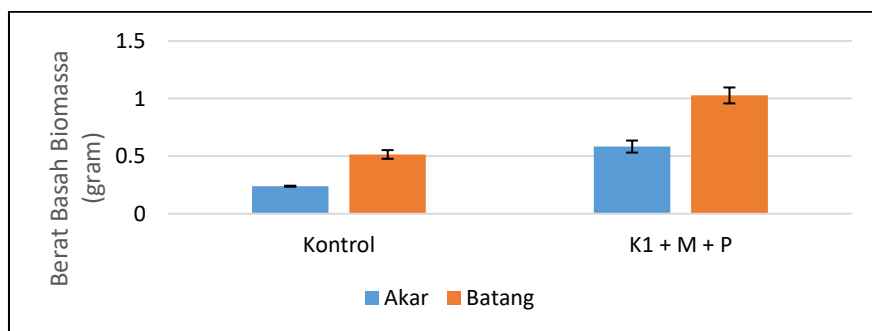
Berat basah biomassa jaringan batang tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR lebih besar dari pada perlakuan kontrol yakni sebesar 1,028 gram. Begitu pula dengan berat kering biomassa jaringan akar tanaman *Capsicum frutescens* L. Tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki berat yang lebih besar yakni 0.583 gram.

Berat kering biomassa jaringan batang tanaman *Capsicum frutescens* L. pada perlakuan kontrol sebesar 0,168 gram sementara pada tanaman dengan kombinasi

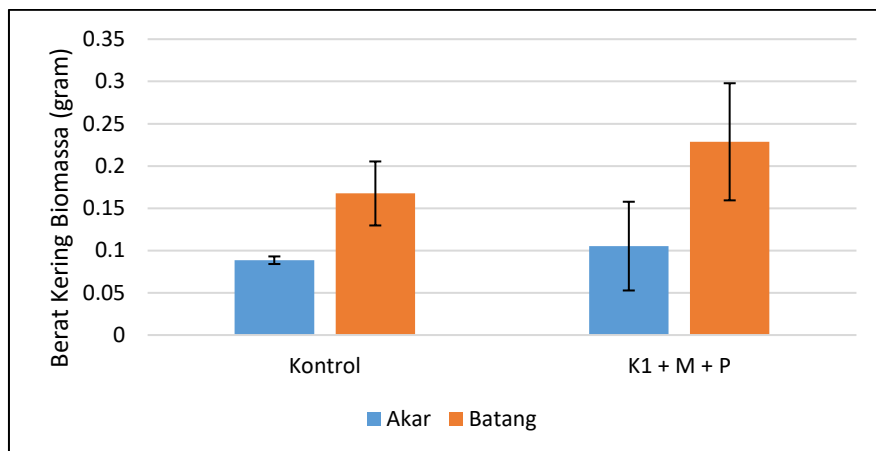
perlakuan kompos, AMF, dan PGPR sebesar 0,229 gram. Adapun berat kering biomassa jaringan akar tanaman *Capsicum frutescens* L. pada perlakuan kontrol sebesar 0,089 gram dan pada tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR sebesar 0,105 gram.

Kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR sebagai media tanam memberikan pengaruh pada berat biomassa tanaman. Tanaman yang diberi AMF cenderung memiliki biomassa yang lebih berat. AMF dapat meningkatkan penyerapan nutrisi esensial bagi tanaman yaitu fosfor dan nitrogen. Fosfor menyediakan energi bagi tanaman untuk melakukan biosintesis. PGPR dalam tanah membantu dalam melarutkan fosfor dengan lebih baik sehingga penyerapan fosfor bagi tanaman bisa terjadi lebih cepat.

Pemberian kompos dapat meningkatkan ketersediaan bahan organik dalam tanah. Hal ini membuat tanah menjadi lebih gembur. Tanah yang gembur meningkatkan kemampuan akar untuk melakukan penyerapan air dan unsur hara lainnya menjadi lebih baik. Disamping itu, peran AMF dan PGPR membantu pertumbuhan tanaman dengan cara penyerapan nutrisi yang lebih baik. Penyerapan nutrisi yang lebih baik membantu tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki biomassa yang lebih besar dibandingkan dengan tanaman dengan perlakuan kontrol.



Gambar 4. 5 Grafik Berat Basah Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens* L.dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR



Gambar 4. 6 Grafik Berat Kering Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

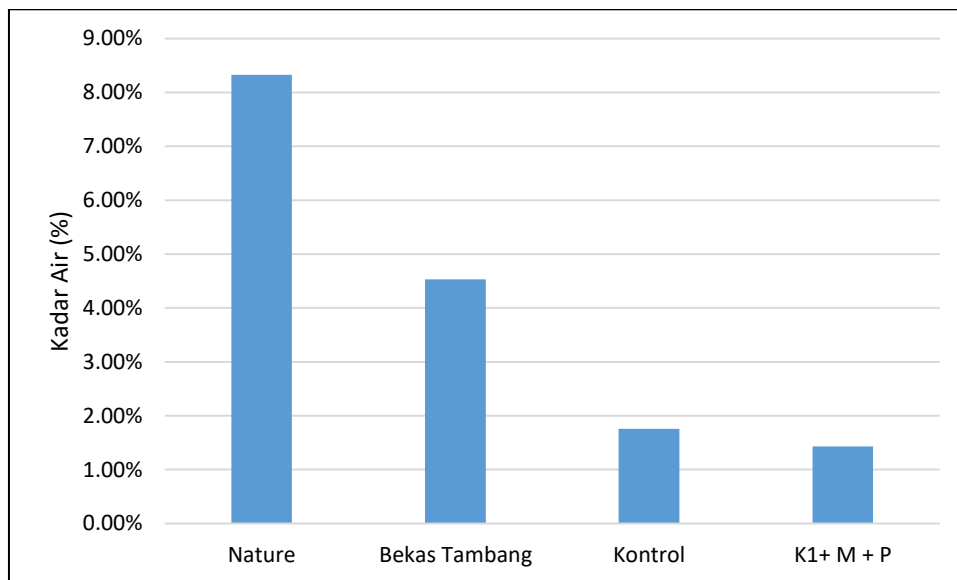
#### 4.1.6 Kadar Air

Kadar air berhubungan erat dengan kesuburan tanah. Tanah bekas tambang emas umumnya memiliki kadar air yang rendah. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya kemampuan tanah dalam menahan air karena adanya aktivitas tambang di masa lampau. Aktivitas tambang menyebabkan kerusakan pada struktur fisik tanah yang dapat menurunkan kemampuan tanah dalam menahan air dan udara (Wulandari *et al.*, 2022).

