



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **TUGAS AKHIR**

**Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*  
(PGPR) terhadap *Capsicum frutescens* L. untuk Remediasi Tanah  
Bekas Tambang Emas Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo,  
Daerah Istimewa Yogyakarta**

**Muhammad Raihan Isnaini  
21513083**

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

**Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
2025**



DEPARTMENT  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## **BACHELOR THESIS**

**Potential of Compost and Plant Growth Promoting Rhizobacteria  
(PGPR) on Capsicum Frutescens L. for the Remediation of  
Former Gold Mining Soil in Kalirejo Village, Kulon Progo  
Regency, Special Region of Yogyakarta**

**Muhammad Raihan Isnaini**

**21513083**

**Supervisor:**

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

**Environmental Engineering Bachelor Program**

**Faculty of Civil Engineering and Planning**

**Universitas Islam Indonesia**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**TUGAS AKHIR**

**Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap  
*Capsicum frutescens* L. untuk Remediasi Tanah Bekas Tambang Emas Desa  
Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta**

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

**Muhammad Raihan Isnaini**  
**21513083**

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

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

(Pembimbing 1)

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

(Penguji 1)

 19.11.25  
Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T.

(Penguji 2)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

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

## PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
  - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
  - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 13 November 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Raihan Isnaini

21513083

## **PRAKATA**

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap *Capsicum frutescens* L. untuk Remediasi Tanah Bekas Tambang Emas Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta”.

Selama proses penyusunan tugas akhir ini, terdapat pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan doa untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini.

Dengan tulus hati, ucapan terima kasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan do'a, kasih sayang, dan motivasi yang selalu mengiringi setiap langkah penulis.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, serta Bapak Supriyanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D. dan Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah berkenan memberikan bimbingan dan masukan serta waktu dan kesempatan kepada penulis selama proses pengerjaan tugas akhir.
4. Seluruh dosen di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
5. Seluruh staff Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII.

6. Rossita Eka Putri S.Pd. yang selalu menemani dan memberikan dukungan serta sudah menjadi tempat berkeluh kesah bagi penulis. Terima kasih atas semua kenangan dan pengalaman yang telah diberikan.
7. Teman-teman terdekat penulis Muhammad Rayhan Hafidz, Elvino Rudi Hendrawan, dan Evans Tito yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Teman-teman TA Remediasi Tanah yang selalu mendukung penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan memiliki berbagai keterbatasan. Karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya masukan maupun kritik yang bersifat membangun. Penulis juga berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Sleman, 13 November 2025

Muhammad Raihan Isnaini

**Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*  
(PGPR) terhadap *Capsicum frutescens L.* untuk Remediasi Tanah  
Bekas Tambang Emas Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo,  
Daerah Istimewa Yogyakarta**

Mahasiswa : Muhammad Raihan Isnaini  
NIM : 21513083  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

**Abstrak**

Aktivitas penambangan emas tradisional di Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo, menggunakan metode amalgamasi telah menyebabkan pencemaran merkuri (Hg) pada tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap pertumbuhan *Capsicum frutescens L.* Penelitian dilakukan dalam skala rumah kaca menggunakan rancangan percobaan dengan media tanam berupa tanah bekas tambang emas yang diberi perlakuan kompos (5%) dan inokulasi PGPR (10 ml). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kompos dan PGPR mempunyai kecenderungan kadar Hg yang lebih baik dalam tanah dari tanah bekas tambang yang sebesar 44,40 mg/kg menjadi 25,04 mg/kg. Selain itu, perlakuan ini meningkatkan diameter batang (2,11 mm dibanding kontrol 1,39 mm) dan berat basah akar (0,5 gram dibanding kontrol 0,2 gram). Penggunaan kombinasi kompos dan PGPR berpotensi sebagai agen remediasi biologis yang ramah lingkungan untuk memperbaiki kualitas tanah bekas tambang emas dan mendukung pertumbuhan *Capsicum frutescens L.*

**Kata kunci:** *Capsicum frutescens L.*, kompos, logam berat, PGPR, remediasi tanah

***Potential of Compost and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Capsicum Frutescens L. for the Remediation of Former Gold Mining Soil in Kalirejo Village, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta***

*Student* : Muhammad Raihan Isnaini  
*Student Number* : 21513083  
*Study Program* : Environmental Engineering – Bachelor Program  
*Supervisor* : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

***Abstract***

*Traditional gold mining activities in Kalirejo Village, Kulon Progo Regency, using the amalgamation method have caused mercury (Hg) contamination in the soil. This study aims to analyze the potential of compost and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in improving soil physical and chemical properties, as well as to evaluate their effects on the growth of Capsicum frutescens L. The experiment was conducted on a greenhouse scale using a randomized design with mine tailing soil as the growth medium, treated with compost (5%) and PGPR inoculation (10 ml). The results of the study showed that the compost and PGPR treatments tended to have better Hg levels in the soil from ex-mining soil, which was 44.40 mg/kg to 25.04 mg/kg.. In addition, this treatment increased stem diameter (2.11 mm compared to 1.39 mm in the control) and root fresh weight (0.5 g compared to 0.2 g in the control). The combined use of compost and PGPR demonstrates potential as an environmentally friendly biological remediation agent to improve the quality of gold mine tailing soil and support the growth of Capsicum frutescens L.*

***Key words:*** *Capsicum frutescens L., compost, heavy metals, PGPR, soil remediation*

## DAFTAR ISI

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| PRAKATA .....                                                           | i    |
| Abstrak .....                                                           | iii  |
| DAFTAR ISI .....                                                        | v    |
| DAFTAR TABEL .....                                                      | vii  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                     | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                   | ix   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                 | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                               | 3    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                             | 3    |
| 1.3 Manfaat Penelitian .....                                            | 3    |
| 1.5 Ruang Lingkup .....                                                 | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                           | 5    |
| 2.1 Tambang Emas Rakyat .....                                           | 5    |
| 2.2 Logam Berat .....                                                   | 6    |
| 2.2.1 Merkuri (Hg) .....                                                | 6    |
| 2.3 Remediasi Tanah .....                                               | 7    |
| 2.3.1 <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR) .....          | 7    |
| 2.3.2 Kompos .....                                                      | 9    |
| 2.4 <i>Capsicum frutescens L.</i> .....                                 | 9    |
| 2.4.1 Karakteristik Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens L.</i> ) ..... | 10   |
| 2.4.2 Morfologi Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens L.</i> ) .....     | 10   |
| 2.4.3 Syarat Tumbuh Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens L.</i> ) ..... | 12   |
| 2.5 Penelitian Terdahulu .....                                          | 13   |
| BAB III METODE PENELITIAN .....                                         | 16   |
| 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....                                   | 16   |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                                                | 16   |
| 3.3 Tahapan Penelitian .....                                            | 17   |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 <i>Sampling</i> Tanah .....                                                             | 18 |
| 3.5 Persiapan Inokulasi PGPR.....                                                           | 19 |
| 3.6 Persiapan Media Tanam .....                                                             | 20 |
| 3.7 Penanaman.....                                                                          | 21 |
| 3.8 Inokulasi PGPR .....                                                                    | 22 |
| 3.9 Perawatan dan Pengamatan Tanaman .....                                                  | 23 |
| 3.10 Pemanenan.....                                                                         | 24 |
| 3.11 Analisis Data .....                                                                    | 25 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                                           | 26 |
| 4.1 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap<br>Pertumbuhan Tanaman Uji..... | 26 |
| 4.1.1 Tinggi Tanaman .....                                                                  | 27 |
| 4.1.2 Diameter Tanaman .....                                                                | 28 |
| 4.1.3 Daun Tanaman .....                                                                    | 29 |
| 4.1.4 Biomassa Tanaman .....                                                                | 30 |
| 4.2 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap pH .....                        | 31 |
| 4.3 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap Nutrisi....                     | 32 |
| 4.3.1 Kadar Air Tanah.....                                                                  | 32 |
| 4.3.2 Konsentrasi Sulfat .....                                                              | 33 |
| 4.3.3 Konsentrasi P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Tanah.....                                  | 34 |
| 4.3.4 Konsentrasi P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Batang.....                                 | 35 |
| 4.4 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap Logam<br>Berat .....            | 36 |
| 4.4.1 Konsentrasi Logam Hg Tanah.....                                                       | 36 |
| 4.4.2 Konsentrasi Logam Hg Batang .....                                                     | 37 |
| 4.4.3 Konsentrasi Logam Hg Akar.....                                                        | 38 |
| BAB V PENUTUP.....                                                                          | 39 |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                         | 39 |
| 5.2 Saran.....                                                                              | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                                        | 40 |
| LAMPIRAN.....                                                                               | 45 |
| RIWAYAT HIDUP.....                                                                          | 53 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Studi Penelitian Terdahulu .....                            | 13 |
| Tabel 4. 1 Survival Rate Tanaman Uji <i>Capsicum frutescens</i> L..... | 26 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian .....                                        | 17 |
| Gambar 3. 2 Lokasi Titik Sampling .....                                     | 18 |
| Gambar 3. 3 Pengambilan Tanah Bekas Tambang pada Lokasi 1 dan 2 .....       | 19 |
| Gambar 3. 4 Pembuatan Inokulan PGPR .....                                   | 20 |
| Gambar 3. 5 Proses Sterilisasi Tanah Bekas Tambang .....                    | 20 |
| Gambar 3. 6 Proses Penanaman Semai .....                                    | 22 |
| Gambar 3. 7 Proses Inokulasi PGPR.....                                      | 23 |
| Gambar 3. 8 Perawatan dan Pengamatan pada Tanaman.....                      | 23 |
| Gambar 3. 9 Pemanenan Tanaman Uji.....                                      | 24 |
| Gambar 3. 10 Pengujian Sampel menggunakan AAS dan ICP-MS.....               | 25 |
| Gambar 4. 1 Pertumbuhan Tinggi Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. ....   | 27 |
| Gambar 4. 2 Diameter Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. ....             | 28 |
| Gambar 4. 3 Jumlah Daun Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. ....          | 29 |
| Gambar 4. 4 Biomassa Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L. ....    | 30 |
| Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Ph H <sub>2</sub> O Tanah .....                 | 32 |
| Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah.....                            | 33 |
| Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Sulfat pada Tanah.....                          | 34 |
| Gambar 4. 8 Hasil Pengujian P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pada Tanah .....  | 35 |
| Gambar 4. 9 Hasil Pengujian P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pada Batang ..... | 36 |
| Gambar 4. 10 Konsentrasi Merkuri (Hg) Tanah .....                           | 37 |
| Gambar 4. 11 Konsentrasi Merkuri (Hg) Batang .....                          | 38 |
| Gambar 4. 12 Konsentrasi Merkuri (Hg) Akar .....                            | 38 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Lampiran 1</b> Kurva Kalibrasi .....                              | 45 |
| <b>Lampiran 2</b> Dokumentasi Kegiatan Sampling.....                 | 48 |
| <b>Lampiran 3</b> Dokumentasi Perawatan Tanaman .....                | 50 |
| <b>Lampiran 4</b> Dokumentasi Tanaman Sebelum dan Sesudah Panen..... | 51 |
| <b>Lampiran 5</b> Dokumentasi Laboratorium .....                     | 52 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Secara umum, setiap kegiatan penambangan pasti akan bersinggungan dengan unsur-unsur lingkungan yang berpotensi menimbulkan dampak berupa perubahan pada kualitas lingkungan. Jika perubahan tersebut memberikan pengaruh positif, maka perlu dijaga dan dipertahankan. Sebaliknya, jika dampaknya bersifat negatif, maka harus diupayakan untuk diminimalkan hingga mencapai batas standar atau baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan. Wilayah Pertambangan Rakyat (WPR) adalah kawasan yang secara resmi ditetapkan oleh pemerintah untuk dikelola oleh masyarakat sebagai bentuk pemanfaatan sumber daya tambang demi kesejahteraan warga setempat. Keberadaan WPR memungkinkan pengelolaan potensi lokal, baik dari segi sumber daya manusia di sekitar lokasi tambang maupun kandungan mineral logam emas, agar bisa dimanfaatkan secara optimal, efisien, dan berkelanjutan, khususnya di daerah yang telah berlangsung aktivitas tambang emas tradisional (Santoso & Gomareuzzaman, 2018).

Kegiatan penambangan emas di Kalirejo, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan langsung di lokasi sumber emas dengan memanfaatkan teknik amalgamasi (proses pemisahan emas dari bijihnya dengan menggunakan merkuri (Hg)). Para penambang telah lama memakai merkuri karena bahan ini mudah diperoleh. Di sisi lain, perhatian dan pengawasan dari pemerintah terhadap aktivitas ini masih tergolong rendah (Kusuma *et al.*, 2017). Proses amalgamasi dilakukan dengan mencampurkan batuan yang mengandung emas bersama merkuri menggunakan alat berupa gelondong. Dalam proses ini, air mengalir digunakan untuk memisahkan material halus dari amalgam (gabungan merkuri dan emas), kemudian dialirkan menuju kolam penampungan limbah (*tailing*). Biasanya, merkuri yang terbuang ke sungai berbentuk unsur Hg ( $Hg^0$ ) yang mempunyai massa jenis tinggi. Zat ini akan mengendap di dasar perairan atau terperangkap dalam sedimen pada kedalaman sekitar 5 hingga 15 cm dari permukaan. Unsur merkuri tersebut dapat mengalami transformasi menjadi senyawa organik akibat aktivitas bakteri, yakni menjadi metilmerkuri ( $CH_3Hg$ ), yang bersifat toksik, memiliki

afinitas kuat terhadap jaringan biologis, serta mudah larut, terutama dalam tubuh organisme air seperti ikan (Budiono, 2003).

