



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

**Analisis Aplikasi PGPR terhadap Kualitas Tanah Bekas
Tambang Emas dengan Kombinasi Kompos dan Sekam pada
Pertumbuhan Tanaman *Capsicum frutescens* L.**

Bintang Tawakal

21513161

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

Analysis of PGPR Application on the Quality of Post-Gold Mining Soil Amended with Compost and Rice Husk on the Growth of *Capsicum frutescens L.*

Bintang Tawakal

21513161

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

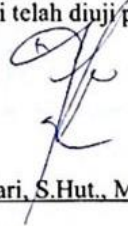
Analisis Aplikasi PGPR terhadap Kualitas Tanah Bekas Tambang Emas dengan Kombinasi Kompos dan Sekam pada Pertumbuhan Tanaman *Capsicum frutescens* L.

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.

Bintang Tawakal

21513161

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 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 Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

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



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 30 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan,



Bintang Tawakal

21513161

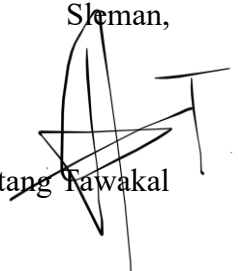
PRAKATA

Puji serta syukur saya ucapkan kepada Allah SWT. Akan nikmat dan rahmat limpahan karunia-Nya, saya berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Aplikasi PGPR terhadap Kualitas Tanah Bekas Tambang Emas dengan Kombinasi Kompos dan Sekam pada Pertumbuhan Tanaman *Capsicum Frutescens L.*” Yang mulai berlaku pada November 2025.

Laporan Tugas akhir ini tidak mungkin dapat diselesaikan tanpa adanya pertolongan, arahan, serta dorongan dari sejumlah pihak :

1. Allah SWT. Yang sudah memberi rahmat, kekuatan, dan kesehatan sehingga peneliti mampu menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Orang tua saya, Bapak Siswadi dan Ibu Indah Christiana serta kakak saya Bangkit Ma'ruf Putra Utama yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta menjadi sumber penyemangat dalam menyelesaikan studi ini.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberi arahan dari awal mulai penelitian hingga laporan tugas akhir ini.
4. Terima kasih kepada teman-teman kelompok TA saya yaitu Nabila, Alya, Evans, Raihan, Faiz, dan Ilham atas kerjasamanya dalam melakukan penelitian ini.
5. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan selama masa ini yang terlalu banyak untuk diungkapkan satu per satu.

Peneliti menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kurangnya. Maka dari itu, penulis mengharapkan saran dan kritik membangun untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir ini bertujuan untuk menjadi sumber informasi bagi para pembaca serta untuk bahan referensi guna penelitian selanjutnya.

Sleman,

Bintang Fawakal

Analisis Aplikasi PGPR terhadap Kualitas Tanah Bekas Tambang Emas dengan Kombinasi Kompos dan Sekam pada Pertumbuhan Tanaman *Capsicum frutescens* L.

Mahasiswa : Bintang Tawakal
NIM : 21513161
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D

ABSTRAK

Tanah bekas tambang emas rakyat Kulon Progo, Desa Kalirejo berpotensi terkontaminasi logam berat terutama Merkuri (Hg) yang berasal dari pengolahan emas dengan metode amalgam. Metode ini akan berdampak buruk bagi lingkungan ataupun manusia karena akan berpotensi terkontaminasi oleh Hg dan logam berat lainnya. Tanaman yang digunakan adalah tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) karena tanaman ini dapat tumbuh subur dan berbuah banyak dengan suhu yang optimal yaitu antara 21-30°C. Pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) sangat dipengaruhi oleh nutrisi yang tepat, kondisi lingkungan dan manajemen budidaya yang baik. PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) merupakan bakteri yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, produksi hormon, dan pengendalian patogen. Hasil penimbangan biomassa kering dan biomassa basah tanaman yang diberi perlakuan PGPR dibandingkan dengan tanaman kontrol yang tidak diberi PGPR untuk melakukan analisa data. Biomassa basah dan biomassa kering akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang dapat memperjelas perbedaan tanaman yang diberi perlakuan serta tanaman kontrol. Pada penelitian ini terbukti mampu menurunkan kadar Hg pada tanah sebesar 62% dari tanah bekas tambang dan mampu meningkatkan kandungan fosfor pada tanah yang mengalami peningkatan hampir 80% dari tanah bekas tambang. Selain itu tanaman K₂+P memiliki tendensi dalam menurunkan kadar Hg di tanaman yaitu di akar sebesar 0,52% dari perlakuan control.

Kata kunci: PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), Tanah bekas tambang emas, Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)

Analysis of PGPR Application on the Quality of Post-Gold Mining Soil Amended with Compost and Rice Husk on the Growth of *Capsicum frutescens* L.

Student : Bintang Tawakal
Student Number : 21513161
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D

ABSTRACT

The former land of the Kulon Progo community gold mine, Kalirejo Village has been contaminated with heavy metals, especially Mercury (Hg) originating from gold processing using the amalgam method. The level of mercury in the gold mine soil reaches very high levels in several points. This method will have a negative impact on the environment and humans because it will potentially be contaminated by Hg and other heavy metals. The plants used are cayenne pepper plants (*Capsicum frutescens* L.) because these plants can grow well and produce lots of fruit with optimal temperatures between 18°C - 27°C. The growth of cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.) is greatly influenced by proper nutrition, environmental conditions and good cultivation management. PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) are bacteria that can increase plant productivity through nitrogen fixation, phosphate solubilization, hormone production, and pathogen control. The results of weighing dry biomass and wet biomass of plants treated with PGPR were compared with control plants not treated with PGPR to conduct data analysis. Wet and dry biomass will be displayed graphically, clarifying the differences between treated and control plants. This study demonstrated the ability to reduce Hg levels in roots and increase plant height and stem diameter.

Key words: PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), Former gold mining land, Cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
PRAKATA	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	1
2.1 Tanah Bekas Tambang Emas Rakyat	1
2.2 Tanaman Cabai Rawit	2
2.3 <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR).....	3
2.4 Kompos.....	5
2.5 Sekam Padi	5
2.6 Penelitian Terdahulu	6
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Waktu dan Lokasi.....	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Analisis Data	10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Survival Rate	16
4.2 pH Tanah	17

4.3	Pengaruh Pupuk Kompos, Sekam Padi, dan PGPR terhadap Pertumbuhan Tanaman.....	17
4.3.1	Tinggi Tanaman.....	17
4.3.2	Diameter Batang	18
4.3.3	Jumlah Daun	19
4.3.4	Biomassa Tanaman.....	20
4.4	Pengaruh Kompos, Sekam, dan PGPR terhadap Nutrisi dan Logam Berat pada Tanah dan Tanaman	21
4.4.1	Pengaruh pada Tanah.....	21
4.4.2	Pengaruh pada Tanaman.....	26
BAB V PENUTUP		31
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA		32
LAMPIRAN		37
RIWAYAT HIDUP		44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 3.1 Variasi Perlakuan.....	12
Tabel 4.1 Survival Rate Tanaman Cabair Rawit Minggu ke-0 hingga Minggu ke 6	15
Tabel 4.2 Kategori Kadar P_2O_5 pada Tanah menurut BPT (2009).....	23
Tabel 4.3 Kategori Kadar P_2O_5 pada Tanaman menurut Marschner (2012).....	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Prosedur Analisis Data.....	10
Gambar 2 Lokasi Pengambilan Sampel.....	11
Gambar 3 Inokulasi PGPR.....	13
Gambar 4 Grafik pH Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan Tanah K2+P	17
Gambar 5 Grafik Tinggi Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L.	18
Gambar 6 Grafik Diameter Batang <i>Capsicum frutescens</i> L.....	19
Gambar 7 Grafik Jumlah Daun <i>Capsicum frutescens</i> L.....	20
Gambar 8 Grafik Berat Basah Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L.	21
Gambar 9 Grafik Berat Kering Jaringan Tanaman <i>Capsicum frutescens</i> L.	21
Gambar 10 Grafik Kadar Air Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang Emas, Tanah Kontrol, Perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam).....	22
Gambar 11 Grafik Hasil Pengujian Sulfat pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah kontrol, dan Perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam).....	23
Gambar 12 Grafik Hasil Pengujian Fosfor (P2O5) pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan K2+P (PGPR + kompos + sekam)	25
Gambar 13 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan K2+P (PGPR + kompos + sekam).....	26
Gambar 14 Grafik Hasil Pengujian Fosfor (P2O5) Total pada Tanaman Kontrol dan Tanaman perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam).....	28
Gambar 15 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Batang Tanaman Kontrol dan Tanaman K2 + P (PGPR + kompos + sekam).....	29
Gambar 16 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Akar tanaman Kontrol dan Tanaman K2 + P (PGPR + kompos + sekam)	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Lokasi Pengambilan Sampel Titik 1	37
Lampiran 2. Dokumentasi Lokasi Pengambilan Sampel Titik 2	37
Lampiran 3. Dokumentasi Tanaman Kontrol dan Perlakuan	38
Lampiran 4. Dokumentasi Tanaman Setelah Panen	38
Lampiran 5. Dokumentasi Pengukuran Tanaman	39
Lampiran 6. Dokumentasi Laboratorium	40
Lampiran 7. Kurva Kalibrasi Standar Hg	41
Lampiran 8. Kurva Kalibrasi Standar Sulfat	42
Lampiran 9. Kurva Kalibrasi Standar P ₂ O ₅	43
Lampiran 10. Contoh Perhitungan	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas merupakan logam mulia yang lunak dan mudah dibentuk, serta memiliki sifat non-reaktif yang tinggi. Emas dikenal karena sifatnya yang tahan noda dan tahan korosi sehingga menjadikannya pilihan ideal untuk investasi dan penyimpanan kekayaan. Secara kimia, emas memiliki nomor atom 79 dengan simbol Au, berwujud padat, titik leleh 1064°C dan massa jenis 19,32 g/cm³ pada suhu 20°C (Badriyah, 2016).