**Gambar 4.7** merupakan grafik perbandingan kadar air pada tanaman *Capsicum frutescens* L. pada tanah nature, bekas tambang, perlakuan kontrol dan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Tanah nature memiliki kadar air tertinggi yakni sebesar 8,33%. Tanah bekas tambang memiliki kadar air sebesar 4,53%. Kadar air pada tanaman dengan perlakuan kontrol adalah 1,76%. Sementara itu, kadar air pada tanaman dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR adalah 1,43%.

Jika dibandingkan dengan tanah nature atau yang memiliki kondisi tanah yang sehat, kadar air tanah dengan kombinasi perlakuan kompos AMF, dan PGPR tentu amat sangat rendah. Apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol, kadar air pada tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR juga tidak jauh berbeda. Kadar air yang rendah dapat disebabkan oleh kerusakan struktur fisik tanah. Penambahan kompos belum dapat meningkatkan kesuburan secara optimal bagi tanah. Hal ini berpengaruh pada rendahnya perbaikan struktur fisik tanah. Selain itu, keberadaan senyawa sulfat dalam tanah juga dapat mempengaruhi kemampuan tanah

dalam menahan air. Ketika kadar air tanah rendah, maka oksigen dalam tanah berlimpah. Saat kadar oksigen berlimbah, maka proses oksidasi dalam tanah akan meningkat. Tanah bekas pengolahan tambang emas memiliki senyawa mineral sulfida. Senyawa asam sulfat akan terbentuk ketika mineral sulfida bereaksi dengan oksigen. Kandungan sulfat dalam tanah dapat mempengaruhi pH tanah. pH tanah yang asam mempengaruhi ketersediaan unsur hara serta aktivitas mikroba dalam tanah.



Gambar 4. 7 Grafik Kadar Air Tanaman *Capsicum frutescens* L. pada Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol, dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

## 4.2 Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Nutrisi Fosfor (P)

### 4.2.1 Kadar $P_2O_5$ dalam Tanah

$P_2O_5$  merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk menunjukkan jumlah fosfor dalam tanah bagi tanaman. Kandungan  $P_2O_5$  membantu dalam memastikan tanaman mendapatkan nutrisi fosfor yang diperlukan. Tanah bekas lahan tambang cenderung memiliki kadar fosfor yang rendah. Fosfor yang tersedia dalam tanah sering tidak tersedia karena terikat oleh logam. Penggunaan kompos, AMF, dan PGPR sebagai media tanam dapat membantu melarutkan, memobilisasi, dan meningkatkan serapan fosfor oleh tanaman. **Tabel 4.3** merupakan standar baku mutu ketersediaan  $P_2O_5$  dalam tanah menurut BPT (2009).

Tabel 4. 3 Standar Baku Mutu Ketersediaan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam Tanah

Kadar P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Kategori
< 10	Sangat rendah
10 – 20	Rendah
20 – 40	Sedang
40 – 60	Tinggi
> 60	Sangat Tinggi

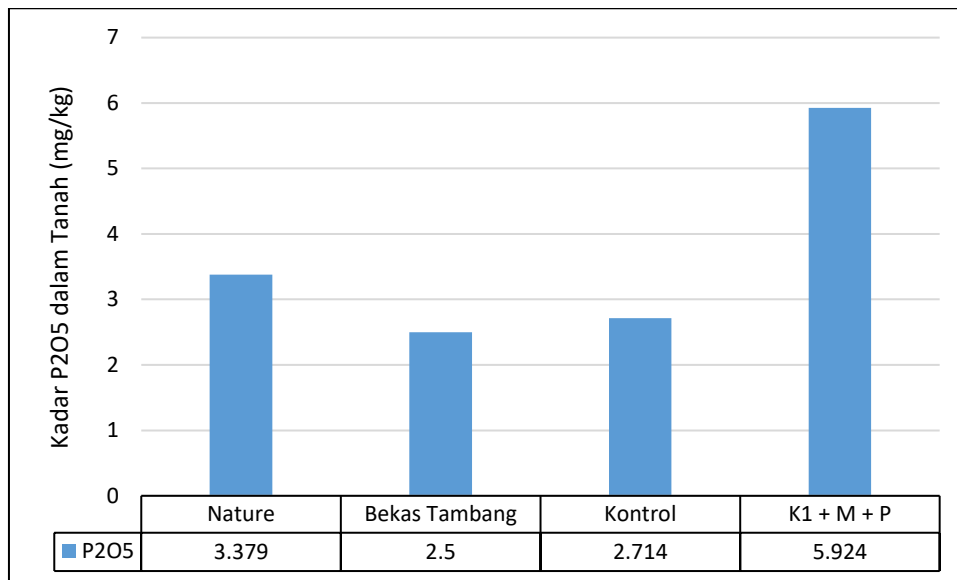
**Gambar 4.8** merupakan grafik perbandingan kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam tanah nature, bekas tambang, kontrol, serta kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Tanah kontrol memiliki kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sebesar 2,714 mg/kg. Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada tanah nature adalah 3,379 mg/kg. Adapun tanah bekas tambang memiliki kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> paling rendah yaitu sebesar 2,5 mg/kg. Sementara itu, tanah dengan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR memiliki kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yang paling tinggi yakni sebesar 5,294 mg/kg. Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki kecenderungan lebih tinggi dibandingkan dengan tanah kontrol. Meski begitu, kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> masih tergolong sangat rendah dalam tanah.

Kompos mengandung bahan organik. Kompos menjadi sumber energi bagi mikroba dalam tanah. Mikroba akan memecah P-organik menjadi P-anorganik (ortofostat) yang dapat diserap tanaman. Penambahan kompos dapat memperkaya komunitas mikroba dalam tanah yang membuat kadar ortofosfat meningkat. Kompos mengandung gugus -COOH yang memiliki kemampuan dalam khelat logam Al dan Fe dalam tanah. Khelat gugus -COOH dengan logam akan mencegah pengikatan P dengan logam.

AMF berperan dalam memobilisasi dan meningkatkan kadar fosfor dalam tanah. Hifa eksternal AMF membantu menjangkau P yang berada di luar zona akar. AMF memiliki kemampuan untuk melepaskan enzim fosfatase yang dapat menghidrolisis P organik serta enzim fitase yang memecah P-organik kompleks menjadi P-anorganik tersedia. AMF juga dapat meningkatkan kelarutan P dengan mengeluarkan asam organik. Disamping itu, AMF dapat memobilisasi P dalam tanah secara langsung melalui arbuskula yang terdapat di permukaan akar tanaman.