Kehadiran logam berat merkuri (Hg) di dalam tanah dapat menyebabkan penurunan pH tanah, sehingga kondisi tanah menjadi lebih asam. Penurunan pH ini dapat memicu meningkatnya konsentrasi logam berat lain seperti Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd). Kedua logam tersebut bisa muncul secara alami dari proses pelapukan batuan mineral, namun aktivitas manusia seperti pembuangan limbah pertambangan juga turut memperparah keberadaannya (Syaifullah *et al.*, 2018). Meski keberadaan Pb dan Cd bisa terjadi secara alami, konsentrasi yang berlebihan dapat memberikan efek toksik pada tanah.

Hasil penelitian Tuhuteru *et al.*, (2019) membahas penggunaan isolat *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) untuk meningkatkan hasil panen bawang merah (*Allium cepa L.*) di lahan pasir pantai Samas, Bantul. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa seluruh isolat mampu memproduksi IAA, dengan BrSG 5 sebagai penghasil tertinggi. Selain itu, isolat BP25.2 terbukti efektif meningkatkan kadar nitrogen, sedangkan BP25.7 memperbaiki kadar fosfat. Kombinasi kultivar Tiron dengan isolat BrSM 4 menghasilkan produksi umbi tertinggi.

Cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*) adalah salah satu jenis tanaman hortikultura dari keluarga *Solanaceae* yang tidak hanya bernilai ekonomi tinggi, tetapi juga dikenal karena buahnya yang kaya warna, cita rasa, serta kandungan nutrisinya yang beragam (Kouassi *et al.*, 2012). Menurut Hatta (2011) Cabai rawit mengandung berbagai zat yang berkhasiat untuk kesehatan manusia. Beberapa senyawa yang terdapat di dalamnya meliputi karotenoid, alkaloid asiri, kapsaisin, resin, kapsantin, flavonoid, vitamin (A, B1, C), serta minyak atsiri.

*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan jenis bakteri yang bermanfaat dan aktif mendominasi wilayah perakaran tanaman. Keberadaan bakteri ini di sekitar akar memberikan dampak positif, terutama dalam menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanah. Dengan demikian, keberadaannya mampu merangsang pertumbuhan tanaman sekaligus meningkatkan pemanfaatan nutrisi secara efisien (Sawal *et al.*, 2024).

Kompos merupakan jenis pupuk yang tersusun terutama dari bahan-bahan organik asal tumbuhan maupun hewan yang telah mengalami proses dekomposisi.

Pupuk ini bisa berbentuk cair maupun padat dan berfungsi untuk meningkatkan kualitas fisik, kimia, serta biologi tanah (Herawaty *et al.*, 2023).

Hasil dari penelitian sebelumnya bahwasanya *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) memiliki peran penting dalam memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan hasil panen, serta mendukung pertumbuhan tanaman. PGPR ini bekerja secara langsung dengan menghasilkan hormon pertumbuhan, vitamin, dan beragam asam organik, serta membantu tanaman dalam menyerap nutrisi secara optimal (Rahni, 2012). Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap *Capsicum frutescens L.* di tanah bekas area tambang emas di Desa Kalijero, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang yang sudah ada, maka di dapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana peran bahan pembenah tanah kompos dan mikroba PGPR dalam meningkatkan kesuburan tanah serta menurunkan tingkat pencemaran yang terjadi pada tanah?
- 2) Bagaimana efektivitas penggunaan bahan pembenah tanah kompos dan mikroba PGPR terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman *Capsicum frutescens L.* yang terdampak akibat aktivitas penambangan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

- 1) Menganalisis potensi bahan pembenah tanah kompos dan mikroba PGPR dalam memperbaiki tanah yang mengalami degradasi.
- 2) Menganalisis potensi bahan pembenah tanah kompos dan mikroba PGPR terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.*

## **1.3 Manfaat Penelitian**

- 1) Bahan studi literatur mengenai analisis kandungan logam berat dan potensi risiko lingkungan di tanah pasca tambang emas Kalirejo.

- 2) Memberikan solusi untuk memulihkan kondisi tanah yang terdegradasi akibat aktivitas tambang emas tradisional di Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk pemerintah dan masyarakat sekitar.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pemantauan pertumbuhan tanaman dilakukan dalam skala rumah kaca.
- 2) Jenis tanaman yang digunakan merupakan tanaman *Capsicum frutescens* L.
- 3) Pengamatan pengaruh penggunaan bahan pembenah kompos dan mikroba PGPR dalam pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens* L. terhadap tanah pasca penambangan emas.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tambang Emas Rakyat**

Aktivitas penambangan emas di Indonesia sudah berlangsung sejak lama, baik yang dilakukan secara resmi maupun tanpa izin. Kegiatan ini tersebar di berbagai daerah di seluruh Indonesia. Bukti dari aktivitas tersebut dapat terlihat dari adanya bekas tambang emas aluvial, lubang-lubang tambang, penggalian, saluran vertikal (*shafts*), dan alat pencuci emas (*sluices*) yang menunjukkan jejak penambangan di masa lalu (Herman, 2006). Kegiatan penambangan emas bisa menjadi sumber peningkatan pendapatan bagi masyarakat. Namun, jika dilakukan tanpa pengelolaan limbah hasil olahan bijih emas yang memadai, aktivitas ini juga berpotensi menimbulkan dampak negatif. Salah satu dampaknya adalah pencemaran merkuri yang bisa meresap ke air tanah atau terbawa aliran sungai, kemudian masuk ke dalam rantai makanan melalui tumbuhan dan hewan, hingga akhirnya dapat membahayakan kesehatan manusia (Khairunnisa, 2017).

Ditemukannya emas di berbagai daerah Indonesia mendorong masyarakat melakukan penambangan tradisional secara mandiri. Aktivitas ini tersebar di wilayah seperti Aceh, Sumatera Utara, Jawa, Sulawesi, Maluku, NTB, dan Papua. Umumnya, proses tambang meliputi pengambilan dan pengolahan bijih, yang keduanya menghasilkan limbah. Sisa batuan dibuang di sekitar lokasi tambang, sedangkan pengolahan biasanya memakai metode amalgamasi atau sianidasi (Kusdarini & Budianto, 2021).

Di Desa Kalirejo, Kulon Progo, masyarakat menambang emas secara manual dengan sistem tambang bawah tanah, membuat lorong untuk mencapai area tambang. Peralatan tradisional seperti palu, pahat, dan cangkul digunakan dalam proses ini. Bijih emas, baik berkadar rendah maupun tinggi, dipilih secara teliti dan diolah lewat metode amalgamasi menggunakan merkuri dalam tabung bernama gelundung, yang digerakkan dengan tenaga air atau listrik. Gelundung juga berfungsi menghancurkan bijih menjadi partikel halus sebelum emas dipisahkan dari limbah melalui pencucian dan pendulangan (Widodo, 2008).

## 2.2 Logam Berat

Logam berat merupakan residu kimia yang patut diwaspadai keberadaannya. Kandungan logam berat dalam kadar tinggi umumnya ditemukan pada aktivitas pertambangan, khususnya dari limbah hasil pemisahan bijih emas atau dikenal sebagai *tailing*. *Tailing* secara kimiawi tidak memiliki koloid, sehingga Kapasitas Tukar Kation (KTK) menjadi rendah, begitu pula dengan kandungan unsur haranya. Di sisi lain, kandungan logam mikro justru sangat tinggi akibat sisa-sisa material tambang, yang berpotensi membahayakan tumbuhan, hewan, hingga manusia. Komposisi *tailing* meliputi berbagai mineral seperti silika, magnesium, silikat besi, natrium, kalium, dan senyawa sulfida. Sulfida memiliki sifat kimia yang cukup relatif, sehingga ketika bereaksi dengan udara akan mengalami proses oksidasi. Oksidasi ini menghasilkan senyawa garam dan cairan bersifat asam. Cairan tersebut dapat melarutkan logam-logam beracun seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) yang kemudian mencemari lingkungan (Herman, 2006).

### 2.2.1 Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah salah satu jenis logam berat dengan nomor atom 80 dan massa atom sebesar 200,6. Unsur ini tergolong langka di kerak bumi, namun bisa ditemukan dalam jumlah yang tinggi di wilayah vulkanik maupun area yang memiliki endapan bijih logam berat. Dalam lingkungan, merkuri dapat dijumpai dalam dua bentuk utama, yaitu organik dan anorganik. Merkuri organik terbentuk ketika merkuri berikatan dengan karbon, membentuk senyawa seperti metil dan etil, serta gugus karbon lainnya. Sementara itu, bentuk anorganik dari merkuri mencakup uap merkuri ( $\text{Hg}^0$ ), garam merkuri ( $\text{Hg}^{2+}$ ), dan logam merkuri itu sendiri. Dari berbagai bentuk tersebut, merkuri organik dikenal sebagai bentuk geokimia yang paling beracun bagi manusia (Banunaek, 2016).

Kontaminasi logam berat dapat menyebar melalui udara, tanah, maupun air. Zat berbahaya ini dapat masuk ke tubuh manusia lewat udara yang dihirup, serta melalui air minum atau makanan yang dikonsumsi. Bila suatu perairan tercemar logam berat, maka ikan yang hidup di dalamnya juga akan mengandung zat tersebut. Selain itu, tanaman yang tumbuh di tanah tercemar berpotensi menyerap logam berat ke dalam jaringan tubuhnya. Tanaman itu kemudian bisa langsung dikonsumsi

manusia atau dimakan oleh hewan ternak, yang pada akhirnya dagingnya kembali masuk ke rantai makanan manusia (Agustina, 2014).

## **2.3 Remediasi Tanah**

Remediasi tanah secara umum bertujuan memperbaiki kondisi lingkungan serta mengurangi risiko akibat kontaminasi logam, baik yang berasal dari proses alami (geokimia) maupun aktivitas manusia (antropogenik). Karena logam dalam tanah tidak dapat terurai secara biologis, proses pembersihan tanah yang terkontaminasi menjadi sangat menantang dan memerlukan biaya tinggi. Remediasi tanah sendiri terbagi menjadi dua metode, yaitu *in-situ* (dilakukan langsung di lokasi) dan *ex-situ* (dilakukan di luar lokasi tercemar). Pada metode *in-situ*, remediasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti jamur atau bakteri (bioremediasi), atau menggunakan tanaman yang mampu menyerap logam berat (fitoremediasi) (Purwani, 2010).

### **2.3.1 Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)**

PGPR merupakan salah satu agen pengendali hayati yang terbukti ampuh dan banyak dimanfaatkan dalam upaya pengendalian beragam penyakit tanaman. Secara tidak langsung, PGPR mendukung ketahanan tanaman terhadap patogen melalui produksi senyawa seperti protease, kitinase, hidrogen sianida, maupun antibiotik (Gupta *et al.*, 2015).

Peran PGPR dalam mendukung peningkatan hasil tanaman meliputi:

- 1) Merangsang pertumbuhan tanaman (biostimulan) dengan memproduksi serta mengatur kadar hormon-hormon tumbuh (fitohormon) seperti IAA, giberelin, sitokinin, dan etilen di sekitar zona perakaran.
- 2) Menyuplai unsur hara (biofertilizer) melalui proses fiksasi nitrogen ( $N_2$ ) dari udara secara non-simbiotik serta membantu melarutkan fosfat (P) yang terikat dalam tanah agar lebih tersedia bagi tanaman.
- 3) Melindungi tanaman dari serangan patogen tanah (bioprotektan) dengan cara menghasilkan senyawa-senyawa atau metabolit yang bersifat anti-patogen (McMillan, 2007).

Pada kondisi tertentu, satu jenis PGPR dapat menunjukkan lebih dari satu jenis aktivitas. Akibatnya, peran PGPR dalam merangsang pertumbuhan serta menyediakan unsur hara (fungsi langsung), sekaligus menekan perkembangan patogen (fungsi tidak langsung), bekerja secara terpadu dan saling mendukung (Wahyudi, 2009). Sistem perakaran yang tumbuh optimal memungkinkan penyerapan hara berlangsung lebih efisien, sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap serangan organisme penyebab penyakit.

Lingkungan di sekitar akar (rizosfer) bersifat sangat dinamis dan dipenuhi sumber energi yang berasal dari senyawa organik hasil keluaran akar tanaman. Daerah ini menjadi tempat hidup berbagai mikroorganisme sekaligus area terjadinya interaksi dan kompetisi antar mikroba. Setiap jenis tanaman menghasilkan eksudat akar dengan komposisi yang tidak sama, sehingga ikut menentukan jenis mikroba yang dapat tumbuh sebagian mikroba dapat berkembang lebih baik, sementara yang lain justru terhambat (Husen et al., 2008). Semakin banyak eksudat yang dilepaskan akar, semakin tinggi pula jumlah serta keanekaragaman mikroba yang dapat hidup di sekitarnya.

Mekanisme yang mendorong pertumbuhan tanaman berlangsung melalui pembentukan berbagai fitohormon yang membantu merangsang perkembangan tanaman, kemampuan bakteri untuk melakukan fiksasi nitrogen pada tanaman legum, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara penting seperti fosfor, sulfur, besi, dan tembaga. Selain itu, proses bakteri mengkolonisasi permukaan akar juga memiliki peran besar. Secara tidak langsung, keberadaan rhizobakteri turut memperkuat pertumbuhan tanaman dengan menekan serangan penyakit melalui produksi senyawa antimikroba, pemicu munculnya ketahanan sistemik, serta persaingan dalam memanfaatkan nutrisi dan ruang tumbuh. Mekanisme ini terjadi melalui pembentukan siderofor, antibiotik, sianida, amonia, enzim pengurai, proses kompetisi, aktivasi ketahanan sistemik, serta peningkatan bakteri penambat nitrogen pada nodul akar (Sasmita, 2015).

Peran rizobakteri dalam melarutkan fosfat akan bekerja lebih maksimal apabila didukung oleh kondisi lingkungan yang sesuai serta adanya hubungan yang saling menguntungkan antara bakteri dan tanaman di sekitarnya. Ketika interaksi ini terbentuk dengan baik, akar tanaman akan mengeluarkan berbagai senyawa

organik maupun anorganik berupa eksudat penting ke zona perakaran. Demikian pula, keterkaitan yang muncul antara isolat uji dan tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan padi secara lebih efisien (Salamiah & R, 2015).