Di Indonesia masih banyak tambang emas tradisional yang tidak memperhatikan aspek lingkungan. Salah satu tambang emas rakyat yang ada di Indonesia yaitu di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kulon Progo. Kulon Progo merupakan salah satu daerah di Yogyakarta yang memiliki cadangan sumber daya mineral termasuk emas yang cukup tinggi setelah Kabupaten Gunung Kidul. Pertambangan emas rakyat di wilayah ini telah memberikan kontribusi terhadap pendapatan dan lapangan pekerjaan regional, namun pengelolaannya masih menjadi perhatian karena banyak yang tidak memperhatikan masalah lingkungan, baik selama operasi maupun setelah penambangan berakhir. Hal ini dapat menyebabkan perubahan lanskap, degradasi lingkungan, kontaminasi tanah dan air, serta potensi pergerakan tanah dan batuan dalam skala besar (Santoso et al., 2018). Tanah bekas tambang emas rakyat Kulon Progo dapat berpotensi terkontaminasi logam berat terutama Merkuri (Hg) yang berasal dari pengolahan emas dengan metode amalgam. Teknik amalgam merupakan teknik tradisional yang mencampurkan bijih emas dengan merkuri agar dapat dengan mudah saat proses pemisahan emas. Tingkat merkuri dalam tanah tambang emas mencapai kadar yang sangat tinggi di beberapa titik yaitu >50 ppm yang jauh melebihi ambang batas kualitas tanah standar pemerintah yaitu 0,3 ppm Hg. Selain merkuri, tanah limbah tambang emas juga mengandung logam berat lainnya seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Arsenik (As) yang merupakan polutan beracun yang berbahaya

bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Kondisi tanah ini menyebabkan berkurangnya kualitas tanah termasuk pH yang rendah dan rusaknya struktur tanah (Thaniya, 2016).

Pupuk kompos merupakan pupuk yang berasal dari bahan-bahan organik seperti dedaunan, jerami, kotoran hewan, dsb. Penggunaan pupuk kompos sebagai media tanam sangat penting agar dapat memberikan nutrisi pada setiap tanaman dalam proses pertumbuhan. Manfaat kompos yaitu dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya ikat tanah terhadap air dan unsur hara tanah, serta memperbaiki ruang udara dalam tanah (Mukhlisah, 2022).

Selain pupuk kompos, sekam padi juga dapat menjadi media tanam yang baik. Sekam padi mengandung selulosa (38%), hemiselulosa (18%), lignin (22%), dan silika. Sekam padi digunakan sebagai media tanam apabila sudah dibakar menjadi arang sekam. Manfaat dari arang sekam sebagai media tanam yaitu dapat menyimpan cadangan air yang lebih baik daripada menggunakan pasir (Nurmalasari et al., 2021). Arang sekam juga dapat memberi ruang pori yang lebih besar di dalam tanah sehingga sangat bermanfaat bagi pertumbuhan akar (Janu et al., 2021). Kerapatan isi tanah yang baik untuk pertumbuhan akar yaitu antara 1,1-1,6 g/cm³ sehingga tidak terjadi pemadatan karena perkembangan akar tanaman dalam menembus tanah sangat baik (Khair et al., 2017).

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah cabai rawit yang mana Kabupaten Kulon Progo merupakan daerah yang memiliki kontribusi produksi cabai paling tinggi (Nugroho, 2019). Akan tetapi, terdapat beberapa kendala para petani cabai pada proses penanaman cabai salah satunya adalah lahan yang kurang unsur hara seperti lahan pasir dan tanah yang sebagian telah tercemar oleh logam berat bekas tambang emas. Pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) sangat dipengaruhi oleh nutrisi yang tepat, kondisi lingkungan dan manajemen budidaya yang baik. Cabai memerlukan setidaknya 8 jam sinar matahari per hari untuk pertumbuhan yang optimal. Kurangnya cahaya dapat menyebabkan tanaman menjadi lemah, pucat, dan kurus. Tanaman ini tumbuh baik pada tanah dengan pH optimal 5,5-6,5. Apabila pH tanah rendah akan menghambat ketersediaan nutrisi seperti Kalsium dan Fosfor. Unsur makro Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K)

adalah komponen nutrisi utama cabai rawit. Nitrogen membantu pertumbuhan tanaman terutama batang dan daun serta pembentukan klorofil yang penting untuk fotosintesis. Kalium membantu dalam sintesis protein dan karbohidrat serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kerontokan bunga, dan daun (Farhannah et al., 2022).

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu inokulasi PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) yang diaplikasikan ke tanaman *Capsicum frutescens* L.. PGPR merupakan kelompok bakteri yang dikenal sebagai rhizobakteri yang mendorong pertumbuhan tanaman hidup di sekitar akar tanaman (rizosfer) dan memainkan peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman serta meningkatkan kesuburan tanah. PGPR dapat meningkatkan produktivitas tanaman melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, produksi hormon, dan pengendalian patogen (Jannah et al., 2022). Terdapat beberapa peran PGPR dalam meningkatkan kesuburan tanah yaitu dengan menggunakan enzim nitrogenase untuk mengikat nitrogen dari udara, PGPR mengubahnya menjadi amonia yang dapat diserap oleh tanaman. Hal ini sangat penting karena nitrogen adalah bahan hara utama yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif dan pembentukan protein. Pengaplikasian PGPR juga dapat memperbaiki pH tanah menjadi lebih baik yaitu sekitar 5,5 hingga 6,5 (Restiyah et al., 2023).

Remediasi tanah menggunakan metode biofitoremediasi memiliki kemampuan mendegradasi logam berat Pb dalam tanah TPA yang semula 53,17 mg/kg menjadi 23,15 mg/kg. Kemampuan jaringan akar menyerap logam berat Pb hingga 13,37 mg/kg dan batang 13,81 mg/kg. Serta dapat mengoptimalkan nilai pH tanah TPA Piyungan yang semula 5,72 menjadi 6,07 (Pratama, 2023). Penggunaan PGPR terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tanah yang mengalami degradasi seperti lahan gambut, tempat pembuangan akhir, dan tanah yang tercemar logam berat melalui mekanisme fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi fitohormon (Mukatemun et al., 2023). Namun penelitian-penelitian tersebut belum membahas secara spesifik kondisi tanah bekas tambang emas yang memiliki pH 3-5 atau 8-9, kontaminasi oleh logam berat seperti Hg.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini akan membahas tentang potensi PGPR dalam memperbaiki struktur tanah yang terkontaminasi oleh logam berat tambang emas dan pengaruhnya pada tanaman *Capsicum frutescens* L. dengan pengambilan sampel tanah tambang emas yaitu di Kecamatan Kokap, Kulon Progo, DI Yogyakarta.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini :

1. Bagaimana PGPR, kompos dan sekam berkontribusi dalam memperbaiki kualitas tanah dan mengurangi pencemaran tanah ?
2. Bagaimana pengaruh pengaplikasian PGPR, kompos dan sekam pada media tanah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai rawit yang terpengaruh oleh kegiatan penambangan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Investigasi PGPR, kompos dan sekam dalam memperbaiki kondisi tanah yang terdegradasi.
2. Menganalisis pengaruh PGPR, kompos dan sekam terhadap pertumbuhan tanaman cabai rawit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. memberikan informasi tentang bagaimana pengaplikasian PGPR dengan kombinasi kompos dan sekam pada media tanah dapat meningkatkan kualitas tanah.
2. Memberikan solusi untuk rehabilitasi tanah yang terdegradasi karena aktivitas penambangan emas.
3. Memanfaatkan lahan yang tersedia dengan menggunakan bahan pembenah tanah yaitu inokulasi PGPR pada tanaman cabai rawit.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanaman yang digunakan adalah tanaman cabai rawit
2. Pengamatan dan pelaksanaan dilakukan dengan skala *green house* dan laboratorium
3. Parameter yang diujikan adalah logam berat Hg dan nutrisi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Bekas Tambang Emas Rakyat

Kulon Progo merupakan salah satu tempat penambangan emas rakyat yang telah dilakukan oleh masyarakat sejak tahun 1991 (Nata et al., 2021). Di daerah ini menggunakan teknik amalgamasi untuk pengolahan emasnya. Teknik ini menggunakan Merkuri (Hg) yang merupakan pengikat logam emas dari bijihnya dimana merkuri dicampurkan dengan konsentrat bijih emas. Kemudian campuran tersebut dipanaskan sehingga Hg akan menguap dan yang tersisa adalah butiran emas. Metode ini akan berdampak buruk bagi lingkungan ataupun manusia karena akan berpotensi terkontaminasi oleh Hg dan logam berat lainnya (Kusuma, 2017). Logam berat yang terkandung di dalam tanah tambang emas yaitu Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg).