Pemberian PGPR dapat meningkatkan kelarutan P dalam tanah dengan mengeluarkan asam organik seperti asam sitrat, asam glukonat dan asam oksalat yang membantu melarutkan P terikat serta melepaskan ortofosfat ke tanah. PGPR

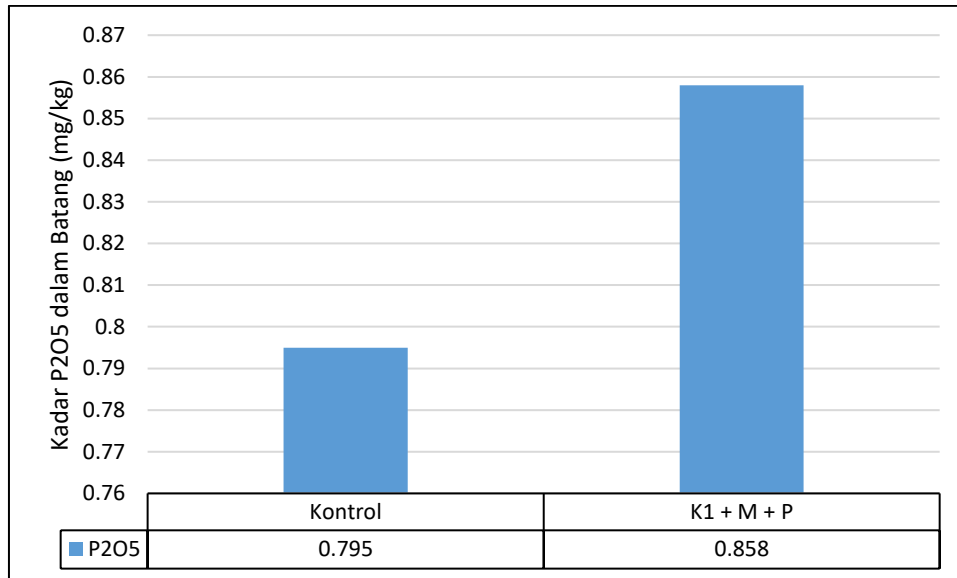
turut merangsang pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon yang menyebabkan area penyerapan P meningkat.



Gambar 4. 8 Grafik Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

#### 4.2.2 Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam Jaringan Tanaman

**Gambar 4.9** menunjukkan grafik perbandingan kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam jaringan tanaman atas (batang) pada tanaman kontrol dan kombinasi kompos, AMF, dan PGPR. Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada jaringan tanaman kontrol adalah sebesar 0,795 mg/kg. Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada jaringan tanaman kombinasi kompos, AMF, dan PGPR adalah sebesar 0,858 mg/kg. Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada kedua sampel tidak jauh berbeda. Hal ini menandakan bahwa penyerapan fosfor tidak terdistribusi dengan baik pada jaringan tanaman. Kondisi ini bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pH tanah, ketersediaan bahan organik, serta unsur hara lainnya (Siswanto, 2019). Tanah yang asam atau memiliki pH rendah umumnya dapat meningkatkan senyawa toksik pada tanaman yang membuat ketersediaan fosfor terganggu (Hartanti, 2021). Tabel 4.4



Gambar 4. 9 Grafik Kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dalam Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

### 4.3 Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Logam Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan logam non esensial yang pada tingkat tertentu dapat berubah sifatnya menjadi toksik bagi makhluk hidup. Tanah bekas pengolahan tambang emas tidak lepas dari kontaminasi logam berat tersebut. Hal ini berkaitan dengan proses ekstraksi emas yang memanfaatkan logam berat merkuri (Hg). Kontaminasi logam berat di lingkungan dapat menurunkan kualitas lingkungan. **Tabel 4.4** merupakan standar regulasi terkait logam berat merkuri dalam tanah.

Tabel 4. 4 Standar Kandungan Logam Berat Merkuri pada Tanah

Logam	Kisaran normal (mg/kg)	Konsentrasi kritis (mg/kg)
Merkuri (Hg)	0,01 – 0,3	0,3 – 0,5

Sumber : Alloway (1995)

**Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12** merupakan grafik perbandingan kadar Hg dalam tanah dan jaringan tanaman. Berdasarkan Gambar 4.10, kadar Hg paling rendah terdapat pada tanah nature yakni sebesar 1,71 mg/kg. Kadar Hg paling besar terdapat pada tanah kontrol yaitu sebesar 45,20 mg/kg. Kadar Hg pada tanah bekas tambang adalah 44,40 mg/kg. Kadar Hg pada tanah dengan perlakuan kompos, AMF, dan PGPR sebesar 36,75 mg/kg. Kadar Hg dalam tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki tendensi lebih rendah dibandingkan dengan tanah kontrol.

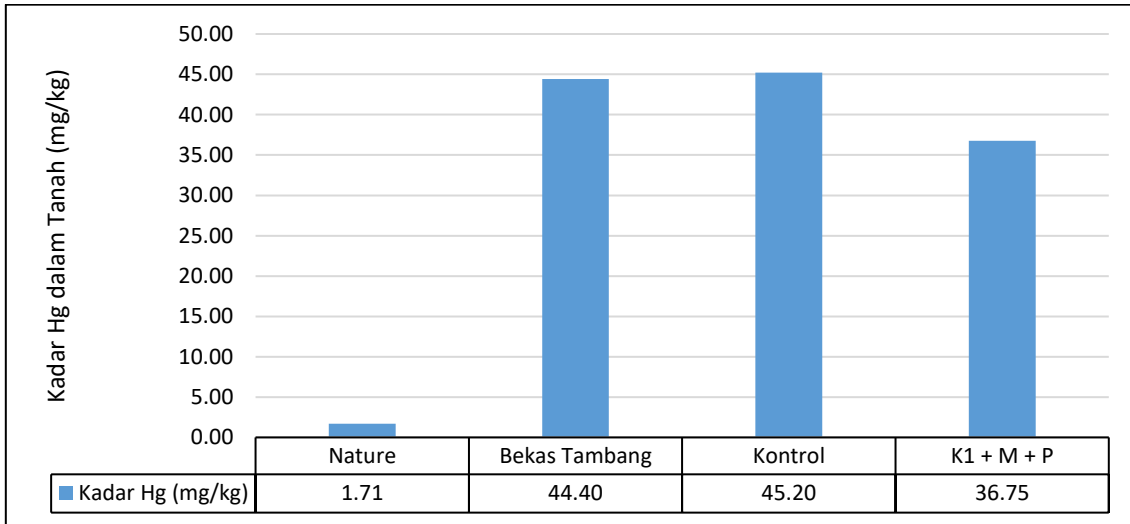
Di dalam kompos terdapat bahan organik yang mengandung gugus fungsional yang mampu mengikat merkuri. Ikatan tersebut akan membentuk senyawa kompleks organo-merkuri yang tidak larut dan sulit diserap tanaman. Kompos mengandung humus yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi logam merkuri melalui mekanisme adsorpsi fisik dan kimia. Proses adsorpsi terjadi ketika partikel logam menempel pada permukaan partikel organik kompos. Proses ini akan menurunkan mobilitas logam dalam tanah. Adsorpsi fisik terjadi melalui ikatan gaya Van der Waals. Adsorpsi kimia terjadi melalui ikatan kovalen. Penambahan kompos meningkatkan pH yang membuat kelarutan logam merkuri menjadi berkurang.