### **2.3.2 Kompos**

Kompos merupakan material organik yang telah mengalami penguraian secara alami akibat aktivitas mikroorganisme, terutama bakteri pembusuk, yang berperan penting dalam proses tersebut. Kompos juga menjadi salah satu elemen penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Oleh karena itu, untuk memperoleh tanah yang subur, perlu adanya penambahan kompos sebagai sumber bahan organik. Penggunaan pupuk kompos sangat dianjurkan karena ramah lingkungan, proses pembuatannya tergolong mudah dengan bahan-bahan yang mudah diperoleh, serta tidak membutuhkan biaya besar (Bachtiar *et al.*, 2019).

## **2.4 *Capsicum frutescens* L**

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) adalah tanaman sayuran semusim yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Tanaman ini banyak diminati oleh masyarakat dari berbagai lapisan karena perannya yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Cabai rawit sering digunakan sebagai bahan pelengkap masakan, serta mengandung zat gizi yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh (Muhanniah & Hasanuddin, 2025).

Cabai merupakan salah satu tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan oleh petani di berbagai wilayah Indonesia. Hal ini disebabkan oleh nilai jualnya yang cukup tinggi serta kandungan manfaatnya bagi kesehatan. Tanaman ini mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi, baik di dataran rendah maupun tinggi, dan bisa tumbuh di lahan sawah maupun lahan kering. Untuk mencapai hasil panen yang optimal, petani perlu memperhatikan metode budidaya, ketersediaan unsur hara dalam tanah, kondisi lingkungan sekitar, serta potensi serangan hama dan penyakit (Khasanah *et al.*, 2021).

#### 2.4.1 Karakteristik Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

Cabai rawit memiliki nama ilmiah *Capsicum frutescens* L. Adapun pengelompokkan atau klasifikasi dari tanaman cabai rawit dapat dijelaskan sebagai berikut (Syamsiah, 2016):

|          |                                 |
|----------|---------------------------------|
| Kingdom  | : Plantae                       |
| Division | : Magnoliophyta                 |
| Class    | : Magnoliopsida                 |
| Order    | : Solanales                     |
| Family   | : Solanaceae                    |
| Genus    | : <i>Capsicum</i>               |
| Species  | : <i>Capsicum frutescens</i> L. |

#### 2.4.2 Morfologi Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

##### a. Akar

Tanaman cabai rawit memiliki sistem perakaran tunggang berwarna putih yang tumbuh dekat dengan permukaan tanah. Selain itu, akar serabutnya dapat menyebar secara vertikal hingga sekitar 30–50 cm. Akar tunggang cabai rawit mampu menembus tanah secara lurus menuju bagian yang lebih dalam, dengan kedalaman mencapai 30–60 cm (Tjandra, 2011).

##### b. Batang

Tanaman cabai rawit merupakan jenis tanaman perdu dengan batang tegak yang berwarna hijau tua, bertekstur halus, dan memiliki banyak percabangan. Bentuk batangnya cenderung bulat dan dapat tumbuh hingga sekitar 30–45 cm. Bagian batang ini berperan sebagai tempat tumbuhnya tunas, daun, bunga, buah, serta cabang-cabang baru (Rukmana, 2002).

##### c. Daun

Daun pada tanaman cabai rawit merupakan daun tunggal yang memiliki tangkai. Helaian daunnya berbentuk oval memanjang dengan pangkal

yang meruncing. Susunan daunnya berada secara spiral dan saling berseling di sepanjang batang (Tjandra, 2011). Daun cabai rawit berwarna hijau dengan tepi yang rata serta memiliki tipe tulang daun menyirip. Ukuran panjang daunnya berkisar antara 1,5 hingga 10 cm, sedangkan lebarnya berada pada rentang 0,5 hingga 5 cm (Tindall, 1983).

d. Bunga

Tanaman cabai rawit memiliki bunga tunggal yang muncul di bagian ketiak daun. Tangkai bunganya cenderung tegak, sedangkan mahkota bunganya berbentuk menyerupai bintang dengan jumlah sekitar 4 hingga 7 helai. Warna bunganya umumnya putih kehijauan atau putih yang sedikit berwarna ungu. Proses penyerbukan pada cabai rawit terutama berlangsung secara penyerbukan sendiri, namun penyerbukan silang juga dapat terjadi dengan bantuan angin maupun serangga (Rukmana, 2002).

e. Biji

Cabai rawit memiliki biji berwarna kuning keemasan yang menempel pada bagian dalam buah, tepatnya pada jaringan plasenta. Struktur bijinya tersusun atas tali pusat, inti biji, serta lapisan pelindung berupa kulit biji (Rukmana, 2002).

f. Buah

Cabai rawit umumnya memiliki buah berwarna merah dengan bentuk lonjong menyerupai telur. Rasa buahnya sangat pedas dan posisi tumbuhnya cenderung mengarah ke atas. Pada fase muda, warna cabai rawit biasanya putih kehijauan atau kuning tua, kemudian berubah menjadi hijau kekuningan, jingga, hingga merah terang saat mencapai tingkat kematangan penuh. Panjang daging buah cabai rawit berkisar antara 1–6 cm dengan diameter sekitar 0,5–1,5 cm, tergantung pada jenis dan kultivar yang dibudidayakan (Yanuarti & Mudya, 2016).

### 2.4.3 Syarat Tumbuh Cabai Rawit (*Capsicum frutescens L.*)

Cabai rawit dapat tumbuh lebat dan berbuah banyak apabila memenuhi beberapa kebutuhan tumbuh berikut ini (Wahyudi, 2011):

a. Iklim

Menurut Rukmana (2002), cabai rawit dapat dibudidayakan di berbagai wilayah Indonesia yang termasuk dalam tiga zona sentra sayuran, yaitu dataran rendah (0–200 mdpl), dataran menengah (201–700 mdpl), dan dataran tinggi (di atas 700 mdpl). Letak geografis menjadi salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan produksi cabai rawit. Kondisi yang dianggap ideal untuk pertumbuhannya berada pada kisaran suhu 19–30°C, curah hujan sekitar 1000–3000 mm per tahun, serta ketinggian antara 0–500 mdpl (Sarpian, 2003).

b. Suhu

Tanaman cabai rawit tumbuh optimal pada kisaran suhu sekitar 18–28°C, yaitu kondisi yang tidak terlalu dingin maupun terlalu lembap. Untuk proses pembentukan buah, cabai rawit memerlukan suhu sekitar 15,5–21°C, sedangkan tahap pembungaannya lebih sesuai pada suhu antara 21–27°C.

c. Tanah

Cabai rawit umumnya berkembang dengan baik pada lahan yang gembur, banyak mengandung bahan organik, serta cukup tersedia unsur hara penting seperti nitrogen dan kalium. Tanaman ini optimal ditanam pada tanah dengan pH mendekati netral, sekitar 6–7. Kondisi tanah juga perlu memiliki kelembapan yang memadai, yaitu sekitar 80%. Selain itu, cabai rawit tumbuh baik bila suhu tanah tidak terlalu ekstrem—pada siang hari idealnya berada di kisaran 21–28°C, sedangkan pada malam hari antara 13–16°C (Setiadi, 2007).

d. Curah hujan

Tanaman cabai rawit umumnya dapat tumbuh dengan baik pada musim kemarau, namun tetap memerlukan ketersediaan air yang memadai. Kisaran curah hujan ideal bagi tanaman ini berada pada 1000–3000 mm

per tahun. Jika curah hujan terlalu tinggi, proses pembentukan bunga dan buah dapat terganggu. Sebaliknya, kelembapan yang rendah disertai suhu yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tunas, bunga, maupun buah, sehingga berpotensi menyebabkan tanaman tidak menghasilkan panen yang optimal.

e. Cahaya

Pencahayaan memiliki peran utama dalam perkembangan tanaman sejak fase pembibitan hingga memasuki masa produksi. Paparan cahaya yang kuat dalam durasi panjang dapat mendorong percepatan proses pembungaan serta pemasakan buah. Tanaman cabai rawit umumnya berkembang optimal ketika menerima cahaya dengan kisaran panjang gelombang 400–700 nm (Purwono, 2003).

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan, berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan:

Tabel 2. 1 Studi Penelitian Terdahulu

| NO | Penulis                                                                       | Tahun | Topik                                                                                                                                                  | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Lilya Echa<br>Febriyanti,<br>Mintarto<br>Martosudiro,<br>Tutung<br>Hadiastono | 2014  | Pengaruh PGPR terhadap infeksi Peanut Stripe Virus (PStV), pertumbuhan, dan produksi tanaman kacang tanah ( <i>Arachis hypogaea</i> L.) varietas Gajah | Kombinasi <i>B. subtilis</i> dan <i>P. fluorescens</i> memperpanjang masa inkubasi dan menurunkan intensitas PStV; <i>Azotobacter</i> sp. dan kombinasi PGPR meningkatkan tinggi tanaman; <i>B. subtilis</i> meningkatkan bobot kering polong kacang tanah. |

| NO | Penulis                                                          | Tahun | Topik                                                                                                                                           | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | Rizka Mawaddah<br>Sari, Denah<br>Suswati,<br>Muhammad<br>Nuriman | 2023  | Uji efektivitas<br>PGPR dari akar<br>bambu terhadap<br>ketersediaan<br>hara N, P, K<br>dan<br>pertumbuhan<br>tanaman jagung<br>di tanah aluvial | PGPR dari akar bambu<br>meningkatkan<br>ketersediaan hara (N,<br>P, K), C-organik, pH<br>tanah, serta<br>pertumbuhan jagung;<br>dosis 40 ml/L<br>memberikan hasil<br>terbaik.                                                                                          |
| 3  | Aqdi Prasetyo,<br>Suryo Wiyono                                   | 2019  | Keefektifan<br>beberapa isolat<br>PGPR untuk<br>pengendalian<br>penyakit embun<br>bulu pada<br>tanaman<br>mentimun di<br>lapangan               | Kombinasi isolat<br>J8+P14 menekan<br>keparahan penyakit<br>embun bulu hingga<br>29,41%; meningkatkan<br>pertumbuhan dan hasil<br>tanaman mentimun.                                                                                                                    |
| 4  | Nanda Dwi<br>Hafri, Endang<br>Sulistyaningsih,<br>Arif Wibowo    | 2019  | Pengaruh<br>aplikasi PGPR<br>terhadap<br>pertumbuhan<br>dan hasil<br>tanaman<br>bawang merah<br>( <i>Allium cepa</i> L.<br>Aggregatum<br>group) | Isolat Bp.25.2<br>( <i>Bacillus</i><br><i>methylophilus</i> )<br>meningkatkan laju<br>asimilasi bersih dan<br>laju pertumbuhan<br>tanaman bawang<br>merah; aplikasi PGPR<br>sama efektifnya<br>dengan <i>Trichoderma</i><br>dalam meningkatkan<br>pertumbuhan tanaman. |

| NO | Penulis                                                            | Tahun | Topik                                                                             | Hasil                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|--------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | Sumiyati<br>Tuhuteru,<br>Endang<br>Sulistyaningsih,<br>Arif Wibowo | 2019  | Aplikasi PGPR dalam meningkatkan produktivitas bawang merah di lahan pasir pantai | Isolat BrSG 5 ( <i>Burkholderia seminalis</i> ) menghasilkan konsentrasi IAA tertinggi; isolat BP25.2 ( <i>Bacillus methylophilus</i> ) efektif meningkatkan kandungan N; PGPR meningkatkan produktivitas bawang merah di lahan pasir pantai. |

Berdasarkan kajian dari berbagai penelitian sebelumnya, diketahui bahwa pemberian *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) mampu memberikan kontribusi positif terhadap proses pertumbuhan tanaman secara umum. Meskipun demikian, hingga saat ini masih belum banyak ditemukan penelitian yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh aplikasi PGPR terhadap pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* yang ditanam pada lahan bekas tambang emas, khususnya lahan yang terkontaminasi oleh berbagai jenis logam berat. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk data terbaru serta analisis mendalam mengenai dampak pemberian Kompos dan PGPR terhadap perbaikan kualitas tanah terdegradasi akibat aktivitas pertambangan emas, serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman *Capsicum frutescens L.*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini akan dilakukan dalam skala rumah kaca. Tahap awal melibatkan persiapan media tanam dengan memanfaatkan tanaman *Capsicum frutescens* L. Seluruh kegiatan berlangsung di dalam *greenhouse* yang terletak di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Yogyakarta (7°41'40.6"LS 110°25'38.6"BT). Sampel tanah yang digunakan sebagai media tanam merupakan sampel *tailing* emas yang diambil dari Dusun Sangon, Desa Kalijero, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Selanjutnya, proses pengujian sampel akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

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

- **Alat**

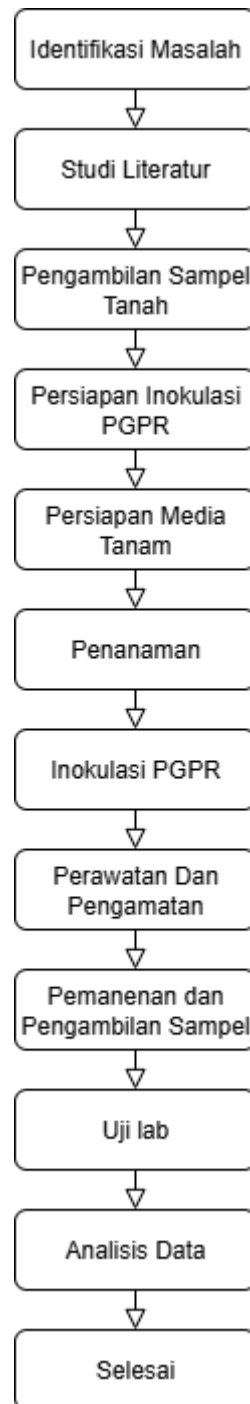
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Polybag 15 x 15, Caliper Digital, Meteran, Autoklaf, Timbangan Analitik, Timbangan Digital, Oven, Amplop Coklat, Plastik, Tabung Reaksi, Erlenmeyer, Gelas Beaker, Corong Kaca dan Labu Ukur.