A. Timbal (Pb)

Kontaminasi timbal akan menyebabkan berkurangnya tingkat kesuburan tanah dan dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena timbal akan berdampak pada mikroorganisme tanah yang mana mikroorganisme tersebut berperan penting dalam siklus hara. Timbal merupakan logam berat yang tidak dapat terurai yang mengakibatkan timbal tersebut akan mengendap di tanah dan mencemari tanah tersebut. Timbal memiliki ketahanan yang sangat lama dan akan terakumulasi di atas lapisan tanah yang akan berdampak bagi tanaman, hewan, dan manusia (Pure Earth, 2025). Toksisitas dari timbal akan berdampak merusak ekosistem secara luas dan beresiko bagi kesehatan manusia, sehingga perlu pengawasan ketat dan upaya pengendalian pencemaran timbal (Putra et al., 2023).

B. Kadmium (Cd)

Pada tanah bekas tambang emas rakyat sering ditemukan Kadmium yang mana logam ini merupakan logam berat beracun akibat dari

penggunaan bahan kimia dalam proses ekstraksi emas. Tambang emas rakyat yang berskala kecil menggunakan metode amalgamasi dan sianidasi sehingga metode tersebut menghasilkan limbah tailing yang mengandung Cd dan akan mencemari tanah, air, serta ekosistem di sekitarnya (Fermana et al., 2024)

C. Merkuri (Hg)

PESK (Penambangan Emas Skala Kecil) merupakan salah satu penyumbang terbesar pencemaran merkuri secara global yaitu dengan kontribusi sebesar 38% terhadap total emisi merkuri dunia pada periode 2010 hingga 2015 (UNEP, 2018). Selama proses pengolahan emas berlangsung, dihasilkan limbah merkuri yang mencemari lingkungan seperti tanah, air, serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Salah satu risiko yaitu terbentuknya Metil Merkuri (CH_3Hg) yang merupakan senyawa beracun dan dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi ikan, air, serta bahan makanan lainnya (Fermana et al., 2024). Selain itu, pada teknik amalgam terdapat proses pemanasan amalgam emas yang menghasilkan uap beracun. Logam ini dapat mengikat partikel tanah, mengurangi tingkat kesuburan tanah, dan menghambat mikroorganisme pengurai. Berdasarkan PP No 101 tahun 2014, baku mutu tanah tidak tercemar tidak boleh melebihi ambang batas yang ditetapkan sebesar 0,3 ppm (Banunaek. A, 2016).

2.2 Tanaman Cabai Rawit

Cabai rawit (*Capsicum frutescens*) merupakan keluarga Solanaceae yang mencakup tomat, terong, dan kentang. Tanaman cabai memiliki ekonomis yang tinggi dan banyak petani yang membudidayakannya karena memiliki keuntungan yang besar. Tanaman ini dapat tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dengan pH tanah 5,5-6,5. Cabai rawit memiliki ukuran buah yang beragam mulai dari 1 cm hingga 5 cm tergantung jenisnya (Lagiman et al., 2021). Berikut merupakan klasifikasi tanaman cabai :

Kingdom : Plantae

Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub Kelas	: Asteridae
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: <i>Capsicum</i>
Spesies	: <i>Capsicum annum</i> (cabai besar, cabai lonceng) <i>Capsicum frutescens</i> (cabai kecil, cabai rawit)

Cabai rawit merupakan tanaman yang termasuk ke dalam kategori tanaman berumur pendek dan tinggi tanaman berkisar 1,5 m (Suhendri et al., 2015). Cabai rawit dapat tumbuh subur dan berbuah banyak dengan suhu yang optimal yaitu antara 21-30°C . Perbedaan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi terhadap pertumbuhan dan produktivitas panen cabai rawit (Aryani et al., 2022).

2.3 Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

PGPR merupakan kelompok bakteri menguntungkan yang tinggal di sekitar akar tanaman. Istilah ini pertama kali diperkenalkan oleh Kloepper dan Schroth pada tahun 1978. Terdapat beberapa jenis bakteri PGPR yaitu Azotobacter, Azospirillum, Arthrobacter, Bacillus, Bacterium, Mycobacterium, Pseudomonas, dan Rhizobium (Situngkir et al., 2021). Mereka akan meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil panen, dan kesuburan tanah melalui fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfat. PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan pada tanaman karena mikroba tersebut sangat mempengaruhinya.

PGPR hidup berdampingan bersama tanaman dapat melalui proses kolonisasi akar. Bakteri PGPR akan menempel pada permukaan akar tanaman dengan menggunakan polisakarida ekstraseluler untuk menempel pada epidermis akar. Setelah itu, bakteri PGPR akan membentuk biofilm atau lapisan pelindung yang terdiri dari bakteri dan matriks polisakarida. Biofilm tersebut bertujuan untuk melindungi bakteri dari kompetisi dengan mikroorganisme lainnya sehingga mereka dapat berkembang biak. Kemudian tanaman memberikan nutrisi dengan menghasilkan eksudat akar untuk sumber makanan bakteri PGPR serta bakteri

PGPR memberikan manfaat dengan cara membantu tanaman dalam berkompetisi dengan mikroorganisme patogen, meningkatkan toleransi terhadap stress, dan menyediakan nutrisi (Gouda et al., 2023).

Dengan penambahan PGPR, tanah yang tercemar dapat teratasi dan dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Secara langsung, PGPR membantu pertumbuhan tanaman dengan cara sebagai berikut :

a. Fiksasi Nitrogen

PGPR akan mengikat nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi amonia yang dapat diserap oleh tanaman, sehingga menyediakan unsur hara nitrogen yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman (Asra et al., 2024).

b. Pelarutan Fosfat

PGPR mampu melarutkan fosfat yang terikat di dalam tanah menjadi bentuk yang mudah diserap oleh tanaman. Hal ini penting untuk perkembangan akar dan produksi energi tanaman (Jannah et al., 2022).

c. Produksi Hormon Tanaman

PGPR menghasilkan hormon seperti *Indole Acetic Acid* (IAA), gibberelin, dan sitokinin yang merangsang pembelahan dan pembesaran sel akar serta meningkatkan percabangan akar. Hal ini akan memperluas kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi (Cholic et al., 2022).

Secara tidak langsung, PGPR juga berkontribusi untuk memperbaiki kualitas tanah serta dan tanaman dengan cara sebagai berikut :

a. Mengendalikan Patogen

PGPR menghasilkan senyawa antimikroba seperti siderofor, antibiotik, dan enzim kitinase yang dapat menekan pertumbuhan patogen di tanah sehingga tanaman menjadi lebih sehat dan tumbuh optimal (B.David et al., 2018).

b. Memperbaiki Struktur Tanah

Aktivitas PGPR meningkatkan pembentukan agregat tanah melalui produksi zat ekstraseluler yang membantu menggumpalkan partikel tanah, sehingga tanah menjadi lebih gembur dan porous. Kondisi ini akan

memperbaiki aerasi, retensi air, dan drainase tanah yang rusak (Fatema Kaniz et al., 2023).

c. Meningkatkan Aktivitas Mikroorganisme Tanah

PGPR merangsang mikroorganisme lain untuk mempercepat mineralisasi bahan organik, meningkatkan ketersediaan unsur hara, serta memperbaiki sifat kimia dan biologi tanah secara keseluruhan (A. Suresh et al., 2020).

2.4 Kompos

Kompos merupakan bahan pembenah tanah yang berasal dari bahan organik yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas seperti sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga mampu meningkatkan kualitas tanah tersebut. Kompos dapat memperbaiki struktur tanah, laju infiltrasi air dan kapasitas menahan air (Jayasanka et al., 2016). Berikut beberapa manfaat kompos bagi pertumbuhan tanaman :

- a. Pertumbuhan tanaman yang meningkat seperti tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, dan biomassa tanaman. Pertumbuhan tanaman meningkat karena kompos memiliki kandungan unsur hara yang sangat penting untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan vegetatif tanaman (Harahap. M, 2023).
- b. Kompos dapat meningkatkan kualitas tanah dengan memperbaiki struktur tanah, porositas, drainase, serta kapasitas tanah untuk menyimpan air. Jika kualitas tanah baik, akar akan tumbuh dengan optimal dan daya serap unsur hara meningkat secara efisien (Kartika. Y, 2025).
- c. Penggunaan kompos dapat menambah unsur hara dalam tanah seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan Kalium (K) yang sangat diperlukan tanaman (Kolo. M, 2020).
- d. Kompos dapat meningkatkan kualitas tanaman serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap penyakit (Kartika. Y, 2025)

2.5 Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah hasil panen yang berasal dari lapisan pelindung biji padi. Manfaat sekam padi untuk tanah dan pertumbuhan tanaman

sebagai berikut :

- a. Sekam padi dapat memperbaiki sifat fisik tanah yaitu meningkatkan porositas tanah, tanah menjadi lebih gembur, kapasitas penyimpanan air meningkat, dan meningkatkan drainase guna pertumbuhan akar yang optimal (Musdi et al., 2024).
- b. Unsur hara yang terkandung dalam sekam padi seperti silika (SiO_2), Kalium (K), Fosfor (P), dan Kalsium (Ca) yang dapat menyuburkan tanaah, dan memperbaiki pH tanah yang asam (Sukasih et al., 2025).
- c. Pengaplikasian sekam padi sebagai media tanam dapat meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan daya tahan tanaman. Kandungan silika pada sekam padi dapat memperkuat struktur daun dan sel tanaman (Listiana et al., 2021).