AMF memiliki potensi dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai kondisi stres abiotik, salah satunya disebabkan oleh kontaminan (Lenoir *et al*, 2016). AMF meningkatkan penyerapan nutrisi P dan N yang membuat fisiologis tanaman menjadi lebih kuat sehingga tanaman lebih toleran terhadap kontaminan. AMF memiliki kemampuan dalam penyerapan logam berat dari tanah ke akar tanaman melalui penyerapan ion. Hifa eksternal AMF akan mengikat Hg pada dinding sel. Dinding hifa memiliki gugus -COOH, -OH, dan -NH<sub>2</sub> yang mampu menyerap logam berat. AMF yang berada pada permukaan akar membatasi masuknya Hg kembali dalam tanah melalui perubahan struktur akar dan peningkatan serapan eksternal.

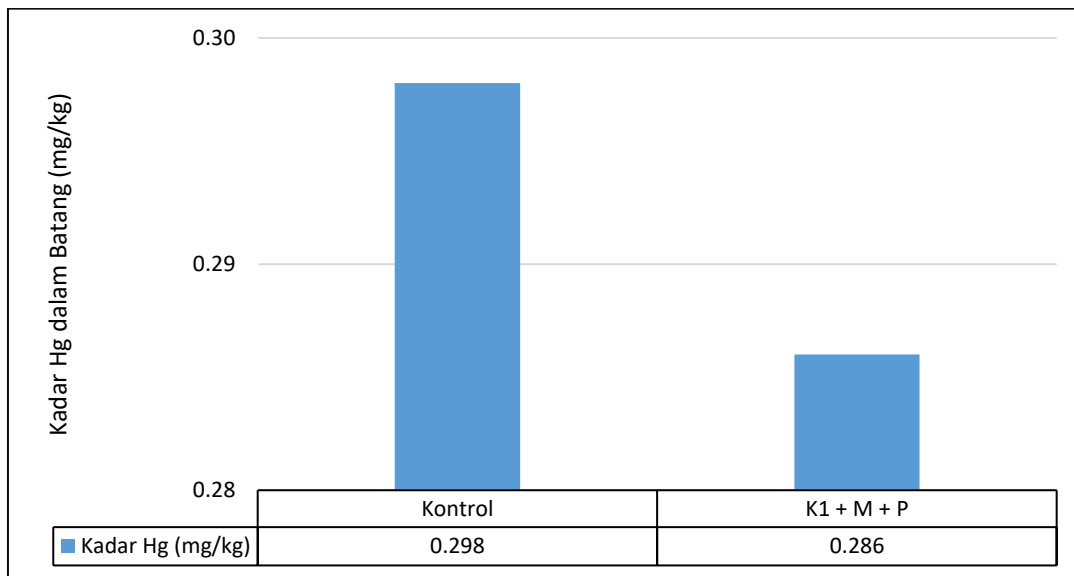
Penambahan PGPR berpengaruh pada penyerapan logam berat melalui jaringan perakaran tanaman. Koloni bakteri memiliki kemampuan dalam katalisasi logam Hg menjadi bentuk volatil. Hg yang tidak larut dan volatil akan keluar dari dalam tanah yang menyebabkan toksisitas logam berkurang. PGPR merangsang pembentukan hormon pertumbuhan akar seperti IAA, sitokinin, dan giberelin yang membuat tanaman toleran terhadap kandungan logam dalam tanah.

Meskipun kadar Hg dalam tanah dengan kombinasi kompos dan mikroba memiliki kecenderungan lebih rendah, kadar logam Hg pada tanah masih melebihi standar ambang batas yang diperbolehkan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat dalam tanah. Salah satu faktor yang paling berpengaruh adalah belum optimalnya pembentukan hifa AMF dalam tanah. AMF membutuhkan setidaknya 3 bulan agar bisa terbentuk hifa yang sempurna. Pada kondisi konsentrasi logam berat yang melimpah, AMF membentuk hifa yang dapat menginfeksi akar sebagai bentuk perlindungan di akar. Pada hifa AMF terdapat misellium yang mampu menyerap logam

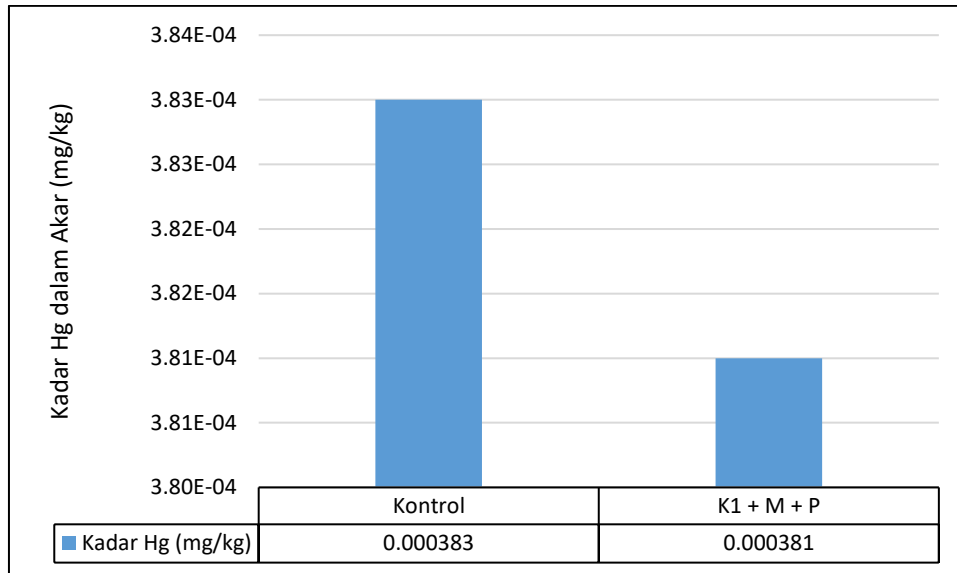
berat (Kullu *et al.*, 2020). Misellium mencegah logam berat kembali dalam tanah dengan melakukan pertukaran ion pada akar. Faktor lain yang dapat mempengaruhi rendahnya penyerapan logam Hg adalah pH tanah. pH tanah yang rendah dapat menurunkan potensi pengikatan logam berat secara drastis (Schulin *et al.*, 1995).