- **Bahan**

Bahan dari penelitian yang akan di gunakan yaitu Bibit *Capsicum frutescens* L., Tanah Bekas Tambang Emas, Aquadest, dan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*).

### 3.3 Tahapan Penelitian

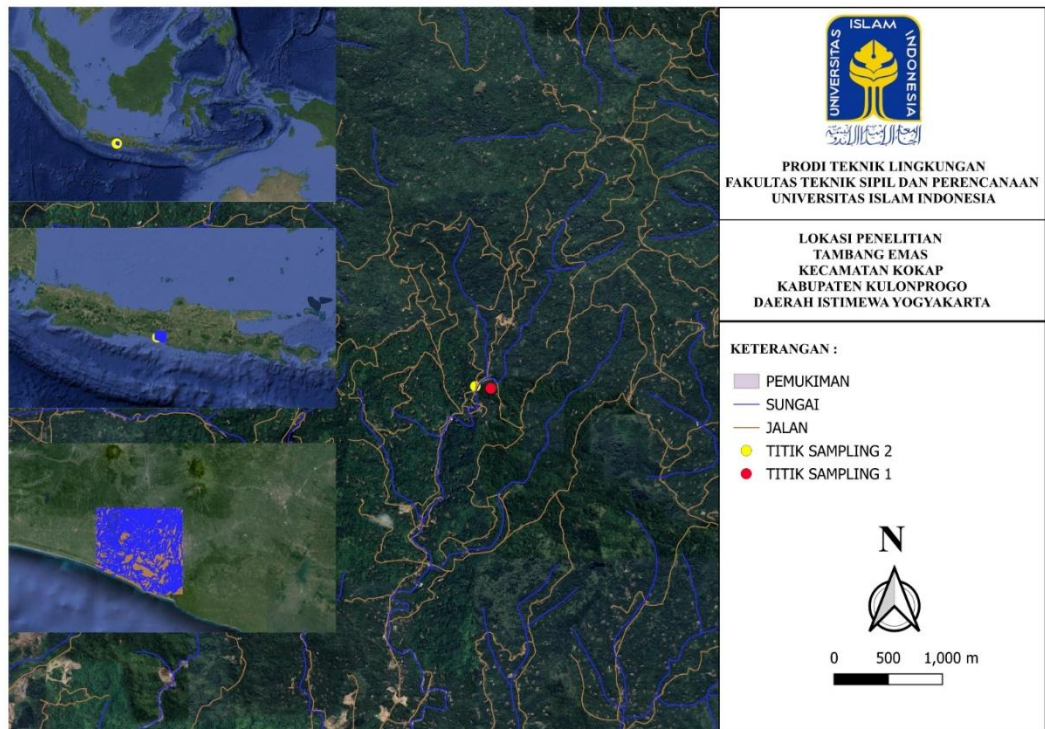
Berikut adalah rangkaian tahapan penelitian yang dirangkum dalam bentuk flowchart.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

### 3.4 *Sampling Tanah*

Pengambilan sampel tanah bekas tambang emas dilakukan di Desa Kalijero, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Titik sampling pada penelitian ini terdiri dari dua titik yang terletak pada koordinat  $7^{\circ}49'37.9''\text{S}$   $110^{\circ}04'15.6''\text{E}$  untuk lokasi satu dan  $7^{\circ}49'38.9''\text{S}$   $110^{\circ}04'11.2''\text{E}$  untuk lokasi dua.



Gambar 3. 2 Lokasi Titik Sampling

Perbedaan lokasi pengambilan sampel ada pada kondisi sekitarnya. Di titik pertama, lokasinya dekat dengan peternakan kambing dan kebun warga, sedangkan di titik kedua lebih banyak ditumbuhi semak-semak dan letaknya sekitar 15 meter dari tepi sungai. Selain tanah bekas tambang emas, penelitian ini menggunakan sampel non tambang yang diambil di sekitar lokasi yang tidak terdampak langsung.



Gambar 3. 3 Pengambilan Tanah Bekas Tambang pada Lokasi 1 dan 2

### 3.5 Persiapan Inokulasi PGPR

Inokulasi pada tanaman dilakukan dengan memanfaatkan bakteri atau jamur yang bersifat menguntungkan. Tujuan dari proses ini adalah membentuk hubungan simbiosis antara akar tanaman dengan bakteri sehingga dapat menstimulasi terbentuknya bintil akar. Pembuatan inokulan PGPR diambil dari *degraded mining area*. Proses pemindahan kultur mikroba (*reculture*) dilakukan di dalam *laminar air flow* yang telah disterilisasi. Bakteri induk kemudian dipindahkan pada botol steril, ditutup dengan kertas sampul, lalu diinkubasi selama 24 jam. Setelah itu, dimasukkan ke dalam larutan media *carrier* berupa NaCl sebanyak 1,5 liter dengan kadar 0,9%. Selanjutnya, NaCl dimasukkan ke dalam tiap botol hingga volume 1 liter per botol, lalu ditutup kembali dengan kertas sampul. Media *carrier* ini dipilih karena lebih ekonomis dibandingkan *Nutrient Broth* namun tetap mampu mendukung pertumbuhan bakteri.



Gambar 3. 4 Pembuatan Inokulan PGPR

### 3.6 Persiapan Media Tanam

Tahap awal dalam menyiapkan media tanam dimulai dengan proses sterilisasi terhadap tanah yang telah dikumpulkan. Sterilisasi ini bertujuan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen atau benih gulma yang mungkin masih terdapat dalam tanah. Proses dilakukan menggunakan autoklaf, yaitu alat sterilisasi uap bertekanan tinggi, selama kurang lebih lima jam pada suhu tinggi untuk memastikan tanah benar-benar bebas dari kontaminasi biotik.



Gambar 3. 5 Proses Sterilisasi Tanah Bekas Tambang

Setelah proses ini selesai dan tanah dalam kondisi steril, selanjutnya semai *Capsicum frutescens* L. dipindahkan ke dalam wadah tanam berupa polybag dengan ukuran 15 x 15 cm, kemudian tanah dimasukkan ke dalam polybag sebanyak 95%. Lalu dicampur dengan kompos sebanyak 5%, kompos yang digunakan berasal dari toko pertanian 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%.

### **3.7 Penanaman**

Proses penanaman dilaksanakan pada waktu pagi hari untuk memanfaatkan kondisi cuaca yang masih sejuk dan kelembapan tanah yang optimal. Jenis tanaman yang dipilih adalah cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Cabai rawit adalah salah satu jenis sayuran buah yang memiliki permintaan tinggi di masyarakat. Tingginya kebutuhan cabai rawit, baik di pasar dalam negeri maupun luar negeri, menjadikan komoditas ini mempunyai prospek usaha yang cukup menjanjikan serta berpotensi memberikan keuntungan besar bagi para petani. Tidak mengherankan apabila di Indonesia cabai rawit termasuk ke dalam komoditas hortikultura dengan nilai jual yang relatif tinggi (Nurfalach, 2010). Penanaman dilakukan dengan cara semai *Capsicum frutescens* L. dipindahkan ke dalam wadah tanam berupa polybag dengan ukuran 15 x 15 cm, kemudian tanah dimasukkan ke dalam polybag sebanyak 475 gr, lalu dicampur dengan kompos sebanyak 25 gr. Sehingga media tanam siap digunakan untuk keperluan percobaan atau budidaya. Terdapat 2 jenis perlakuan yang dimana pada tanaman kontrol mempunyai 11 kali pengulangan dan untuk sampel perlakuan mempunyai 11 kali pengulangan juga dengan kode K1 + P (Kompos + PGPR).



Gambar 3. 6 Proses Penanaman Semai

### 3.8 Inokulasi PGPR

Setelah 1 hari pasca penanaman *Capsicum frutescens L.* di lahan bekas tambang emas tradisional, dilakukan inokulasi PGPR ke media tanam tersebut. Inokulasi dilakukan dengan terlebih dahulu membuat dua lubang kecil di media tanam, tepat di sekitar sistem perakaran tanaman, dengan posisi lubang saling berhadapan agar distribusi larutan merata. Setelah itu, masing-masing lubang disuntikkan larutan PGPR sebanyak 5 ml menggunakan spuit steril. Dengan pemberian tersebut, total PGPR yang diaplikasikan pada setiap polybag mencapai 10 ml. Metode ini bertujuan untuk memastikan mikroorganisme dapat langsung berinteraksi dengan akar dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.



Gambar 3. 7 Proses Inokulasi PGPR

### 3.9 Perawatan dan Pengamatan Tanaman

Perawatan tanaman dilakukan dengan cara menyiram setiap hari sekali. Pengamatan pertumbuhan (*Plant growth measurement*) dilakukan melalui pengukuran tinggi tanaman yang dihitung dari bagian leher akar hingga batang bagian atas. Sementara itu, diameter batang diukur pada jarak 1 cm dari leher akar. Pengukuran pertumbuhan tanaman ini dilakukan setiap 2 minggu sekali. Tujuan pengamatan ini adalah untuk menganalisis pengaruh perlakuan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap pertumbuhan tanaman.



Gambar 3. 8 Perawatan dan Pengamatan pada Tanaman

### 3.10 Pemanenan

Tahapan pemanenan dilakukan setelah 1,5 bulan (6 minggu) penanaman. Pengamatan dilakukan hanya selama 1,5 bulan (6 minggu) karena sebagian tanaman menunjukkan tingkat kematian yang terus meningkat. Jika kegiatan pengamatan diteruskan hingga minggu-minggu berikutnya, dikhawatirkan sebagian besar tanaman akan mati, sehingga data pertumbuhan tidak dapat diperoleh secara maksimal. Dengan pertimbangan tersebut, pengamatan dihentikan pada minggu ke-6 agar data yang dikumpulkan tetap valid dan mewakili kondisi sebenarnya sebelum terjadi kematian tanaman secara menyeluruh. Pada tahap ini, tanaman dipisahkan menjadi bagian tanah, batang, dan akar. Setelah proses pemanenan selesai, dilakukan pengukuran biomassa basah maupun kering untuk keperluan analisis kandungan logam berat. Biomassa basah ditimbang menggunakan timbangan analitik, kemudian sampel batang dan akar dimasukkan ke dalam amplop cokelat yang telah di beri kode identitas tanaman. Sementara itu, sampel tanah dari tanaman dikemas dalam plastik kiloan yang rapat agar udara tidak masuk, serta diberi kode identitas tanaman untuk memudahkan pencatatan. Pengukuran biomassa kering dilakukan dengan cara mengeringkan jaringan tanaman dalam oven pada suhu 70 °C selama 72 jam, lalu ditimbang kembali menggunakan timbangan analitik.



Gambar 3. 9 Pemanenan Tanaman Uji

### 3.11 Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan dengan pendekatan statistik yang bertujuan untuk membandingkan hasil dari setiap perlakuan. Parameter yang diamati meliputi pH, kandungan nutrisi, serta kadar logam berat. Sampel yang digunakan berasal dari tanah dan jaringan tanaman, yaitu akar, batang, serta daun. Selanjutnya untuk pengukuran pH dilakukan di laboratorium Penguji Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Yogyakarta. Analisis kandungan nutrisi difokuskan pada fosfat, yang diuji menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Sementara itu, untuk logam berat yang diuji adalah merkuri (Hg), dengan pengujian menggunakan ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*).



Gambar 3. 10 Pengujian Sampel menggunakan AAS dan ICP-MS

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap Pertumbuhan Tanaman Uji

Pertumbuhan tanaman *Capsicum frutescens L.* diamati setiap 2 minggu sekali sepanjang periode 6 minggu (1,5 bulan). Pengukuran yang dilakukan mencakup pengukuran tinggi, diameter tanaman, jumlah daun, serta biomassa tanaman pasca perlakuan. Tujuan pengamatan ini adalah untuk menganalisis efek *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) sebagai media mikroba.