2.6 Penelitian Terdahulu

Di bawah ini merupakan analisis dari penelitian-penelitian terdahulu :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Palupi Wulandari, Wisnu Eko Murdiono, dan Koesriharti	2019	Pengaruh Dosis <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Dua Varietas Selada Merah	Terdapat interaksi nyata antara varietas dengan dosis PGPR pada peubah bobot segar total tanaman, bobot konsumsi tanaman, bobot akar tanaman dan panjang akar tanaman. Varietas Red Rapid menunjukkan hasil tertinggi dibandingkan varietas Lollo Rossa dan dosis PGPR 300 ml menunjukkan hasil paling tinggi

				dari semua perlakuan dosis PGPR.
2	Tommy Bartholomeus Ogie, Mukatemun Dawan, James Bright Kaligis	2023	Pengaruh Pemberian PGPR Terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi	Pemberian PGPR 40 cc/lt air dan 80 cc/lt air dapat meningkatkan jumlah daun pada minggu kedua sebanyak 7,5 helai, namun pemberian PGPR tidak memberikan pengaruh terhadap tinggi tanaman, bobot segar tanaman dan panjang akar.
3	Miftahul Jannah, Rabiatul Jannah, Fahrussyah	2022	Penggunaan PGPR untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Mengurangi Pemakaian Pupuk Anorganik pada Tanaman Pertanian	PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanismenya yang dapat memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, dan mampu menghasilkan hormon asam indol asetat.
4	Mei Dwi Ariyani, Tirta Kumala Dewi, Sri Pujiyanto, Agung Supriyadi	2021	Isolasi dan Karakterisasi <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> dari Perakaran Kelapa Sawit pada Lahan Gambut	Hasil akhir karakterisasi aktivitas PGPR menunjukkan bahwa ketujuh belas isolat, seluruh isolat mempunyai aktivitas PGPR setidaknya 3 kemampuan berbeda.5
5	Arden Arya Pratama	2023	Potensi <i>Plant Growth Promoting</i>	Remediasi tanah menggunakan

			<i>Rhizobacteria</i> (PGPR) dan <i>Arbuscular</i> <i>Mycorrhizal Fungi</i> (AMF) terhadap Acacia Mangium untuk Biofitoremediasi TPA Piyungan	metode biofitoremediasi memiliki kemampuan mendegradasi logam berat Pb dalam tanah TPA yang semula 53,17 mg/kg menjadi 23,15 mg/kg. Kemampuan jaringan akar menyerap logam berat Pb hingga 13,37 mg/kg dan batang 13,81 mg/kg. Serta dapat mengoptimalkan nilai pH tanah TPA Piyungan yang semula 5,72 menjadi 6,07.
--	--	--	--	---

Berdasarkan analisis dari beberapa penelitian terdahulu, terdapat pengaruh pemberian PGPR terhadap pertumbuhan tanaman. Akan tetapi, belum ada yang menganalisis tentang pengaruh pemberian PGPR terhadap pertumbuhan *Capsicum frutescens* L. pada tanah bekas tambang emas yang mengandung beberapa logam berat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi yang terbaru dan analisis terkait pengaruh aplikasi PGPR terhadap kualitas tanah bekas tambang emas dan tanaman *Capsicum frutescens*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan dalam skala *Green House* dimulai dari persiapan media tanam, penanaman, pengamatan dan pemanenan tanaman cabai rawit. *Green House* berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Daerah istimewa Yogyakarta dengan koordinat 7°41'40.9"S 110°25'38.3"E.

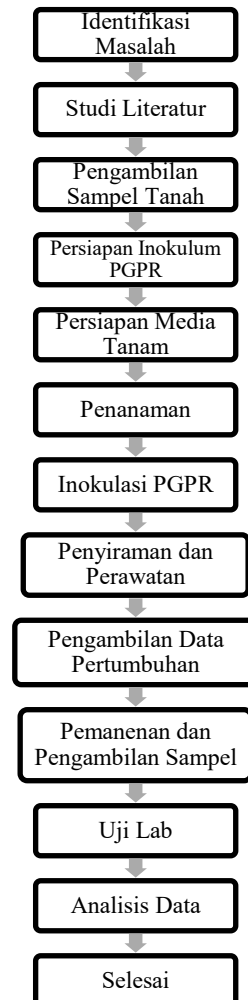
Tanah bekas tambang emas yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah yang berasal dari tambang emas rakyat di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian untuk analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, gelas ukur, spatula, spuit, botol kaca, autoklaf, sendok dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah tambang emas, alkohol, aquades, NaCl, PGPR, pupuk kompos, dan sekam padi.

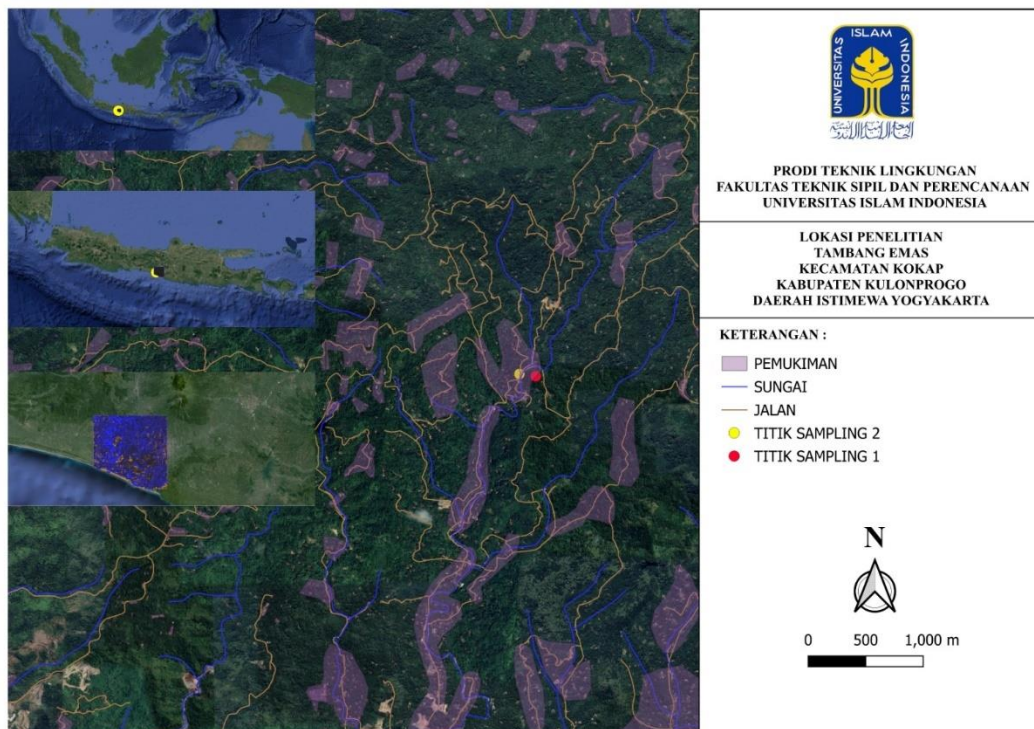
3.3 Prosedur Analisis Data



Gambar 1 Prosedur Analisis Data

3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah berada di daerah Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Terdapat 2 titik dalam pengambilan sampel. Titik pertama pada koordinat 7°49'37.9"S 110°04'15.6"E dan titik kedua pada koordinat 7°49'38.9"S 110°04'11.2"E. Pada lokasi pertama dilakukan pengambilan sampel tanah bekas tambang emas 1. Lokasi tersebut berdekatan dengan kebun warga dan peternakan kambing. Kemudian pada lokasi kedua dilakukan pengambilan sampel tanah bekas tambang emas 2 dan pada lokasi ini berdekatan dengan aliran sungai.



Gambar 2 Lokasi Pengambilan Sampel

3.3.2 Persiapan Inokulum PGPR

Mikroba yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari tanah rhizosfer di area tambang batubara. Aktivitas mikroorganisme tertinggi yang dipilih yaitu berada di tempat rhizosfer, dan disana merupakan tempat dimana bakteri dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Proses rekultur mikroba ini dilakukan di dalam *laminar airflow* yang sudah disterilkan. Mikroba dimasukkan ke dalam botol steril lalu dibungkus dengan kertas sampul dan diinkubasi selama 24 jam. Setelah 24 jam, disiapkan bahan pembawa (*carrier*) yaitu NaCl sebanyak 1,5 liter dengan kadar 0,9%. Kemudian NaCl dipindahkan kedalam botol sebanyak 1 liter tiap botol. Lalu ditutup lagi menggunakan kertas sampul.