Gambar 4. 10 Grafik Kadar Hg dalam Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR



Gambar 4. 11 Grafik Kadar Hg dalam Jaringan Batang Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR



Gambar 4. 12 Grafik Kadar Hg dalam Jaringan Akar Tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

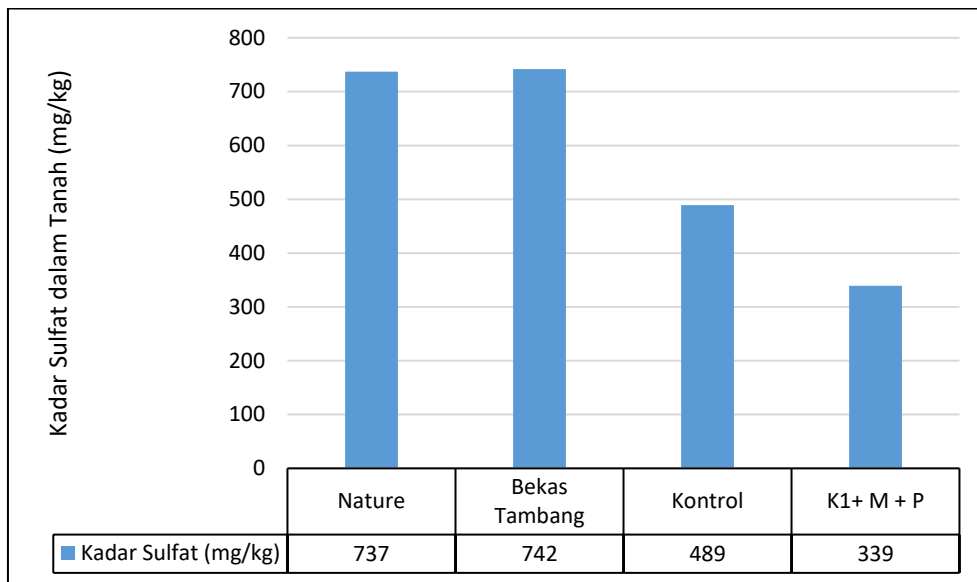
#### 4.4 Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap Kadar Sulfat dalam Tanah

Sulfat merupakan bentuk sulfur dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sulfur termasuk dalam unsur hara makro sekunder bagi tanaman. Ketersediannya dipengaruhi oleh pH, kadar air, dan aktivitas mikroba. Pada tanah bekas tambang emas, keberadaan sulfat sangat berlimpah. Kondisi ini umumnya dapat menyebabkan tanah bersifat asam dan memiliki pH rendah. Kadar sulfat yang tinggi pada tanah bekas tambang disebabkan oleh oksidasi pirit yang melepaskan asam sulfat.

**Gambar 4.13** menunjukkan grafik perbandingan kadar sulfat dalam tanah nature, bekas tambang, kontrol, dan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Tanah bekas tambang memiliki kadar sulfat tertinggi yakni sebesar 742 mg/kg. Tanah nature memiliki kadar sulfat sebesar 737 mg/kg. Tanah kontrol memiliki sulfat dengan kadar sebesar 489 mg/kg. Tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki kadar sulfat terkecil yakni sebesar 339 mg/kg. Kadar sulfat dalam tanah yang diberikan perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki tendensi lebih rendah dibandingkan dengan ketiga sampel uji.

Pemberian kompos pada tanah meningkatkan bahan organik dalam tanah. Kondisi ini dapat memperbaiki aerasi dan kelembapan tanah yang menyebabkan tanah memiliki kondisi reduktif (anaerob). Dalam kondisi reduktif, mikroba pereduksi sulfat akan

memanfaatkan bahan organik dari kompos sebagai sumber energi dan mereduksi sulfat menjadi sulfida. Keberadaan AMF pada akar tanaman membantu penyerapan sulfat melalui hifa eksternal. Sulfat yang diserap oleh akar tanaman digunakan sebagai sumber sulfur dan akan diubah menjadi asam amino sulfur. Peningkatan sulfat ke jaringan tanaman akan mengurangi kadar sulfat dalam tanah. Sementara itu, PGPR seperti *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* Dapat menghasilkan enzim reduktif dan meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah. PGPR juga berfungsi menghasilkan fitohormon seperti IAA, sitokinin, dan giberelin yang membuat penyerapan sulfat meningkat.



Gambar 4. 13 Grafik Kadar Sulfat dalam Tanah dengan Perlakuan Kontrol dan Kombinasi Kompos, AMF, dan PGPR

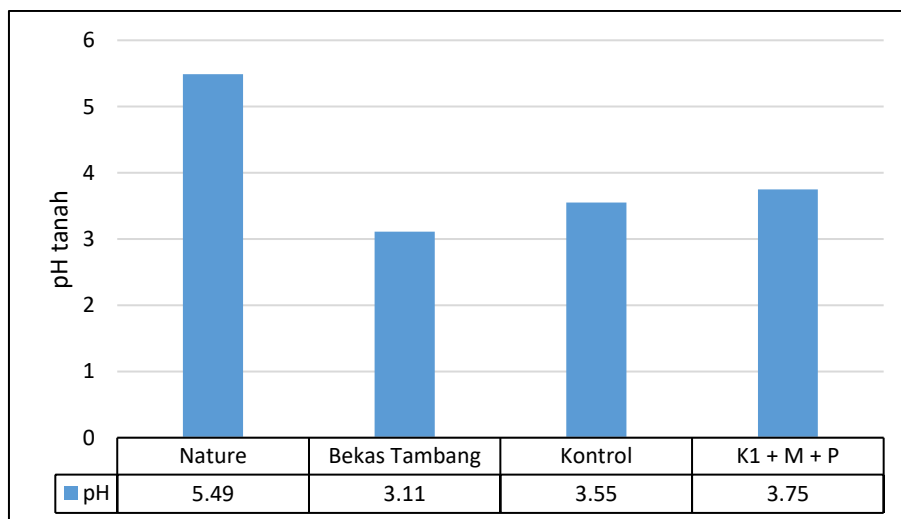
#### 4.5 Pengaruh Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR terhadap pH Tanah

pH merupakan ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan. Skala pH berkisar pada rentang 0 hingga 14. pH tanah menjadi indikator penting yang menunjukkan kondisi media pertumbuhan tanaman (Li *et al*, 2017). pH optimal bagi pertumbuhan tanaman berkisar antara 6 – 7,5. Tanah bekas lahan tambang memiliki karakteristik bersifat asam dan memiliki pH yang rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya erosi dan hilangnya lapisan *top soil* pada tanah akibat aktivitas tambang.