Selama 6 minggu pengamatan pada **Tabel 4.1**, terlihat bahwa terdapat 3 tanaman yang berhasil tumbuh pada media yang diberi perlakuan berupa pembenah tanah kompos dan PGPR, sedangkan pada media kontrol (tanpa perlakuan) hanya 2 tanaman yang bertahan. Kematian pada tanaman kontrol diduga disebabkan akar tidak mampu menyesuaikan diri dengan media polybag yang tidak dilengkapi pembenah tanah. Sementara itu, kematian pada tanaman dengan perlakuan K1 + PGPR (Kompos dan PGPR) kemungkinan terjadi karena pada fase awal pertumbuhan belum terbentuknya simbiosis yang optimal antara tanaman dan PGPR. Berikut merupakan tabel *survival rate* tanaman uji setiap minggunya:

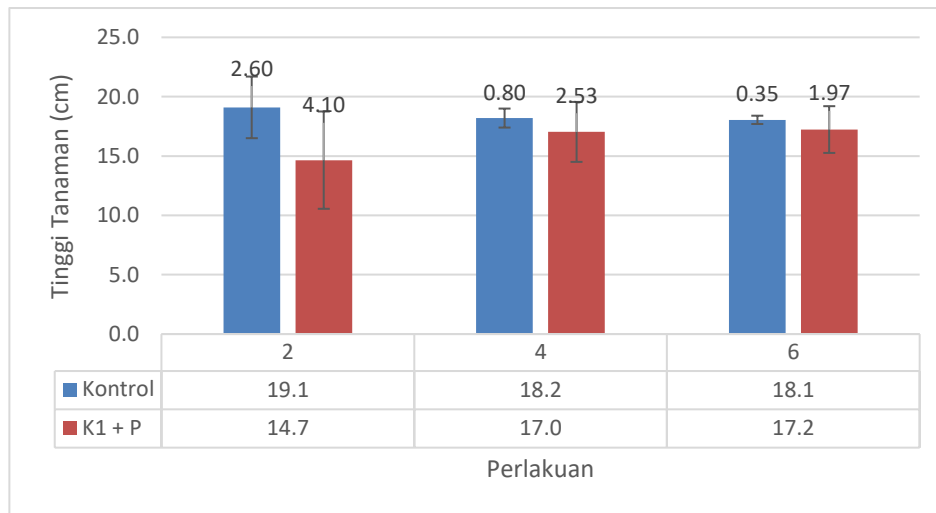
Tabel 4. 1 Survival Rate Tanaman Uji *Capsicum frutescens L.*

| Minggu | Kontrol |      | K1 + P (Kompos + PGPR) |      | Persentase |        |
|--------|---------|------|------------------------|------|------------|--------|
|        | Hidup   | Mati | Hidup                  | Mati | Kontrol    | K1 + P |
| 0      | 11      | 0    | 11                     | 0    | 100%       | 100%   |
| 2      | 3       | 8    | 11                     | 0    | 27%        | 100%   |
| 4      | 2       | 1    | 6                      | 5    | 18%        | 55%    |
| 6      | 2       | 0    | 3                      | 3    | 18%        | 27%    |

#### 4.1.1 Tinggi Tanaman

Dari hasil pengukuran tinggi tanaman *Capsicum frutescens* L. memperlihatkan adanya variasi pertumbuhan antara tanaman kontrol dengan tanaman yang diberi perlakuan kompos dan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Perbedaan tinggi tanaman mulai terlihat sejak minggu ke-2 dan berlanjut pada pengamatan berikutnya.

Pada **Gambar 4.1** menampilkan diagram pertumbuhan tinggi tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan tanaman kontrol dan tanaman dengan perlakuan bahan pembenah tanah kompos dan inokulasi PGPR (K1 + P). Pada minggu ke-6, rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan tersebut mencapai 17,2 cm, sedangkan pada tanaman kontrol tingginya mencapai 18,1 cm.



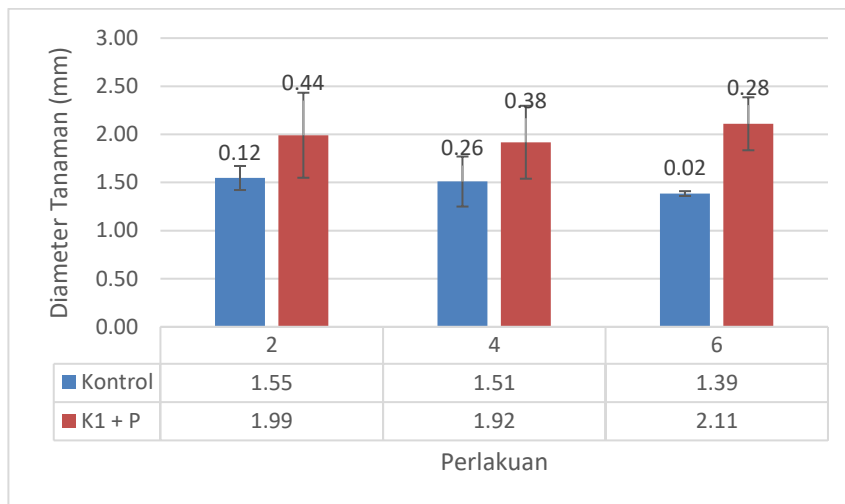
Gambar 4. 1 Pertumbuhan Tinggi Tanaman *Capsicum frutescens* L.

Perkembangan tinggi tanaman *Capsicum frutescens* L. pada tanaman kontrol menunjukkan kecenderungan lebih lambat atau bahkan menurun dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan berupa kompos dan inokulasi PGPR. Perlakuan kompos serta PGPR memberikan dampak positif berupa peningkatan pertumbuhan tinggi tanaman pada setiap minggunya. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan PGPR berperan penting dalam mendukung proses pertumbuhan tersebut. Tanaman yang mendapatkan perlakuan inokulasi mikroba PGPR terbukti memberikan hasil yang lebih optimal. Penambahan PGPR ke dalam tanah juga berkontribusi terhadap peningkatan kesuburan tanah (Gupta *et al.*, 2015).

#### 4.1.2 Diameter Tanaman

Berdasarkan hasil pengukuran, diameter batang *Capsicum frutescens* L. pada tanaman kontrol berbeda dengan tanaman yang memperoleh perlakuan berupa kompos dan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Perbedaan tersebut mulai terlihat sejak minggu ke-2.

Pada **Gambar 4.2** menampilkan diagram pertumbuhan diameter tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan tanaman kontrol dan tanaman yang diberi perlakuan berupa kompos dan inokulasi PGPR (K1 + P). Pada minggu ke-6, rata-rata diameter tanaman yang mendapat perlakuan tersebut mencapai 2,11 mm, sedangkan pada tanaman kontrol hanya mencapai 1,39 mm.



Gambar 4. 2 Diameter Tanaman *Capsicum frutescens* L.

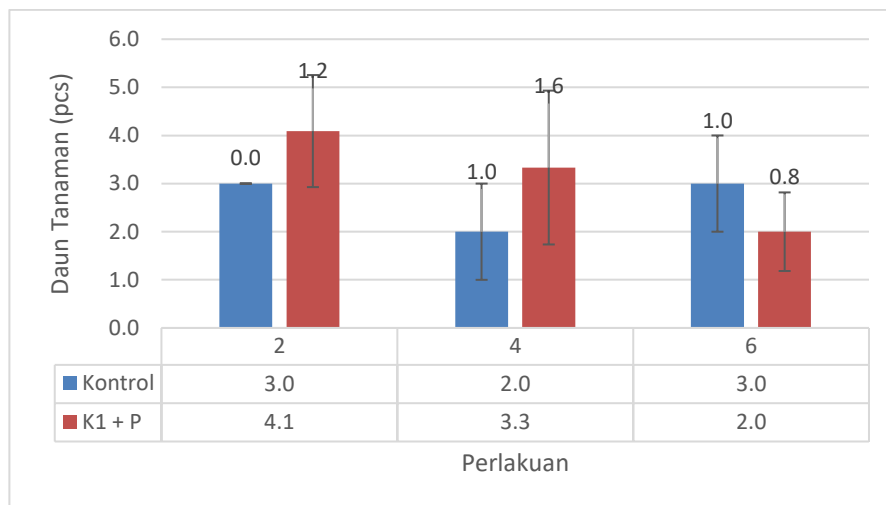
Perkembangan diameter tanaman *Capsicum frutescens* L. pada tanaman kontrol menunjukkan kecenderungan lebih lambat atau bahkan menurun dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan berupa kompos dan inokulasi PGPR. Perlakuan kompos serta PGPR memberikan dampak positif berupa peningkatan pertumbuhan tinggi tanaman pada setiap minggunya. Hal ini membuktikan kembali bahwa keberadaan PGPR mengindikasikan dapat berperan penting dalam mendukung proses pertumbuhan diameter tanaman. Penggunaan inokulasi PGPR dapat menjadi pilihan yang efektif untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman tanpa perlu pemupukan kimia, sekaligus membantu tanaman beradaptasi lebih baik pada kondisi yang sulit. Hal ini sangat bermanfaat bagi akasia, yang dikenal sebagai tanaman pengikat nitrogen dan

kerap dimanfaatkan untuk tujuan restorasi serta rehabilitasi lahan (Lebrazi *et al.*, 2020).

#### 4.1.3 Daun Tanaman

Dari hasil pengamatan jumlah daun tanaman *Capsicum frutescens* L. memperlihatkan adanya variasi pertumbuhan daun antara tanaman kontrol dengan tanaman yang diberi perlakuan kompos dan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Perbedaan jumlah daun tanaman mulai terlihat sejak minggu ke-2 dan berlanjut pada pengamatan berikutnya.

Pada **Gambar 4.3** menampilkan diagram pertumbuhan jumlah daun tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan tanaman kontrol dan tanaman dengan perlakuan bahan pembenah tanah kompos dan inokulasi PGPR (K1 + P). Pada minggu ke-6, rata-rata jumlah daun tanaman pada perlakuan tersebut mencapai 2,0 pcs, sedangkan pada tanaman kontrol jumlah daun tanaman mencapai 3,0 pcs.



Gambar 4. 3 Jumlah Daun Tanaman *Capsicum frutescens* L.

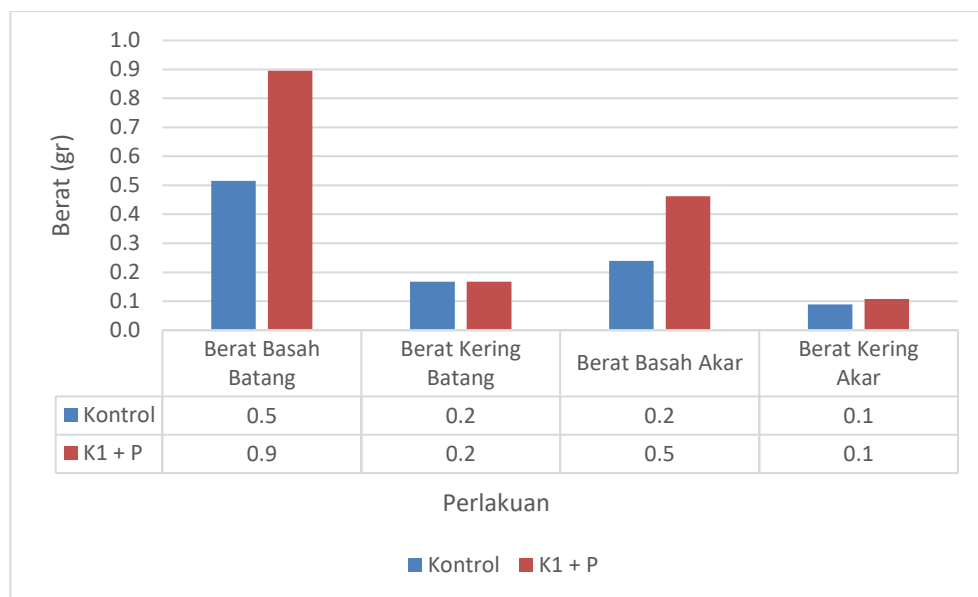
Pertumbuhan jumlah daun terlihat sejak minggu ke-2 hingga minggu ke-6. Namun, pada minggu ke-6 jumlah daun pada tanaman dengan perlakuan kompos dan inokulasi PGPR cenderung semakin berkurang karena adanya kerontokan. Sebelum daun rontok, biasanya terjadi perubahan warna menjadi kuning atau kemerahan. Pergeseran warna tersebut menunjukkan bahwa kandungan klorofil

menurun, yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor genetik, intensitas cahaya, maupun ketersediaan mineral tertentu (Anggraini & Widowati, 2013).

#### 4.1.4 Biomassa Tanaman

Biomassa tanaman *Capsicum frutescens* L. yang mencakup bagian akar dan batang, diukur berdasarkan bobot basah maupun bobot kering. Proses pengeringan dilakukan dengan cara mengoven pada suhu 70 °C selama 72 jam (3 hari). Tahap ini bertujuan untuk menurunkan kadar air pada tanaman, sehingga sampel dapat digunakan dalam analisis kandungan unsur hara dan logam berat.

Data biomassa yang dianalisis mencakup berbagai bagian tanaman. Komponen yang diamati meliputi batang dan akar. Hasil pengukuran yang diperoleh berasal dari hasil penimbangan biomassa pada masing-masing bagian tanaman, baik dari berat basah maupun berat kering. Berikut adalah hasil pengukuran biomassa dari setiap komponen tanaman:



Gambar 4. 4 Biomassa Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens* L.

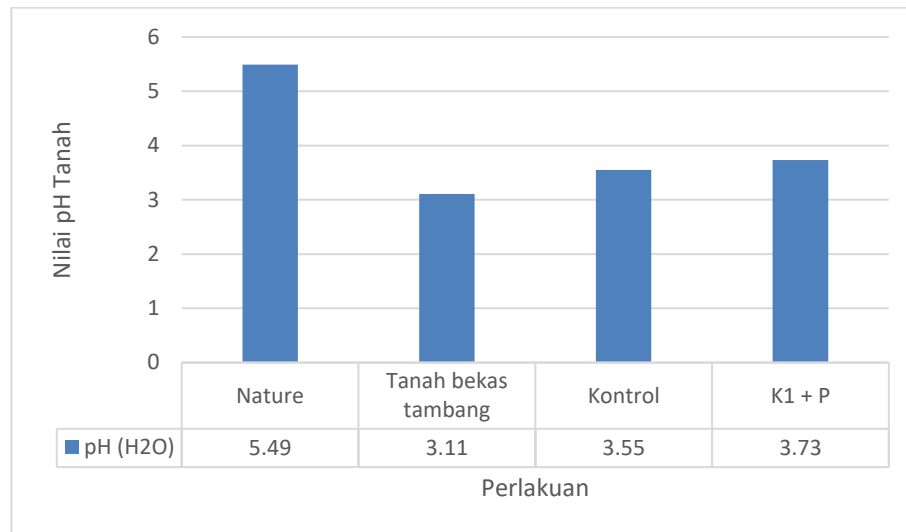
Pada sampel yang telah dianalisis diatas terlihat bahwa data yang diperoleh menunjukkan adanya variasi. Contohnya, pada diagram berat basah akar, rata-rata berat basah akar pada tanah kontrol tercatat sebesar 0,2 gram, sedangkan

pada tanah dengan perlakuan kompos dan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) rata-ratanya mencapai 0,5 gram. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tertinggi berat basah akar terdapat pada perlakuan kompos dan PGPR, yaitu 0,5 gram, sementara nilai terendah terdapat pada kontrol dengan rata-rata 0,2 gram. Penggunaan kompos mampu menambah kandungan bahan organik dalam tanah sehingga struktur fisiknya menjadi lebih baik dan gembur. Tanah yang gembur akan memudahkan akar tanaman untuk menyerap air serta unsur hara secara optimal (Widodo & Kusuma, 2018).