3.3.3 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan yaitu tanah bekas tambang emas, sekam padi, dan pupuk kompos. Pupuk kompos yang digunakan memiliki kandungan N total sebesar 1,51%, P_2O_5 total sebesar 1,60%, dan K_2O total sebesar 5,93%. Persiapan media tanam untuk tanah bekas

tambang dilakukan dengan melakukan sterilisasi sampel tanah yang sudah diambil yaitu tanah *nature* dan tanah bekas tambang emas. Sterilisasi tanah menggunakan autoklaf selama 5 jam dengan suhu yang tinggi. Setelah itu, tunggu autoklaf sampai dingin lalu tanah dikeluarkan dari autoklaf tersebut. Komposisi media tanam setiap polybag yaitu tanah bekas tambang emas 90%, sekam padi 5%, dan kompos 5% lalu dicampurkan secara merata.

3.3.4 Penanaman

Penanaman dilakukan pada pagi hari dan tanaman yang digunakan yaitu cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*). Tanaman dengan penambahan PGPR + kompos + sekam diberi kode K2+P, sedangkan tanaman tanpa penambahan apapun diberi kode K atau tanaman kontrol. Jumlah ulangan perlakuan kontrol dan K2+P sebanyak 11 pengulangan. Semai cabai dipindahkan ke polybag ukuran 15 x 15 cm. Untuk penanaman kontrol, tanah bekas tambang emas dimasukkan ke polybag sebanyak 500 gr. Sedangkan untuk penanaman K2+P, tanah bekas tambang emas dimasukkan ke polybag sebanyak 450 gr lalu dicampur dengan kompos dan sekam masing-masing 25 gr.

3.3.5 Inokulasi PGPR

Inokulasi dilakukan dengan membuat 2 lubang kecil di dekat akar dengan lubang yang saling berhadapan. Kemudian di inokulasi menggunakan spuit yang masing-masing lubang diberikan PGPR sebanyak 5 ml. Sehingga jumlah per polybag menginokulasikan PGPR sebanyak 10 ml. Perlakuan pada penelitian ditinjau dari **tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan

Perlakuan	Keterangan
K	Tanaman Kontrol
K2 + P	PGPR + Kompos + Sekam Padi



Gambar 3 Inokulasi PGPR

3.3.6 Penyiraman dan Perawatan

Penyiraman dilakukan setiap hari pada saat sore pukul 16.00. Perawatan dilakukan dengan pemberian pupuk seminggu sekali serta penyemprotan pestisida pada tanaman yang ada kutunya. Selain itu, perawatan juga dilakukan dengan mencabut rumput liar yang tumbuh di polybag.

3.3.7 Pengambilan Data Pertumbuhan

Pengambilan data pertumbuhan dilakukan setiap 2 minggu sekali dengan mengukur tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun.

3.3.8 Pemanenan dan Pengambilan Sampel

Pemanenan dilakukan saat usia tanaman 1,5 bulan dan pengambilan sampel dilakukan dengan memisahkan antara jaringan atas dan jaringan akar. Bagian akar dicuci sampai tidak ada tanah yang menempel. Kemudian menimbang berat basah setiap jaringan dan dimasukkan kedalam amplop yang berbeda. Untuk berat kering, jaringan atas dan jaringan batang di oven selama 72 jam dengan suhu 70°C lalu ditimbang.

3.3.9 Uji Lab

Uji lab dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Untuk sampel yang di uji adalah sampel tanaman dan sampel tanah. Berikut parameter yang akan di uji :

a. Sampel Tanaman

- P_2O_5
- Logam Hg

b. Sampel Tanah

- Kadar Air
- P_2O_5
- Logam Hg
- Sulfat

3.3.10 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan statistika analisis yaitu melalui pendekatan standar eror antar perlakuan. Dalam mengukur konsentrasi setiap parameter menggunakan instrumen Spektrofotometri UV-Vis, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), dan ICP-MS (*Indutively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*). Cara kerja masing-masing instrumen yaitu sebagai berikut :

1. AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)

Prinsip kerja instrumen ini yaitu cahaya yang terserap diukur oleh atom bebas yang dihasilkan dari sampel yang diatomisasi atau sampel yang diubah menjadi atom menggunakan nyala api. Atom-atom ini melewati cahaya yang dipancarkan oleh lampu katoda dengan panjang gelombang tertentu. Semakin banyak atom logam dalam sampel, maka cahaya yang terserap juga semakin besar.

2. Spektrofotometri UV-Vis

Prinsip kerja instrumen ini yaitu cahaya diserap oleh molekul dalam sampel pada panjang gelombang tertentu yang menyebabkan transisi elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi.

3. ICP-MS (*Indutively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*)

Prinsip kerja instrumen ini yaitu sampel cair disemprotkan ke dalam plasma argon dengan suhu tinggi yaitu ± 10.000 K.

Kemudian suhu tersebut memecah molekul sampel menjadi atom bebas serta mengionisasinya untuk menghasilkan ion-ion bermuatan positif. Setelah itu, ion-ion yang terbentuk akan mengarah ke dalam spektrometer massa dan dipisahkan berdasarkan rasio massa terhadap muatan (m/z). Selanjutnya detektor mengukur intensitas ion pada masing-masing nilai m/z dan intensitas tersebut akan digunakan dalam menghitung konsentrasi unsur dalam sampel.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Survival Rate

Berdasarkan **Tabel 4.1** pada minggu ke-2 terdapat 8 tanaman mati pada tanaman kontrol dan 1 tanaman mati pada minggu ke-4. Pada tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) terdapat 4 tanaman mati di minggu ke-2 dan sisanya dapat bertahan hidup hingga minggu ke-6. Dari 11 tanaman kontrol, hanya 2 tanaman saja yang masih hidup hingga minggu ke-6 sedangkan pada tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) dari 11 tanaman terdapat 7 tanaman yang masih hidup. Pada tanah kontrol tidak ada penambahan mikroba ataupun bahan organik lainnya, sehingga berpotensi pada tanaman cabai sulit untuk bertahan hidup pada tanah yang tercemar logam berat. Sedangkan pada tanah perlakuan K2 + P terdapat penambahan PGPR, kompos, dan sekam. Masing-masing komponen yaitu PGPR, kompos, dan sekam bekerjasama untuk memperbaiki kualitas tanah dan memberi ketahanan tanaman terhadap toksiknya logam. Karena ada penambahan tersebut, tanaman cabai masih bisa bertahan hidup.

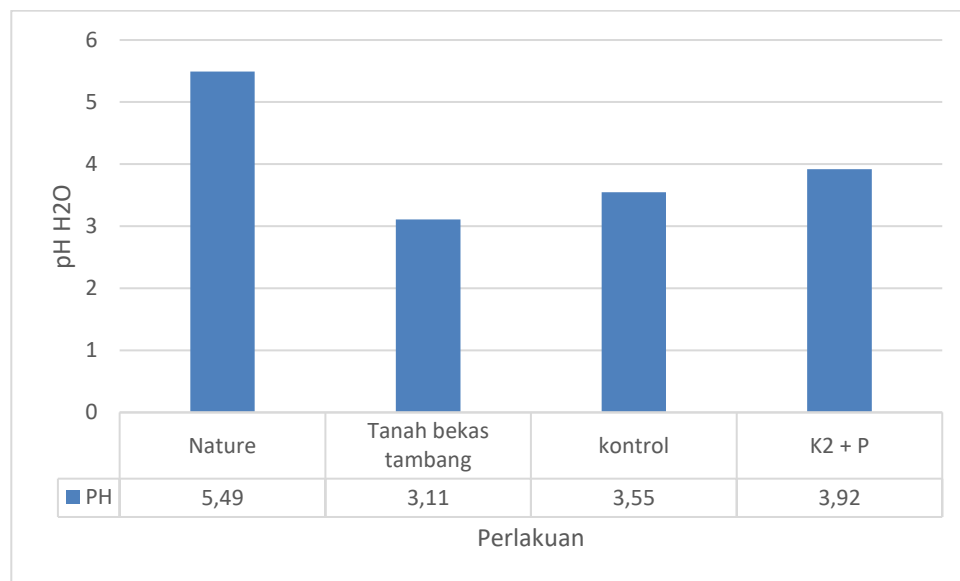
Saat PGPR diinokulasikan ke tanah, bakteri-bakteri PGPR akan berkolonisasi disekitar akar. Kemudian kompos akan memberikan makanan untuk bakteri PGPR agar populasi bakteri PGPR meningkat. Selain itu, sekam meningkatkan pori di tanah dan menjadi rumah untuk bakteri PGPR sehingga bakteri PGPR menjadi lebih stabil dan aktif. Jika bakteri PGPR sudah mulai bekerja dan aktif, PGPR akan melarutkan fosfor sehingga menjadi lebih mudah diserap oleh akar, memfiksasi nitrogen, dan memproduksi hormon IAA. Kompos dan sekam dapat memperbaiki kualitas tanah yaitu menjadikan tanah lebih gembur, tanah berporous, aerasi yang baik sehingga akar dapat tumbuh dengan optimal. Kemudian kompos dapat mengurangi kelarutan Hg, PGPR mengubah Hg ke dalam bentuk yang kurang toksik, dan sekam yang mengandung silika untuk memperkuat jaringan daun & batang sehingga tanaman lebih tahan stress. Hal ini yang membuat tanaman K2+P dapat bertahan hidup.