**Gambar 4.14** menunjukkan grafik perbandingan kadar pH dalam tanah nature, bekas tambang, kontrol, dan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR. Berdasarkan grafik, tanah bekas tambang memiliki nilai pH paling rendah yakni sebesar 3,11. Tanah nature memiliki nilai pH yang paling tinggi diantara semua sampel yakni

sebesar 5,49. Tanah dengan perlakuan kontrol memiliki nilai pH sebesar 3,55. Sementara itu, tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki nilai pH sebesar 3,75. Nilai pH tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan tanah dengan perlakuan kompos, AMF, dan PGPR cenderung asam. Kondisi tanah yang asam tidak cocok untuk pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat berdampak negatif pada kelangsungan hidup dan pertumbuhan tanaman. Tanah yang bersifat asam mampu meningkatkan kelarutan unsur toksik dan menurunkan ketersediaan nutrisi fosfor. Meski begitu, nilai pH tanah dengan kombinasi perlakuan kompos, AMF, dan PGPR memiliki tendensi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pH tanah bekas tambang dan perlakuan kontrol.

Kompos mengandung unsur-unsur hara esensial yang mampu meningkatkan kesuburan tanah. Penambahan kompos yang kaya akan bahan organik dapat meningkatkan pH tanah. PGPR juga memiliki kemampuan dalam meningkatkan kesuburan tanah. PGPR membentuk koloni bakteri di sekitar akar yang membantu dalam mengurai bahan organik lebih cepat di dalam tanah sehingga tanah menjadi lebih subur. Keberadaan AMF dalam tanah membentuk simbiosis dengan akar tanaman yang menghasilkan kolonisasi hifa-hifa jamur pada jaringan perakaran. Pemberian AMF membuat tanaman lebih resisten terhadap pH yang asam sebab AMF memiliki karakteristik mampu bertahan hidup dengan baik pada kondisi pH asam dan kekurangan unsur hara. Mikoriza dapat hidup dalam kondisi ekstrem dengan menghasilkan asam-asam organik dan P-terfiksasi.



Gambar 4. 14 Grafik Nilai pH Tanaman *Capsicum frutescens* L. pada Tanah Nature, Bekas Tambang, Perlakuan Kontrol, dan Kombinasi Perlakuan Kompos, AMF, dan PGPR

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) memiliki potensi untuk meningkatkan laju pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens* L. di tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kombinasi perlakuan tersebut memiliki tendensi untuk meningkatkan tinggi tanaman, diameter tanaman, dan jumlah daun.
2. Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) memiliki tendensi dalam penyerapan logam merkuri (Hg) pada tanaman *Capsicum frutescens* L. di tanah bekas pengolahan tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan dosis pada mikroorganisme AMF dan PGPR untuk mengetahui variasi kerja.
2. Tanaman diletakkan di tempat yang teduh dan tidak terkena sinar matahari secara intens karena berpengaruh pada kondisi tanaman.
3. Perpanjangan durasi penelitian agar data yang dihasilkan bisa lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andri, R. K., & Wawan, W. 2017. Pengaruh pemberian beberapa dosis pupuk kompos (greenbotane) terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.) di pembibitan utama. *Jurnal online mahasiswa (jom) bidang pertanian*. 4(2), 1-14.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kabupaten Kulon Progo dalam Angka 2024*.
- Banuwa I.S., Hidayat K.F., Zulkarnain I., Sanjaya P., Afandi, and Rahmat A., Soil Loss and Cassava Yield Under Ridge Tillage in Humid Tropical Climate of Sumatera, Indonesia. *International Journal of Geomate*, Vol. 18, Issue. 67, 2020, pp.1-7.
- Basu, A., et al. (Eds.). (2021). *Diagrammatic Representation and Inference: 12th International Conference, Diagrams 2021, Virtual, September 28–30, 2021, Proceedings*. Springer.
- Ch'ng, H. Y., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. A. (2014). Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. *Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2014/506356>
- Dieta, F. M., Ikbal, B. F., & Zakaria. (2018). Respon pertumbuhan dan produksi tanaman cabe (*Capsicum annum* L.) pada pemberian PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). *JATT Jurnal Agroteknotropika*, 7(1).
- Fall, A.F.; Nakabonge, G.; Ssekandi, J.; Founoune-Mboup, H.; Badji, A.; Ndiaye, A.; Ndiaye, M.; Kyakuwa, P.; Anyoni, O.G.; Kabaseke, C.; et al. Combined Effects of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and NPK Fertilizer on Growth and Yields of Maize and Soil Nutrient Availability. *Sustainability* 2023, 15, 2243. <https://doi.org/10.3390/su15032243>
- Floss, D.S.; Levy, J.G.; Lévesque-Tremblay, V.; Pumplin, N.; Harrison, M.J. DELLA Proteins Regulate Arbuscule Formation in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2013, 110, E5025–E5034.
- Ge, S. B., Jiang, X. C., Wang, L. Y., Yu, J. Q., & Zhou, Y. H. (2020). Recent advances in the role and mechanism of arbuscular mycorrhiza-induced improvement of

- abiotic stress tolerance in horticultural plants. *Acta Horticulturae Sinica*, 47, 1752–1776.
- Ghaisani, A. R., Lukiwati, D. R., & Mansur, I. (2020). Respon pertumbuhan dan hasil cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) akibat inokulasi cendawan mikoriza arbuskular dan pemupukan fosfat. *J. Agro Complex*, 4(1), 1–7.
- Gurikar, C., Naik, M. K., & Sreenivasa, M. Y. (2016). Azotobacter: PGPR activities with special reference to the effect of pesticides and biodegradation. In *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity, 1: Research Perspectives* (pp. 229–244). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_13)
- Hartati, R.D., 2021. **Pengaruh pemberian bakteri pelarut fosfat pada berbagai pH tanah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr).** JA-CROPS (Journal of Agrotechnology and Crops Science), 1(1).
- 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>
- Kamila, Q.A., T. Hadiastono dan M. Martosudiro. 2013. Penggunaan PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Terhadap Intensitas Tmv (Tobacco Mosaic Virus), Pertumbuhan dan Produksi Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L) Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Universitas Brawijaya.
- Kusdarini, E., Malik, A., Utamakno, L., & Budianto, A. (2021). Sebaran cemaran Hg di kawasan pertambangan emas rakyat menggunakan metode inverse distance weight. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 8(2).
- Lenoir, I.; Fontaine, J.; Lounès-Hadj Sahraoui, A. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Responses to Abiotic Stresses: A Review. *Phytochemistry* 2016, 123, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- Lemessa, F., Simane, B., Seyoum, A., & Gebresenbet, G. (2022). Analysis of the concentration of heavy metals in soil, vegetables and water around the Bole Lemi industry park, Ethiopia. *Heliyon*, 8(12), e12429. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12429>
- Li, R.; Tao, R.; Ling, N.; Chu, G. Chemical, Organic and Bio-Fertilizer Management Practices Effect on Soil Physicochemical Property and Antagonistic Bacteria