#### 4.2 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap pH

Keasaman dan kebasaan tanah berasal dari berbagai senyawa. Air hanya menyumbang sedikit ion H karena disosiasi  $H_2O$  yang lemah. Sumber utama ion H adalah asam organik dan organik. Proses yang melepaskan ion H meliputi respirasi akar dan organisme tanah, dekomposisi bahan organik, pelarutan mineral, masuknya  $CO_2$ , atmosfer ke dalam lensa tanah, pelarutan Al, nitrifikasi, oksidasi nitrogen dan sulfur, serta pelarutan dan degradasi pupuk kimia (Notahadiprawiro, 1998).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Gambar 4.5**, nilai pH tanah menunjukkan variasi yang cukup signifikan antarperlakuan. Tanah *nature* memiliki pH tertinggi yaitu sebesar 5,49, yang menunjukkan kondisi tanah relatif stabil dengan tingkat keasaman rendah atau mendekati netral. Sebaliknya, tanah bekas tambang emas memiliki pH paling rendah sebesar 3,11, menandakan bahwa tanah tersebut bersifat sangat asam. Pada perlakuan kontrol, nilai pH meningkat menjadi 3,55, menandakan adanya sedikit perbaikan kondisi tanah meskipun masih tergolong asam. Sementara itu, pada perlakuan kombinasi kompos dan PGPR (K1 + P), nilai pH meningkat lebih tinggi menjadi 3,73, menunjukkan bahwa aplikasi kompos dan PGPR mempunyai kecenderungan dapat menetralkan keasaman tanah lebih baik dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan pH ini disebabkan oleh kandungan bahan organik pada kompos yang berfungsi sebagai penyangga (buffer) ion  $H^+$ , serta aktivitas mikroba PGPR yang dapat menghasilkan senyawa organik yang berperan dalam menurunkan keasaman tanah (Irfan, 2014).



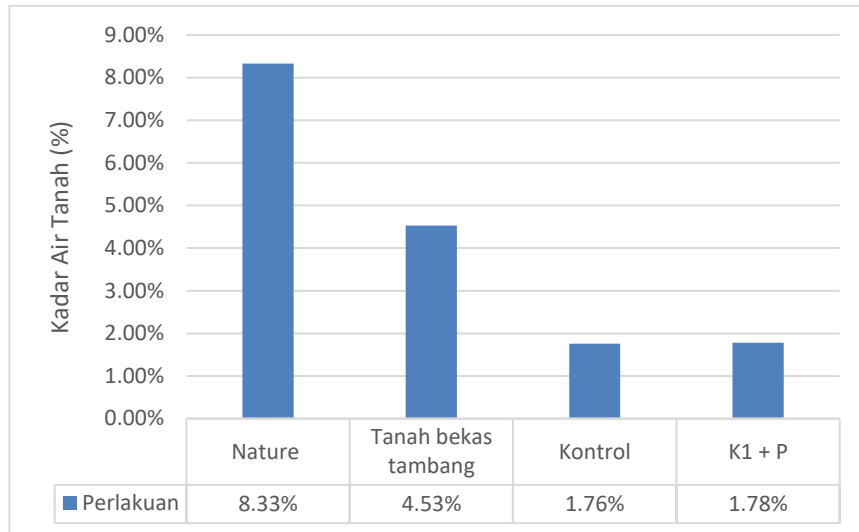
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Ph H<sub>2</sub>O Tanah

### 4.3 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap Nutrisi

Dalam kesuburan tanah sangat bergantung pada keberadaan unsur hara. Unsur hara ini berfungsi sebagai sumber nutrisi yang wajib tersedia di dalam tanah agar tidak menimbulkan sifat beracun maupun dampak negatif bagi ekosistem dan makhluk hidup disekitarnya. Selain itu, unsur hara juga menjadi sumber makanan bagi tanaman, baik berasal secara alami dari tanah maupun yang ditambahkan dari luar. Tanah banyak sekali mengandung unsur hara salah satunya unsur Kadar Air Tanah, Sulfat, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Tanah, dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Batang.

#### 4.3.1 Kadar Air Tanah

Pada **Gambar 4.6** merupakan hasil pengujian kadar air tanah pada tanah nature, tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan K1 + P (Kompos + PGPR). Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa kadar air tanah tertinggi terdapat pada tanah *nature* sebesar 8,33%, untuk kadar air tanah terendah terdapat pada tanah kontrol sebesar 1,76%. Sedangkan pada perlakuan Kompos dan PGPR untuk kadar air tanahnya hampir mendekati dengan tanaman kontrol yaitu sebesar 1,78%. Menurut pernyataan Hanafiah (2007) bahwa kadar air tanah dipengaruhi oleh kadar bahan organik dan kedalaman solum. Semakin tinggi kandungan bahan organik tanah, maka kemampuan tanah dalam menahan air akan meningkat, dan semakin besar kedalaman solum, kadar air tanah juga cenderung lebih tinggi dalam menurunkan keasaman tanah.

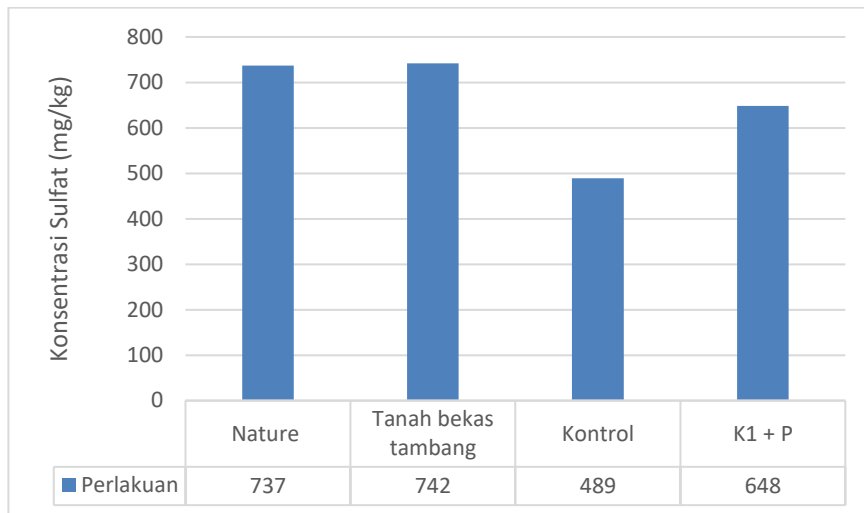


Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

#### 4.3.2 Konsentrasi Sulfat

Sulfat adalah anion poliatomik berformula  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan massa molar sekitar  $96,06 \text{ g.mol}^{-1}$ . Strukturnya menempatkan atom sulfur di pusat yang diikat pada empat atom oksigen dalam konfigurasi tetrahedral. Ion ini bermuatan negatif dua dan berperan sebagai basa konjugat dari ion hidrogen sulfat (bisulfat) (Ramadhani, 2023). Analisis sulfat dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.20-2024 (metode uji  $\text{SO}_4^{2-}$  secara turbidimetri).

Pada **Gambar 4.7** menunjukkan grafik hasil pengujian sulfat pada tanah *nature*, tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan K1 + P (Kompos dan PGPR). Dari hasil pengujian diperoleh konsentrasi sulfat tertinggi terdapat pada tanah bekas tambang sebesar  $742 \text{ mg/kg}$ , sedangkan konsentrasi sulfat terendah terdapat pada tanah kontrol sebesar  $489 \text{ mg/kg}$ . Sementara itu, untuk konsentrasi pada tanah perlakuan K1 + P sebesar  $648 \text{ mg/kg}$ . Hasil dari perlakuan K1 + P ini mempunyai kecenderungan konsentrasi sulfat pada tanah yang lebih baik dibandingkan dengan tanah kontrol. Kondisi ini disebabkan karena kedekatan titik sampling dengan peternakan kambing, karena ekskresi (kotoran dan urin) kambing mengandung senyawa sulfat yang berasal dari pemecahan protein (Shand *et al.*, 2002).



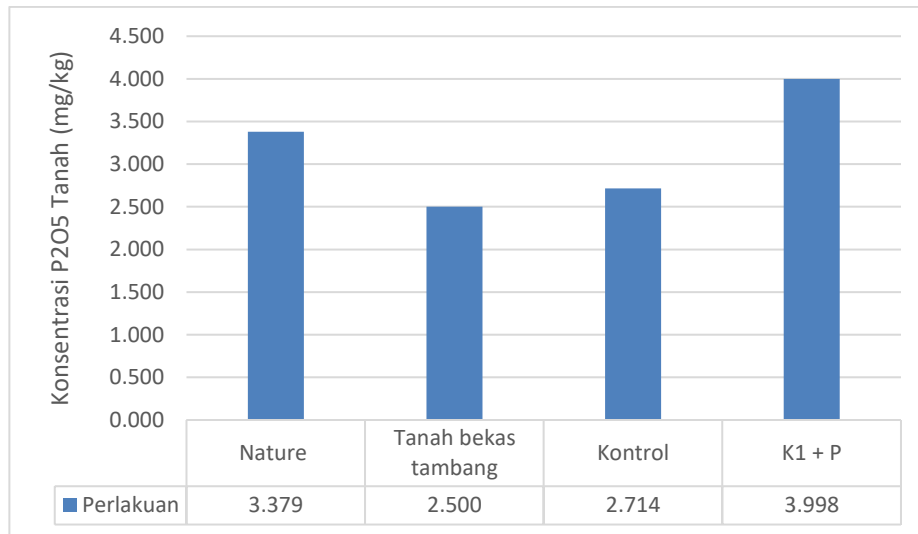
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Sulfat pada Tanah

#### 4.3.3 Konsentrasi $P_2O_5$ Tanah

Fosfat (P) adalah salah satu unsur hara penting yang menyusun berbagai senyawa utama serta berfungsi sebagai katalis dalam reaksi biokimia di dalam tubuh tanaman. Unsur ini juga berperan dalam proses penyerapan sekaligus konversi energi matahari menjadi senyawa yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, P memiliki peranan krusial dalam menunjang nutrisi agar tanaman dapat tumbuh, berkembang, dan memproduksi secara optimal (Rohmah, 2015).

Pada **Gambar 4.8** merupakan hasil pengujian  $P_2O_5$  pada Tanah *nature*, tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan K1 + P (Kompos dan PGPR). Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi  $P_2O_5$  tertinggi terdapat pada tanah K1 + P sebesar 3,998 mg/kg, sementara untuk konsentrasi  $P_2O_5$  terendah terdapat pada tanah bekas tambang sebesar 2,500 mg/kg. Tanah *nature* dengan kadar fosfat sebesar 3,379 mg/kg menunjukkan tingkat kesuburan fosfat yang cukup baik karena belum terdampak aktivitas penambangan. Pada tanah kontrol kadar  $P_2O_5$  sebesar 2,714 mg/kg, menandakan adanya proses pemulihan alami meskipun belum berlangsung secara optimal. Hasil dari perlakuan K1 + P ini mempunyai kecenderungan kadar  $P_2O_5$  pada tanah yang lebih baik dibandingkan dengan tanah kontrol (Jayadi *et al.*, 2023). Menurut Petunjuk Teknis Balai Penelitian Tanah tahun 2009, hasil dari perlakuan K1 + P ini

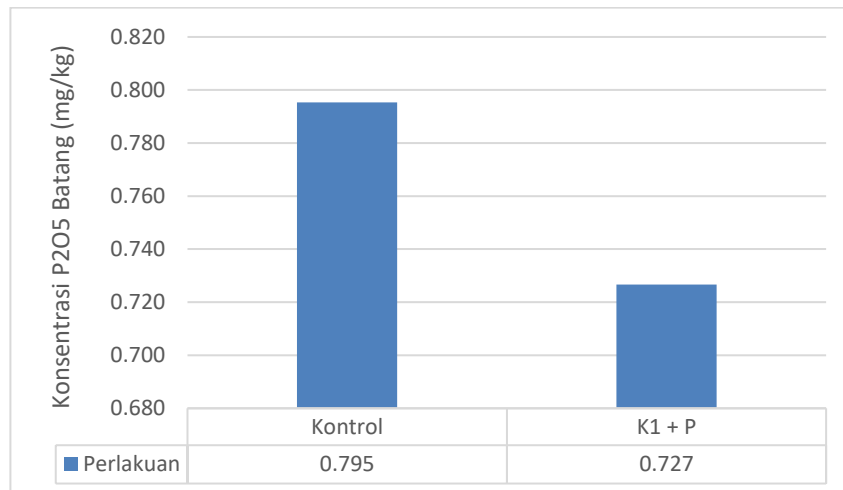
masuk dalam kategori sangat rendah yang dimana konsentrasi  $P_2O_5$  nya kurang dari 100 mg/kg.



Gambar 4. 8 Hasil Pengujian  $P_2O_5$  pada Tanah

#### 4.3.4 Konsentrasi $P_2O_5$ Batang

Pada **Gambar 4.9** merupakan hasil pengujian  $P_2O_5$  pada Batang tanah kontrol dan K1 + P (Kompos dan PGPR). Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi  $P_2O_5$  tertinggi terdapat pada tanah kontrol sebesar 0,795 mg/kg, sementara untuk konsentrasi  $P_2O_5$  terendah terdapat pada tanah perlakuan K1 + P sebesar 0,727 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa  $P_2O_5$  yang ada di dalam tanah cenderung dapat diserap oleh tanaman dan dialirkan secara optimal ke bagian batang. Ketersediaan fosfat dipengaruhi terutama oleh pH tanah, namun juga ditentukan oleh beberapa faktor lain seperti aerasi tanah, suhu, kandungan bahan organik, serta unsur hara pendukung lainnya (Siswanto, 2019). Menurut Marschner (2012) hasil dari perlakuan K1 + P ini masuk dalam kategori sangat rendah yang dimana konsentrasi  $P_2O_5$  nya kurang dari 1,000 mg/kg.