Tabel 4.1 Survival Rate Tanaman Cabai Rawit Minggu ke-0 hingga Minggu ke-6

Waktu (Minggu)	Kontrol		K2 + P		Persentase	
	Hidup	Mati	Hidup	Mati	Kontrol	K2 + P
0	11	0	11	0	100%	100%
2	3	8	7	4	27%	64%
4	2	1	7	0	18%	64%
6	2	0	7	0	18%	64%

4.2 pH Tanah

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pH keempat tanah masih tergolong asam. Diantaranya yaitu tanah nature memiliki pH 5,49, tanah bekas tambang memiliki pH 3,11, tanah kontrol memiliki pH 3,55, dan tanah K2+P (PGPR + kompos + sekam) memiliki pH 3,92.



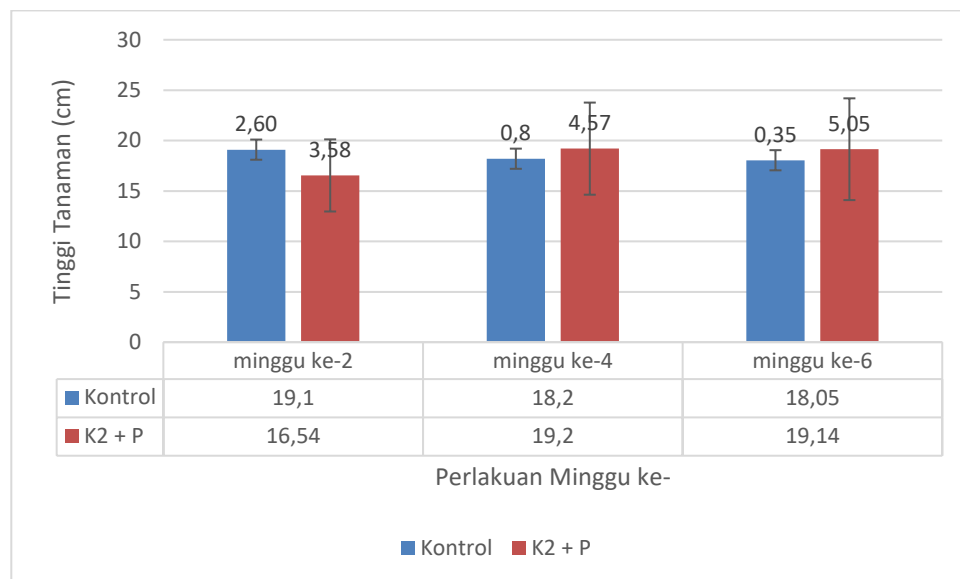
Gambar 4 Grafik pH Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan Tanah K2+P

4.3 Pengaruh Pupuk Kompos, Sekam Padi, dan PGPR terhadap Pertumbuhan Tanaman

4.3.1 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman menggunakan alat penggaris. Pengukuran dilakukan dengan mengukur batang dari atas permukaan tanah hingga batang pucuk nya. Berdasarkan pengukuran tinggi tanaman pada **Gambar 4.2**, dalam waktu pengamatan 1,5 bulan menunjukkan pada tanaman

kontrol, tinggi tanaman cenderung mengalami penurunan dari minggu ke-2 hingga minggu ke-6. Pada minggu ke-2 tinggi tanaman kontrol 19,1 cm, pada minggu ke-4 18,2 cm, dan pada minggu ke-6 18,05 cm. Sedangkan pada perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam) menunjukkan tinggi tanaman yang cenderung mengalami peningkatan yaitu dari minggu ke-2 tinggi tanaman 16,54 cm, pada minggu ke-4 19,2 cm, dan pada minggu ke-6 19,14 cm. Seiring berjalannya waktu pemberian kompos, sekam, dan PGPR berpotensi mampu memperbaiki kondisi tanah bekas tambang emas.



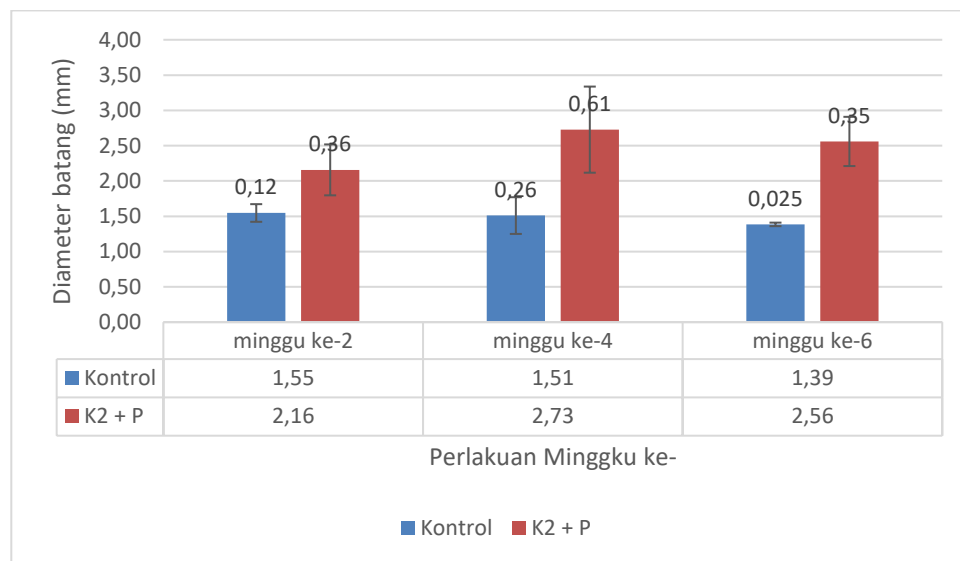
Gambar 5 Grafik Tinggi Tanaman *Capsicum frutescens L.*

4.3.2 Diameter Batang

Pada **Gambar 4.3** merupakan grafik pertumbuhan diameter batang. Hasil pengamatan dalam waktu 1,5 bulan menunjukkan untuk tanaman dengan perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam) menghasilkan diameter batang yang cenderung meningkat daripada tanaman kontrol. Hal ini dapat dipengaruhi oleh fungsi PGPR yang berpotensi dalam memproduksi hormon-hormon seperti sitokinin dan auksin yang dapat merangsang pembelahan dan pemanjangan sel, sehingga ukuran diameter batang bertambah besar (Cholic et al., 2022).

Selain itu, hasil diameter batang tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) lebih besar dari batang tanaman kontrol juga berhubungan dengan jumlah daun pada **Gambar 4.5**. Gambar tersebut menunjukkan jumlah daun

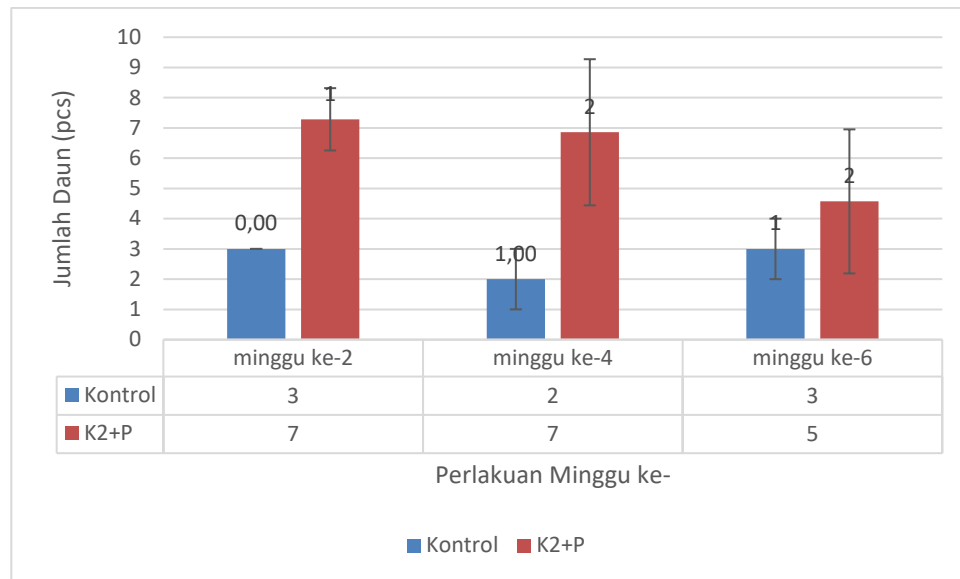
lebih banyak daripada tanaman kontrol. Jumlah daun yang banyak akan meningkatkan luas permukaan penyerapan cahaya yang dapat mengoptimalkan proses fotosintesis sehingga menghasilkan karbohidrat dalam porsi yang banyak juga. Karbohidrat tersebut akan ditranslokasikan ke batang guna membentuk jaringan baru seperti xylem, floem, dan jaringan lainnya (Li et al., 2024). Hal ini yang membuat batang pada tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) cenderung memiliki ukuran diameter lebih besar daripada batang tanaman kontrol.