- Abundance of a Cotton Field: Implications for Soil Biological Quality. *Soil Tillage Res.* 2017, 167, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.001>
- Listiyani, N. (2017). Dampak pertambangan terhadap lingkungan hidup di Kalimantan Selatan dan implikasinya bagi hak-hak warga negara. *Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari*. <https://dx.doi.org/10.31602/al-adl.v9i1.803>
- Lukic, B., Panico, A., Huguenot, D., Fabbicino, M., van Hullebusch, E. D., & Esposito, G. (2017). A review on the efficiency of landfarming integrated with composting as a soil remediation treatment. *Environmental Technology Reviews*, 6(1), 94–116. <https://doi.org/10.1080/21622515.2017.1310310>
- Luo, X., Liu, G., Xia, Y., et al. (2017). Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 780–789. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1361-1>
- Mulyana, D. 2016. PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobakteri) Akar bambu. Banten.
- Murti, E. K. C., Hastuti, P. B., & Astuti, Y. T. M. (2024). Pengaruh PGPR dan kompos terhadap pertumbuhan dan hasil cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *AGROFORETECH*, 2(1), 29–36.
- Nata, A. S., Mawardi, A., & Sobwan, I. (2021). Analisis kelayakan pengkonsetrasian bijih emas menggunakan teknik gravitasi bebas merkuri dengan meja goyang dalam penambangan emas skala kecil di wilayah pertambangan rakyat Kokap, Kulonprogo. *Prosiding SATU BUMI*, 2(1).
- Nilamprasasti, H. (2019). Identifikasi zona penyebaran limbah logam berat menggunakan metode VLF EM (Studi kasus: Limbah pemurnian emas konvensional di Sangon Kulon Progo, DI Yogyakarta) [Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada].
- Olo, N., Rizal, F., & Nadya, M. (2019). Pemberian dan Konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) terhadap Produksi dan Mutu Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2), 174-184. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v1i2.43>
- Rahman, Z., & Singh, V. P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr) (VI), mercury (Hg), and lead (Pb))

- on the total environment: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(419). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, T. R., Degrune, F., Hohmann, P., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., van der Heijden, M. G. A., & Yang, G. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 222(3), 1171–1175. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Rini, M. V., Kusuma, O. P., & Hidayat, S. (2017). Seleksi lima isolat fungi mikoriza arbuskula untuk kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di pembibitan. *Jurnal Agrotek Tropika*, 5(3), 138–143. <https://doi.org/10.23960/jat.v5i3.1820>
- Schulin, R., G. Geiger, and G. Fmrrer. 1995. Heavy metal retention by soil organic matter under changing environmental conditions. In W. Salomons and W.M. Stigliani (Eds.). *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments*-Springer Verlag Berlin Heidelberg. New York.
- Siswanto, B., 2019. **Sebaran Unsur Hara N, P, K Dan pH dalam Tanah**. *Buana Sains*, 18(2), pp.109-124.
- Sujitno, E. M., & Dianawati. (2015). Produksi panen berbagai varietas unggul baru cabai rawit (*Capsicum frutescens*) di lahan kering Kabupaten Garut, Jawa Barat. *Jurnal Biodiversitas Indonesia*, 1(4), 874–877.
- Sutardi, & Winarti, C. A. (2017). Sistem usahatani cabai merah pada lahan pasir di Yogyakarta. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 20(2), 125–139.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. (2023). *Abandoned mine lands*. <https://www.blm.gov/programs/aml-environmental-cleanup/aml>
- Wijaugi, A.S.L. 2022. Potensi Penggunaan Bahan Pembawa (*Carrier*) Mikroorganisme dengan NaCl Untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Gambut. Skripsi. Universitas Islam Indonesia : Yogyakarta.
- Wulandari, D., C. Agus, R. Rosita, I. Mansur, and A.F. Maulana. 2022. Impact of tin mining on soil physio-chemical properties in Bangka, Indonesia. *Jurnal*

Sains&Teknologi                      Lingkungan.                      14(2):                      114–121.  
<https://doi.org/10.20885/jstl.vol14.iss2.art2>.

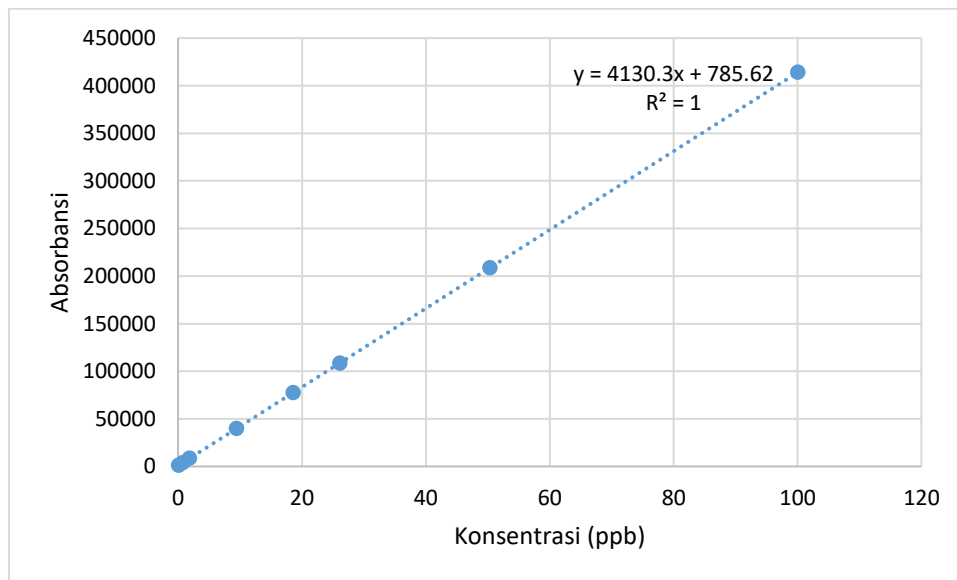
Xiao, R., Wang, S., Li, R., Wang, J. J., & Zhang, Z. (2017). Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *141*, 127–135.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1** Kurva Kalibrasi Larutan Standar Parameter Uji Logam Hg, Nutrisi P, dan Sulfat

Kode Larutan Standar	Konsentrasi (ppb)	CPS
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	108585.5
std 50	50.334	208678.2
std 100	100.057	414051.5