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada Batang

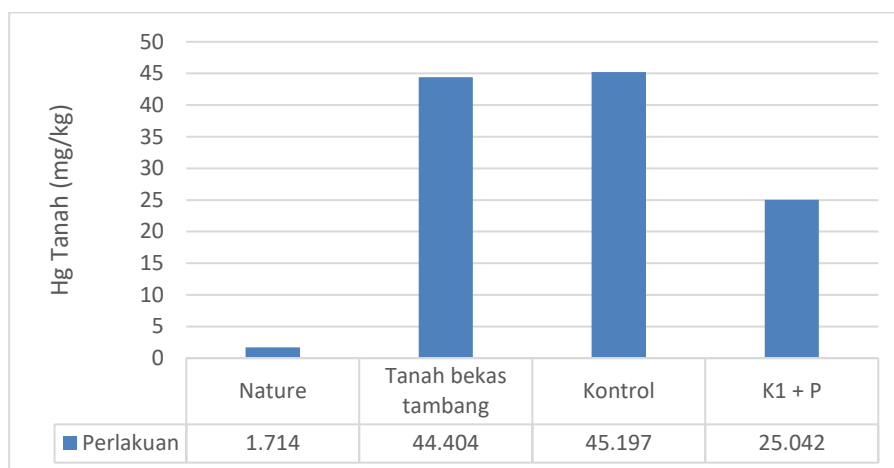
#### 4.4 Pengaruh Kompos dan PGPR sebagai Media Mikroba terhadap Logam Berat

Logam berat merkuri (Hg) adalah logam berat beracun yang sering menjadi bahan utama dalam limbah pertambangan emas, karena fungsinya sebagai agen pengikat dalam teknik amalgamasi (Yulis, 2020).

##### 4.4.1 Konsentrasi Logam Hg Tanah

Pada **Gambar 4.10** merupakan grafik yang menampilkan hasil analisis kandungan Hg pada beberapa jenis tanah, yaitu tanah *nature*, tanah bekas tambang, tanah kontrol, serta tanah dengan perlakuan K1 + P (Kompos dan PGPR). Nilai konsentrasi Hg tertinggi tercatat pada tanah kontrol sebesar 45,19 mg/kg, diikuti oleh tanah bekas tambang sebesar 44,40 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi terendah ditemukan pada tanah *nature* dengan nilai 1,71 mg/kg. Pada tanah dengan perlakuan K1 + P, konsentrasi Hg terukur sebesar 25,04 mg/kg. Hasil dari perlakuan K1 + P ini mempunyai kecenderungan kadar Hg yang lebih baik dalam tanah dibanding dengan tanah kontrol yang sebesar 45,19 mg/kg menjadi 25,04 mg/kg. Menurut Jayadi et al. (2023) aplikasi bahan organik seperti kompos pada tanah masam mampu meningkatkan pH dan kandungan kation basa yang kemudian menurunkan kelarutan logam berat. Peningkatan pH akibat dekomposisi bahan organik juga menyebabkan ion Hg<sup>2+</sup> mengendap dalam bentuk senyawa yang kurang reaktif, misalnya Hg(OH)<sub>2</sub> atau HgS. Sementara PGPR meningkatkan ketersediaan unsur hara

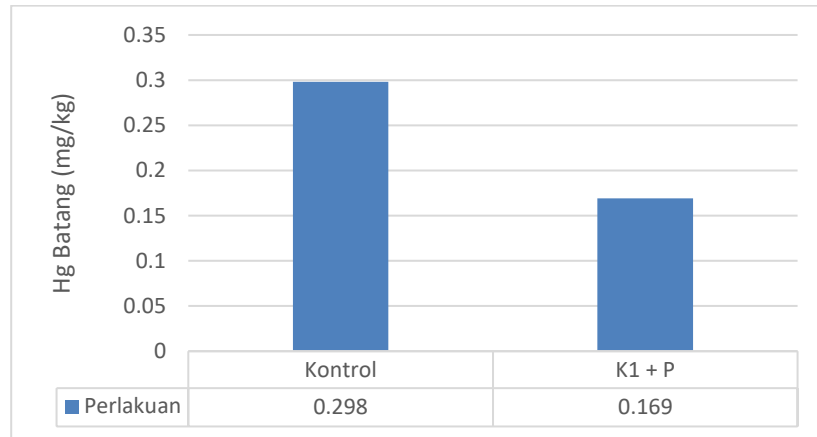
dan mempercepat proses bioremediasi logam berat. Menurut *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) tahun 2024, batas maksimum kandungan Hg pada tanah perumahan yaitu 0,23 mg/kg.



Gambar 4. 10 Konsentrasi Merkuri (Hg) Tanah

#### 4.4.2 Konsentrasi Logam Hg Batang

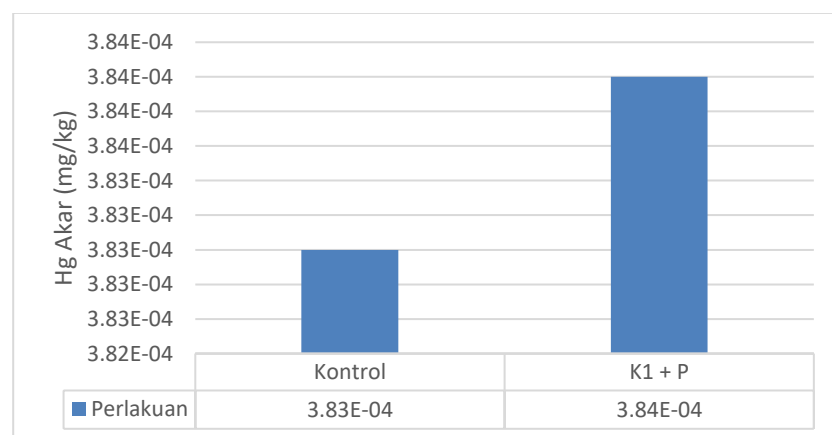
Pada **Gambar 4.11** merupakan grafik yang menampilkan hasil analisis kandungan Hg pada beberapa jenis tanah, yaitu tanah kontrol dan tanah dengan perlakuan K1 + P (Kompos dan PGPR). Nilai konsentrasi Hg tertinggi tercatat pada tanah kontrol sebesar 0,298 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi terendah ditemukan pada tanah dengan perlakuan K1 + P, konsentrasi Hg terukur sebesar 0,169 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi kompos dengan PGPR mempunyai kecenderungan tingkat akumulasi merkuri pada batang tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi antara kompos dan PGPR berpotensi menghambat penyerapan logam berat merkuri ke dalam jaringan tanaman. Mekanisme yang mungkin terlibat meliputi peningkatan aktivitas mikroba tanah, pembentukan bentuk merkuri yang lebih stabil dan kurang tersedia bagi tanaman, serta perbaikan karakteristik fisik dan kimia tanah yang berkontribusi pada berkurangnya mobilitas merkuri (Erusani *et al.*, 2024).



Gambar 4. 11 Konsentrasi Merkuri (Hg) Batang

#### 4.4.3 Konsentrasi Logam Hg Akar

Pada **Gambar 4.12** merupakan grafik yang menampilkan hasil analisis kandungan Hg pada beberapa jenis tanah, yaitu tanah kontrol dan tanah dengan perlakuan K1 + P (Kompos dan PGPR). Nilai konsentrasi Hg tertinggi tercatat pada dengan perlakuan K1 + P sebesar  $3,84 \times 10^{-4}$  mg/kg. Sementara itu, konsentrasi terendah ditemukan pada tanah kontrol sebesar  $3,83 \times 10^{-4}$  mg/kg. Perbedaan nilai antara kedua perlakuan ini sangat kecil dan tidak signifikan, mengindikasikan bahwa pemberian kompos dan PGPR tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar merkuri pada akar tanaman. Dengan demikian, pengaruhnya terhadap konsentrasi Hg pada akar relatif kecil, menunjukkan bahwa mekanisme utama remediasi lebih terkait dengan imobilisasi Hg di tanah daripada peningkatan serapan oleh akar (Muryani *et al.*, 2023).



Gambar 4. 12 Konsentrasi Merkuri (Hg) Akar

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian “Potensi Kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap *Capsicum frutescens L.* untuk Remediasi Tanah Bekas Tambang Emas Desa Kalirejo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta” dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) mempunyai kecenderungan mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Hal ini ditunjukkan dengan adanya indikasi peningkatan pada kadar air tanah, ketersediaan unsur hara (seperti sulfat dan fosfat), serta konsentrasi merkuri (Hg) yang lebih baik pada tanah perlakuan dibandingkan tanah kontrol.
2. Tanaman yang diberi perlakuan kompos dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) menunjukkan kecenderungan pertumbuhan lebih baik pada beberapa parameter, terutama pada diameter batang dan biomassa akar. Rata-rata diameter batang mencapai 2,11 mm untuk tanah dengan perlakuan kompos dan inokulasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), dibanding dengan tanah kontrol yang hanya mencapai 1,39 mm, dan berat basah akar meningkat dari 0,2 gram menjadi 0,5 gram.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian ini agar hasil yang didapatkan lebih optimal adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian dengan mencoba variasi dosis kombinasi kompos serta *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang berbeda untuk mendapatkan dosis yang optimal.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan jenis tanaman lain selain *Capsicum frutescens L.* khususnya tanaman akumulator logam berat, sehingga dapat dibandingkan efektivitas remediasi antar spesies tanaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. (2014). Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *TEKNOBUGA: Jurnal Teknologi Busana Dan Boga*, 1(1).
- Anggraini, D., & Widowati, H. (2013). Perbandingan produksi cabai merah (*Capsicum annum*, L.) antara yang menggunakan media tanam sekam bakar kompos dengan sekam bakar pupuk kandang sebagai sumber belajar biologi SMA. *BIOEDUKASI: Jurnal Pendidikan Biologi*, 4(2).
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Edisi 2. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Banunaek, Z. A. (2016). Pencemaran merkuri di lahan pertambangan emas rakyat dan strategi pengendaliannya. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Budiono, A. (2003). Pengaruh pencemaran merkuri terhadap biota air. *Bogor: Institut Pertanian Bogor*.
- Erusani, A. S., Arofah, N., Azahra, F., Nurhasni, N., & Inayah, T. (2024). Phytoremediation of mercury and cyanide contaminated soils by physic nut (*Jatropha curcas* L.) and citronella grass (*Cymbopogon nardus*). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1581-1593.
- Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, 7(2), 096-102.
- Hanafiah, K dan Sutherland, R.A. (2007). SPATIAL VARIABILITY OF <sup>137</sup>CS AND INFLUENCE OF SAMPLING ON ESTIMATES OF SEDIMENT REDISTRIBUTION, *Catena*.
- Hatta, M. (2011). Aplikasi perlakuan permukaan tanah dan jenis bahan organik terhadap indeks pertumbuhan tanaman cabe rawit. *Jurnal Floratek*, 6(1), 8-27.
- Herawaty, H., Mukhlisah, N., Harlina, H., Mahi, F., & Muchtar, A. A. (2023). Pengenalan Pupuk Kompos Untuk Pertumbuhan Tanaman di Bumi

- Perkemahan HM Yasin Limpo Candika, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. *Journal of training and community service adptersi (JTCSA)*, 3(2), 8-12.
- Herman, D. Z. (2006). Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(1), 31-36.
- Husen, E., R. Saraswati dan R.D. Hastuti. 2008. Rizobakteri Pemacu Tumbuh Tanaman.
- Irfan, M. (2014). Isolasi dan enumerasi bakteri tanah gambut di perkebunan kelapa sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 1-8.
- Jayadi, M., Rismaneswati, R., & Abd Majid, S. (2023). Availability of phosphorus in Ultisols by applying compost and phosphate rock. *Anjoro: International Journal of Agriculture and Business*, 4(1), 21-28.
- Khairunnisa. (2017). Analisis merkuri (Hg) dalam darah pada penambang emas tradisional di desa pumpung kecamatan cempaka kota banjarbaru 2017. *Вестник Росздравнадзора*, 4, 9–15.
- Khasanah, E. W. N., Fuskhah, E., & Sutarno, S. (2021). Pengaruh berbagai jenis pupuk kandang dan konsentrasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap pertumbuhan dan produksi cabai (*Capsicum Annum L.*). *Mediagro*, 17(1).
- Kouassi, K. C., Rose, K. N., Yao, G. L., Nanga, Y. Z., Marina, K., Tano, K., & Kra, A. K. (2012). Profiles of bioactive compounds of some pepper fruit (*Capsicum L.*) varieties grown in Cote d'Ivoire. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, (11), 23-31.
- Kusdarini, E. And Budianto, A., 2021. Pengelolaan Tambang Emas Rakyat Berbasis Masyarakat. Katalog Buku Karya Dosen ITATS, 1, pp.7-18.
- Kusuma, R.C., Wawan Budianta, and Arifudin. 2017. Kajian Kandungan Logam Berat Di Lokasi Penambangan Emas Tradisional Di Desa Sangon, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo. *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi"*, 322-27.