Gambar 6 Grafik Diameter Batang *Capsicum frutescens L.*

4.3.3 Jumlah Daun

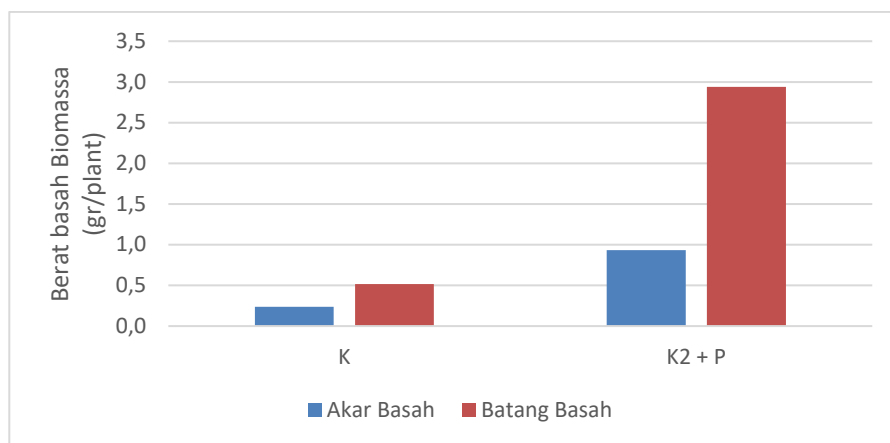
Grafik pertumbuhan jumlah daun tanaman cabai ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Pada grafik tersebut menunjukkan perkembangan jumlah daun tanaman kontrol relatif rendah daripada tanaman perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam). Hal ini dapat disebabkan karena kondisi tanah kontrol yaitu tanah bekas tambang non perlakuan mengandung nutrisi yang sedikit sehingga tidak mendukung pembentukan organ vegetatif. Sedangkan pada tanaman perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam) terdapat PGPR yang dapat membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan memproduksi hormon-hormon pertumbuhan yaitu sitokinin dan auksin (Cholic et al., 2022).



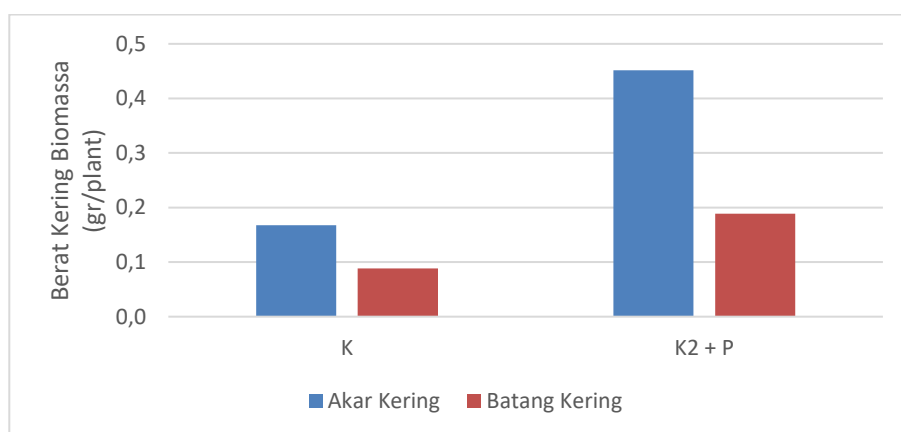
Gambar 7 Grafik Jumlah Daun *Capsicum frutescens L.*

4.3.4 Biomassa Tanaman

Gambar 4.5 dan **Gambar 4.6** merupakan grafik biomassa jaringan akar dan jaringan batang tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*) dengan perlakuan kontrol dan perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam). Dari kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa tanaman K2 + P (PGPR + kompos + sekam) bobotnya lebih berat daripada bobot tanaman kontrol. Hal ini dipengaruhi oleh peran Kalium (K) dan Fosfor (P) pada tanaman. Pada tanaman perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam), mereka mempunyai kandungan fosfor yang dapat meningkatkan penyerapan air dan hara sehingga mampu merangsang pertumbuhan akar. Selain itu, pada tanaman perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam) terdapat ketersediaan K yang mampu membuat jaringan batang dan akar menjadi lebih fresh atau tanaman mampu mempertahankan turgor sel. Pengaruh penambahan kompos dan sekam dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah termasuk Ph, aerasi, dan struktur tanah menjadi lebih baik yang sangat mendukung pertumbuhan akar (Haryati et al., 2020).



Gambar 8 Grafik Berat Basah Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens L.*



Gambar 9 Grafik Berat Kering Jaringan Tanaman *Capsicum frutescens L.*

4.4 Pengaruh Kompos, Sekam, dan PGPR terhadap Nutrisi dan Logam Berat pada Tanah dan Tanaman

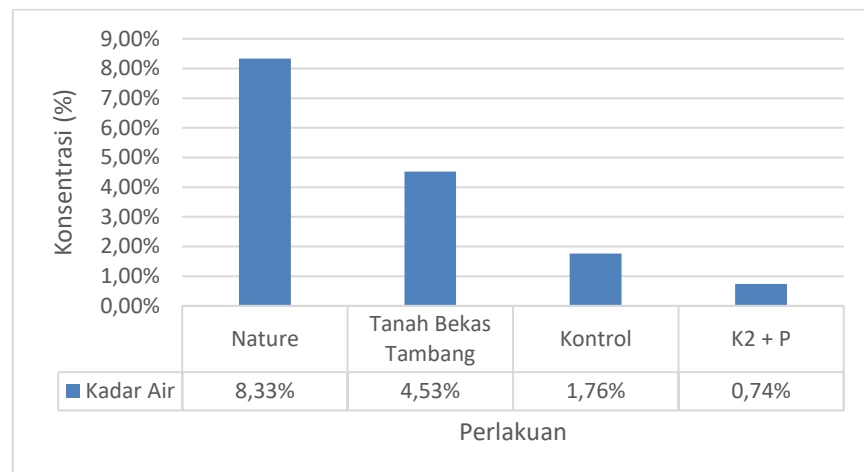
4.4.1 Pengaruh pada Tanah

a. Kadar Air Tanah

Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian kadar air tanah pada tanah *nature*, tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan K2 + P. Tanah *nature* memiliki kadar air sebesar 8,33%, tanah bekas tambang sebesar 4,53%, tanah kontrol sebesar 1,76%, dan pada tanah K2+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 0,74%.

Kadar air pada tanah *nature* memiliki tendensi yang tinggi karena pengambilan sampel tanah *nature* yang masih hutan asri. Oleh karena itu, tanah ini masih banyak menyimpan bahan organik serta tutupan vegetasinya.

Pada tanah perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam) yang memiliki kadar air sebesar 0,74%. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan salah satu jenis bakteri yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman termasuk akar. Tanaman yang diberi PGPR akan membuat akar bercabang lebih banyak sehingga akar lebih menyerap air dan unsur hara dari tanah. Jaringan akar yang baik mampu menyalurkan air dari akar ke bagian atas tanaman. Tetapi karena pertumbuhan meningkat, tanaman juga perlu banyak air dalam proses metabolisme mereka seperti fotosintesis, transpirasi, dan pembentukan jaringan baru (Irum et al., 2023). Selain itu pada perlakuan ini, tanah lebih gembur dan porous daripada perlakuan lainnya.



Gambar 10 Grafik Kadar Air Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang Emas, Tanah Kontrol, Perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam)

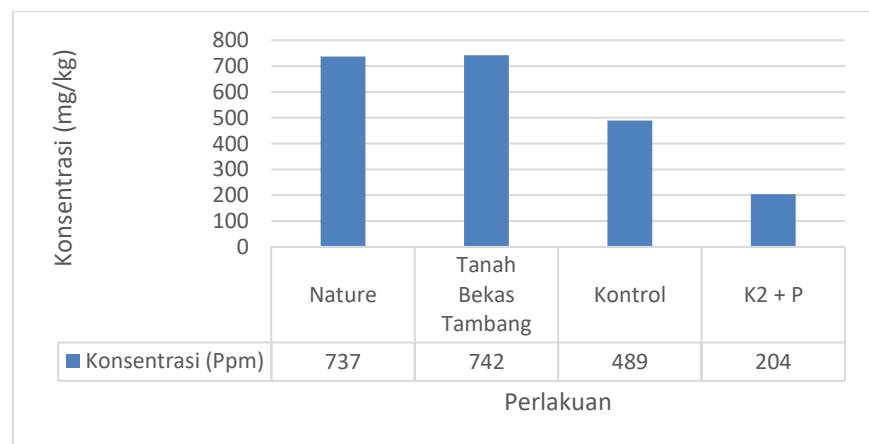
b. Konsentrasi Sulfat (SO_4^{2-})

Pengujian Sulfat mengacu pada SNI 06-6989.20-2004 tentang Cara Uji Sulfat, SO_4^{2-} secara turbidimetri. **Gambar 4.8** merupakan grafik hasil pengujian sulfat pada tanah *nature*, tanah bekas tambang, tanah kontrol, dan K2 + P (PGPR + kompos + sekam). Hasil menunjukkan konsentrasi sulfat pada tanah *nature* sebesar 737 mg/kg, tanah bekas tambang sebesar 742 mg/kg, tanah kontrol sebesar 489 mg/kg, dan tanah K2+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 204 mg/kg. Dari hasil pengujian, diperoleh konsentrasi sulfat

pada tanah bekas tambang yang memiliki tendensi lebih besar daripada perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam).