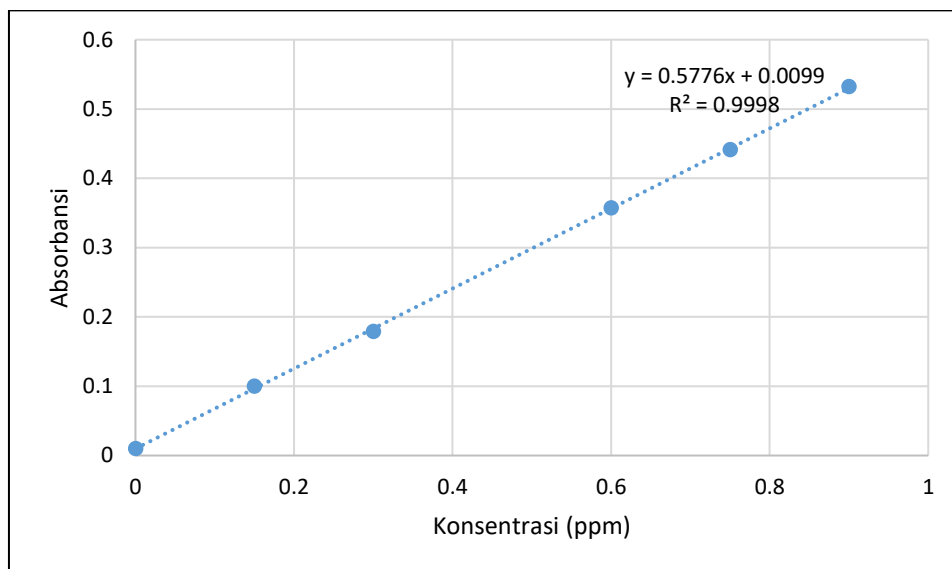
Tabel 1. Data Kurva Kalibrasi Larutan Standar Logam Hg pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah dan Jaringan Tanaman



Gambar 1. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Logam Hg pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah dan Jaringan Tanaman

Kode Larutan Standar	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
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

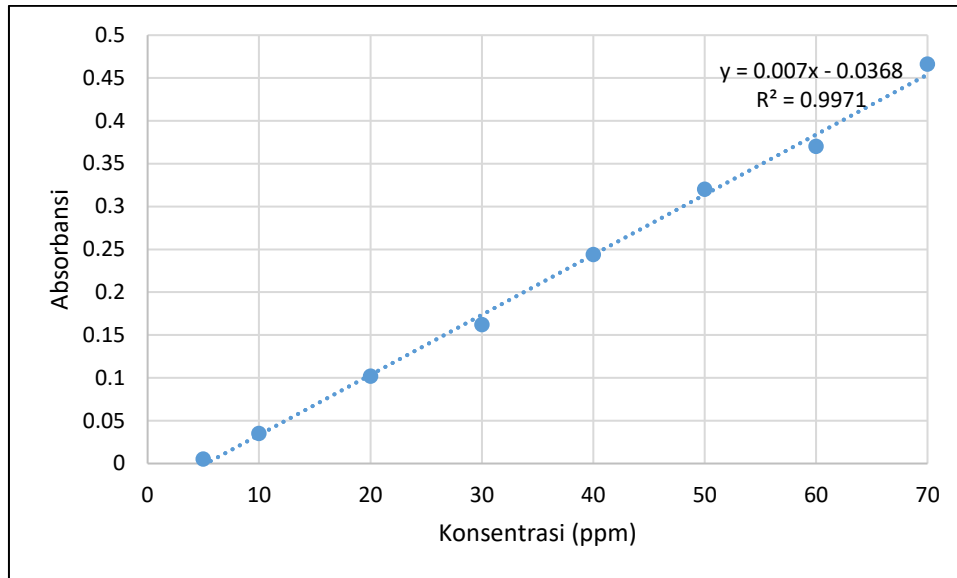
Tabel 2. Data Kurva Kalibrasi Larutan Standar Nutrisi P pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah dan Jaringan Tanaman



Gambar 2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Nutrisi P pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah dan Jaringan Tanaman

Kode Larutan Standar	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
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

Tabel 3. Data Kurva Kalibrasi Larutan Standar Sulfat pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah



Gambar 3. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Sulfat pada Tanaman *Capsicum frutescens* L. dalam Tanah dan Jaringan Tanaman

## Lampiran 2 Contoh Perhitungan

### Perhitungan Nutrisi P dalam Tanah

Diketahui:

- Intersep = 0,0099
- Slope = 0,5776
- Absorbansi sampel K1 + M + P = 0,296
- Faktor pengenceran = 20X

a. Perhitungan kadar P (ppm)

$$\begin{aligned} \text{Kadar P} &= \left( \frac{(\text{Absorbansi kurva} - \text{Intersep})}{\text{Slope}} \right) \times \text{Faktor Pengenceran} \\ &= \left( \frac{0,296 - 0,0099}{0,5776} \right) \times 20 \\ &= 9,906 \text{ ppm} \end{aligned}$$

b. Perhitungan kadar P (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 gram)

$$\begin{aligned} \text{Kadar P} &= \text{ppm} \times \frac{\text{Volume ekstrak (ml)}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ gram}}{\text{berat contoh (gram)}} \times Fp \times \frac{142}{90} \times \left( \frac{100}{100 - \% \text{kadar air}} \right) \\ &= \text{ppm} \times \frac{2 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ gram}}{0,5 \text{ gram}} \times 20 \times \frac{142}{90} \times \left( \frac{100}{100 - 1,43\%} \right) \\ &= 59,24 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Perhitungan kadar P (mg/kg)

$$\begin{aligned} \text{Kadar P} &= \frac{59,24 \text{ mg P}_{205}/100 \text{ gram}}{10} \\ &= 5.924 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

### Lampiran 3 Dokumentasi Kegiatan Sampling



**Lampiran 4 Dokumentasi Perawatan Tanaman**



**Lampiran 5 Dokumentasi Tanaman Sebelum dan Sesudah Panen**





## Lampiran 6 Dokumentasi Analisis Parameter Uji di Laboratorium



## RIWAYAT HIDUP



Nabila Putri Zahran lahir di Cilacap, 31 Desember 2002. Penulis merupakan putri dari Bapak Sutikman dan Ibu Widi Yuni Handayani. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan yang ditempuh; SMP Negeri 5 Cilacap pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 1 Cilacap dan lulus pada tahun 2020. Kemudian penulis tercatat sebagai mahasiswa perguruan tinggi Universitas Islam Indonesia pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Lingkungan pada tahun 2020. Dengan ketekunan dan semangat untuk tetap berusaha dan belajar, penulis berhasil menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis berharap Tugas Akhir yang disusun mampu memberi kontribusi bagi pendidikan. Akhir kata, penulis bersyukur telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Potensi Kompos, *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Untuk Remediasi Lahan Bekas Pengolahan Tambang Emas Rakyat di Kabupaten Kulon Progo”.