- Lebrazi, S., Niehaus, K., Bednarz, H., Fadil, M., Chraibi, M., & Fikri-Benbrahim, K. (2020). Penapisan dan optimasi produksi asam indol-3-asetat dan pelarutan fosfat oleh galur rizobakteri yang diisolasi dari bintil akar *Acacia cyanophylla* serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Rekayasa Genetika dan Bioteknologi*, 18 (1), 71.
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants.
- McMillan, 2007. Promoting Growth with PGPR. Soil Foodweb. Canada Ltd. Soil Biology Laboratory and Learning Centre. 32-34.
- Muhanniah, M., & Hasanuddin, F. (2025). Pertumbuhan dan produksi beberapa varietas cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*) Pada berbagai dosis pupuk organik cair jerami padi. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 13(1), 1-12.
- MURYANI, E., SAJIDAN, S., BUDIASTUTI, M. T. S., & PRANOTO, P. (2023). Diversity and potential of herbaceous plants as mercury (Hg) hyperaccumulators in small-scale gold mining sites in Pancurendang, Banyumas, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(6).
- Notahadiprawiro, T. (1998). *Tanah dan Lingkungan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Nurfalach, D. R. (2010). Budidaya tanaman cabai merah (*Capsicum annum L.*) Di UPTD perbibitan tanaman hortikultura Desa Pakopen Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. *Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta*.
- Purwani, J. (2010). Remediasi tanah dengan menggunakan tanaman akumulator logam berat akar wangi (*Vetiveria zizanioides L.*). *Balai Penelitian Tanah. Bogor*, 287-298.
- Purwono. 2003. Bertanam Cabai Rawit Dalam Pot. Tim Lentera, Jakarta.
- Rahni, N. M. (2012). Efek fitohormon PGPR terhadap pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*). *CEFARS: Jurnal Agribisnis Dan Pengembangan Wilayah*, 3(2), 27-35.
- Ramadhani, T. (2023). *Verifikasi Metode Penentuan Sulfat (SO<sub>2</sub>-) Pada Air Sungai Musi Dengan Spektrofotometri UV-Vis Single Beam di Laboratorium PT Pupuk Sriwidjaja Palembang* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

- Rohmah, S. (2015). *Analisis sebaran kesuburan tanah dengan metode potensial diri (self potential): Studi kasus daerah pertanian Bedengan Malang* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Rukmana, H. R. 2002. Usaha Tani Cabai Rawit. Kanisius, Yogyakarta.
- Salamiah & R, W., 2015. Pemanfaatan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Dalam Pengendalian Penyakit Tungro Pada Padi Lokal Kalimantan Selatan.. Pros Sem Nas Masy Biodive Ind, 1(6), pp. 1448-1456
- Santoso, D. H., & Gomareuzzaman, M. (2018). Kelayakan Teknis Penambangan Emas Pada Wilayah Pertambangan Rakyat Studi Kasus: Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 4(1), 19-28.
- Sarpian, T. 2003. Bertanam Cabai Rawit Dalam Polybag. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sawal, S. M., Suhaeni, S., & Indradewi, R. (2024). Pengaruh Pupuk Hayati *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) pada Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Dan Eksplorasi Mikroorganisme pada Produk Menggunakan 16S rRNA. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 12(3), 374-382.
- Setiadi. 2007. Jenis dan Budidaya Cabai Rawit. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Shand, C. A., Williams, B. L., Dawson, L. A., Smith, S., & Young, M. E. (2002). Sheep urine affects soil solution nutrient composition and roots: differences between field and sward box soils and the effects of synthetic and natural sheep urine. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), 163-171.
- Siswanto, B. (2019). Sebaran unsur hara N, P, K dan pH dalam tanah. *Buana Sains*, 18(2), 109-124.
- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. (2018). Kandungan logam non esensial (Pb, Cd dan Hg) dan logam esensial (Cu, Cr dan Zn) pada sedimen di perairan Tuban Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 69-74.
- Syamsiah. 2016. Taksonomi Tumbuhan Tinggi. Buku Ajar. Jurusan Biologi, Fakultas FMIPA, UNM, Makassar.
- Tindall, H. D. 1983. Vegetable In The Tropics. Macmillan, London.

- Tjandra, E. 2011. Panen Cabai Rawit Di Polybag. Cahaya Atma Pustaka, Yogyakarta.
- Tuhuteru, S., Sulistyaningsih, E., & Wibowo, A. (2019). Aplikasi plant growth promoting rhizobacteria dalam meningkatkan produktivitas bawang merah di lahan pasir pantai. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 47(1), 53-60.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Regional Screening Levels (RSLs) for Chemical Contaminants at Superfund Sites. Washington, DC: USEPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>.
- Wahyudi, A.T. 2009. Rhizobacteria Pemacu Pertumbuhan Tanaman : Prospeknya sebagai Agen Biostimulator & Biokontrol. Nano Indonesia. [www.nuance.com](http://www.nuance.com).
- Wahyudi Dan M. Topan. 2011. Panen Cabai Di Pekarangan Rumah. Agromedia, Jakarta.
- Widodo, K. H., & Kusuma, Z. (2018). Pengaruh kompos terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 959-967.
- Widodo, W. (2008). Pengaruh Perlakuan Amalgamasi Terhadap Tingkat Perolehan Emas dan Kehilangan Merkuri. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 18(1), 47-53.
- Yanuarti, SP. A. R Dan Mudya, Dewi Apsari SE. 2016. Profil Komoditas Barang Kebutuhan Pokok Dan Barang Penting Komoditas Cabai. Kementrian Pertanian, Jakarta.
- YULIS, P. A. R. (2020). Penentuan Kadar Logam Berat Air Sungai Singingi Terdampak Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI). *Jurnal Katalisator*, 5(2), 188-196.

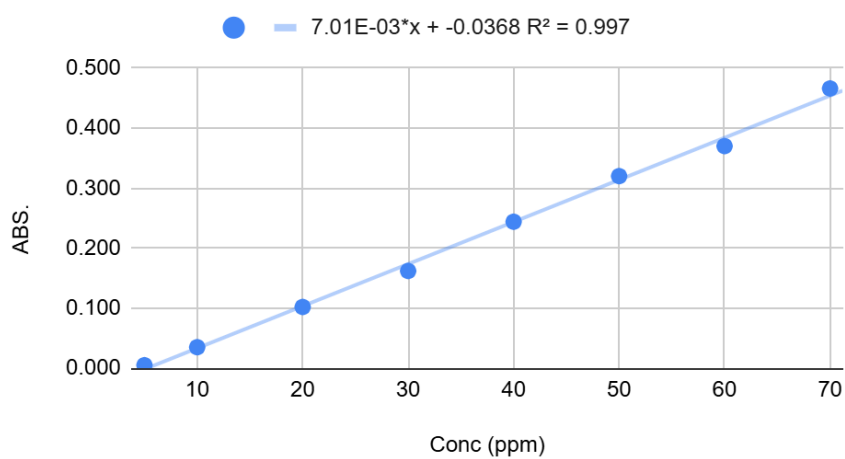
## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Kurva Kalibrasi

#### Kurva Kalibrasi Sulfat

| Kode  | Conc (ppm) | ABS.  |
|-------|------------|-------|
| blank | 0          | 0     |
| 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 |

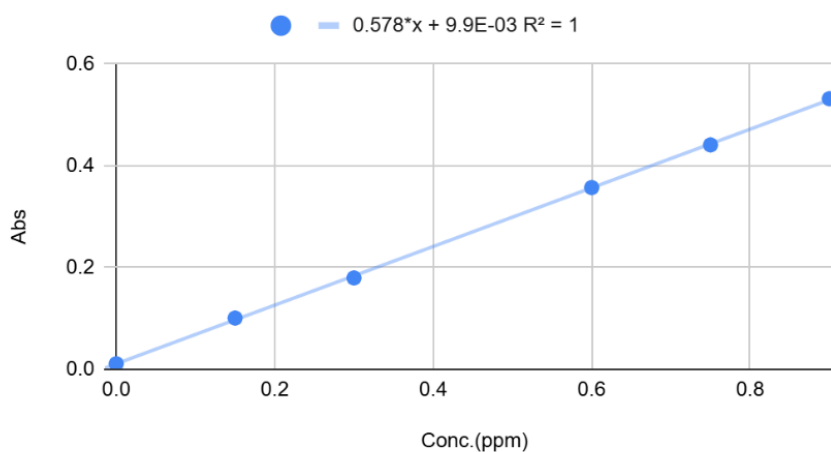
#### Kurva Kalibrasi Standar



### Kurva Kalibrasi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

| Kode                     | C std (ppm) | Abs      |
|--------------------------|-------------|----------|
| 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    |
| <b>Rerata abs</b>        |             | 0.2698   |
| <b>Koef. Korelasi, R</b> |             | 0.9999   |
| <b>Slope</b>             |             | 0.5776   |
| <b>Intersep</b>          |             | 0.0099   |
| <b>STEYX</b>             |             | 0.0031   |
| <b>DEVSQ</b>             |             | 0.63     |
| <b>LoD (µg)</b>          |             | 0.0163   |
| <b>LoQ (µg)</b>          |             | 0.0542   |
| <b>Intersep/Slope</b>    |             | 0.0171   |
| <b>MDL Estimasi</b>      |             | 737.4725 |

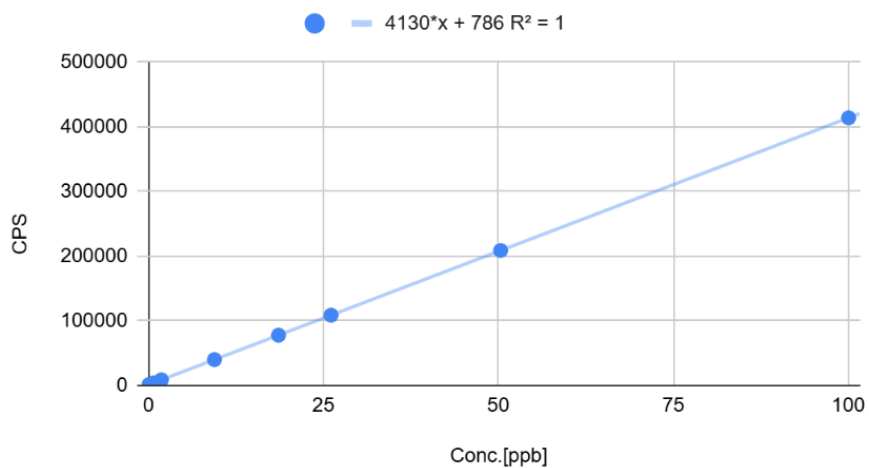
### Kurva Kalibrasi Standar



### Kurva Kalibrasi Hg

| Kode                     | Conc.[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       | 108585.52   |
| std 50                   | 50.334     | 208678.19   |
| std 100                  | 100.057    | 414051.5    |
| <b>Rerata abs</b>        |            | 107774.6688 |
| <b>Koef. Korelasi, R</b> |            | 1.0000      |
| <b>Slope</b>             |            | 4130.2933   |
| <b>Intersep</b>          |            | 785.6152    |
| <b>STEYX</b>             |            | 1.5091      |
| <b>DEVSQ</b>             |            | 8297.0040   |
| <b>LoD (µg)</b>          |            | 0.0011      |
| <b>LoQ (µg)</b>          |            | 0.0037      |
| <b>Intersep/Slope</b>    |            | 0.1902      |
| <b>MDL Estimasi</b>      |            | 10947.3411  |

### Kurva Kalibrasi Standar Hg Tanah



**Lampiran 2** Contoh Perhitungan

| Kode   | Abs   | Fp | Ppm kurva                                                | Kadar P Tanah (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 gr)                                                                                                             | Kadar P Tanah (ppm) (mg/kg) |
|--------|-------|----|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| K1 + P | 0,203 | 20 | 6,686                                                    | 39,982                                                                                                                                                               | 3,998                       |
| Rumus  | -     | -  | $\left( \frac{Abs - Intercept}{Slope} \right) \times Fp$ | $Ppm \text{ kurva} \times \left( \frac{ml \text{ ekstrak}}{1000 \text{ ml}} \right) \times 100 \text{ gr} \times Fp \times \left( \frac{142}{190} \right) \times fk$ | $\frac{39,982}{10}$         |

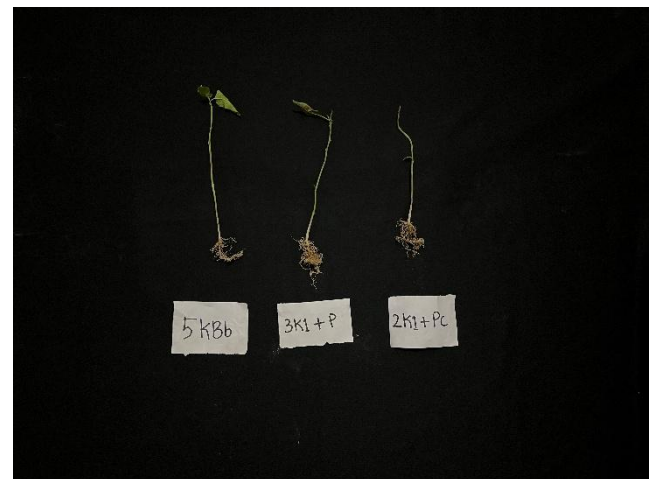
### Lampiran 3 Dokumentasi Kegiatan Sampling



#### Lampiran 4 Dokumentasi Perawatan Tanaman



## Lampiran 5 Dokumentasi Tanaman Sebelum dan Sesudah Panen



## Lampiran 6 Dokumentasi Laboratorium



## RIWAYAT HIDUP



Muhammad Raihan Isnaini biasa dikenal dengan nama panggilan Raihan lahir di Cilegon, 18 Agustus 2003 yang merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara oleh pasangan Hikmatulloh dan Eva Hartati. Adapun jenjang Pendidikan penulis yakni Pendidikan di TK Bina Athfal, kemudian melanjutkan Pendidikan Dasar di SD YPWKS II-III, kemudian melanjutkan Pendidikan di Pondok Pesantren Daarul Ishlah, dan lanjut di MAN 2 Kota Cilegon. Setelah lulus, penulis mengikuti seleksi pada tahun 2021 di Universitas Islam Indonesia dan diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Pada maret 2024, penulis berkesempatan untuk melakukan Kerja Praktik di PT Chandra Asri Pacific Tbk. Kabupaten Serang, Banten.