Tanah bekas tambang pada penelitian ini berpotensi memiliki kadar sulfat yang cenderung tinggi. Hal ini disebabkan karena lokasi pengambilan sampel tersebut berdekatan dengan peternakan kambing. Kotoran dan urin kambing mengandung senyawa sulfat yang berasal dari degradasi protein (Abdulkareem et al., 2024).

Pada tanah K2+P (PGPR + kompos + sekam) sulfat lebih banyak diserap oleh tanaman serta terdapat mikroba yang berasal dari kompos atau sekam. Mikroba tersebut menggunakan sulfat untuk proses metabolisme mereka. Sedangkan pada perlakuan lainnya, sulfat menumpuk di tanah karena penyerapan sulfat yang lebih sedikit. Hal ini cenderung menurunkan kandungan sulfat pada tanah K2 + P.



Gambar 11 Grafik Hasil Pengujian Sulfat pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah kontrol, dan Perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam)

c. Konsentrasi P_2O_5 pada Tanah

Gambar 4.9 merupakan grafik hasil pengujian Fosfor dalam tanah. Hasil pengujian menunjukkan konsentrasi pada tanah *nature* sebesar 3,37 mg/kg, pada tanah bekas tambang sebesar 2,5 mg/kg, pada tanah kontrol sebesar 2,71 mg/kg, dan pada tanah K2+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 4,55 mg/kg. Mengacu dari petunjuk teknis Balai Penelitian Tanah (2009), kategori kandungan fosfor

tanah pada keempat perlakuan masih dikategorikan sangat rendah karena konsentrasinya <100 mg/kg. Berikut merupakan tabel kategori kadar P_2O_5 pada tanah :

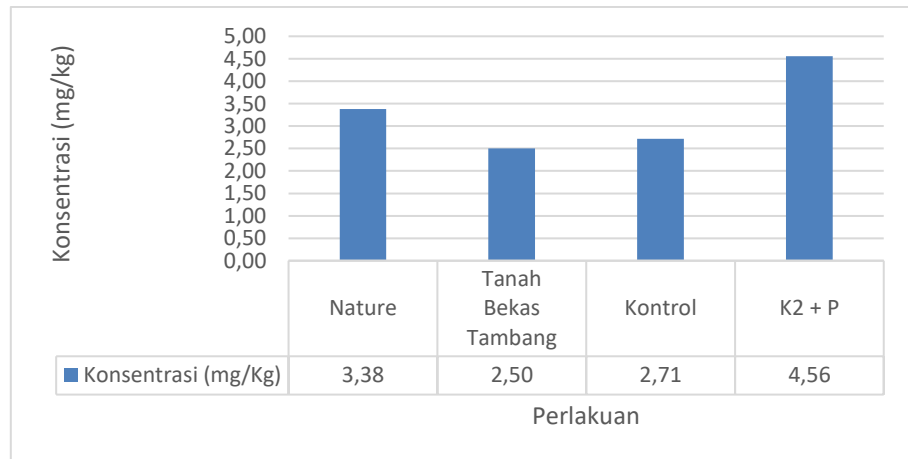
Tabel 4.2 Kategori Kadar P_2O_5 pada Tanah menurut BPT (2009)

Kategori	Kadar P_2O_5 (mg/kg)	Keterangan
Sangat Rendah	<100	Tanah miskin P
Rendah	100 – 200	P yang tersedia sedikit dan perlu penambahan pupuk P
Sedang	200 – 400	Kandungan P cukup
Tinggi	400 – 600	Kandungan P berlebih ; kurangi pemupukan P
Sangat Tinggi	>600	Resiko terjadinya fiksasi P

Pada tanah bekas tambang, topsoil sudah hilang sehingga struktur tanah rusak. Pada topsoil banyak mengandung P organik, selain itu juga disebabkan karena pH tanah yang asam (Melanie et al., 2024). Hal ini menyebabkan tanah bekas tambang memiliki tendensi kadar fosfor yang sangat rendah.

Pada perlakuan K_2+P (PGPR + kompos + sekam) terdapat PGPR yang berfungsi untuk memudahkan fosfor larut yang sebelumnya tidak tersedia di dalam tanah agar dapat digunakan untuk tanaman. Sehingga fosfor yang akan banyak diserap oleh akar di dalamnya (Jannah et al., 2022). Selain itu, terdapat kompos dan sekam yang juga berperan dalam menambah P organik pada tanah. Kandungan fosfor pada perlakuan ini cenderung mengalami kenaikan 80% dari tanah bekas tambang emas.

Tanah kontrol memiliki konsentrasi fosfor yaitu sebesar 2,71 mg/kg memiliki tendensi yang lebih rendah daripada perlakuan K₂ + P. Hal ini menunjukkan jika tidak ada penambahan perlakuan, kemampuan tanah dalam menyediakan fosfor bagi tanaman terbatas (Safrizal et al., 2025).



Gambar 12 Grafik Hasil Pengujian Fosfor (P₂O₅) pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan K₂+P (PGPR + kompos + sekam)

d. Konsentrasi Hg Tanah

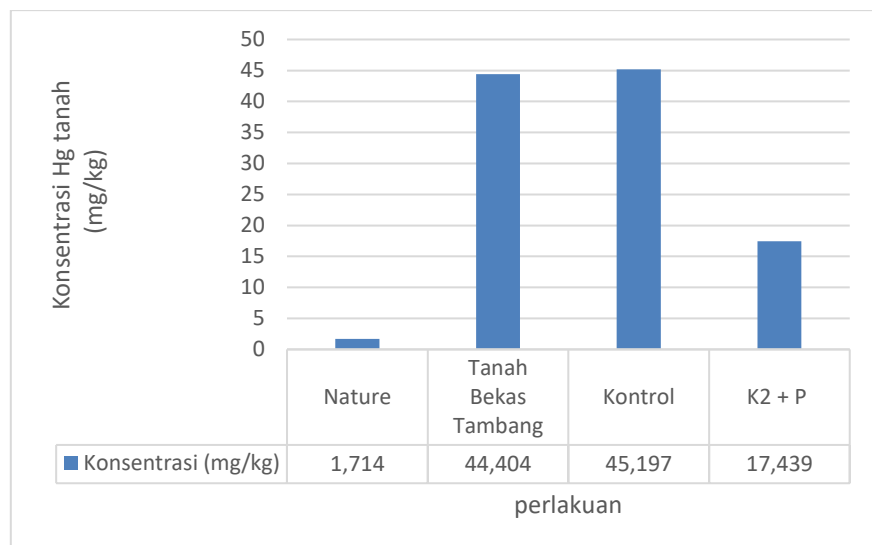
Gambar 4.10 merupakan grafik hasil pengujian Hg pada tanah *nature* sebesar 1,71 mg/kg, tanah bekas tambang sebesar 44,40 mg/kg, tanah kontrol sebesar 45,19 mg/kg, dan K₂+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 17,43 mg/kg. Berdasarkan dokumen USEPA, batas maksimum kadar Hg pada tanah pertanian adalah 0,23 mg/kg.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan K₂+P (PGPR + kompos + sekam) memiliki konsentrasi Hg sebesar 17,43 mg/kg. Hasil ini memiliki tendensi dalam penurunan kadar Hg pada tanah dari tanah bekas tambang yang sebesar 44,40 mg/kg menjadi 17,43 mg/kg. Namun, kadar tersebut masih lebih tinggi dari ambang batas yang sesuai pada dokumen USEPA.

Pada perlakuan K₂+P (PGPR + kompos + sekam), terdapat peran kompos yaitu mengikat logam berat salah satunya Hg agar logam berat tersebut menjadi tidak larut. Selain itu sekam yang

berfungsi untuk memperbesar porositas tanah sehingga logam berat terperangkap ke dalam pori-pori serta PGPR yang dapat membantu tanaman menjadi lebih sehat (Oueled et al., 2025).

Mekanisme pada perlakuan K2+P dalam menurunkan kadar Hg yaitu kompos dan sekam padi yang menambahkan bahan organik di tanah dan menjadi nutrisi atau energi bagi mikroba PGPR. Kemudian karena mikroba memakan nutrisi dari kompos dan sekam padi, aktivitas mikroba PGPR menjadi aktif sehingga mikroba PGPR akan melakukan bioakumulasi dan biosorpsi merkuri untuk mengurangi logam berat tersebut, lalu mikroba PGPR juga akan menghasilkan siderofor untuk mengikat Hg dan mengubahnya kedalam bentuk yang kurang toksik. Selain itu bahan organik pada kompos dan sekam berperan juga untuk mengikat Hg agar sulit diserap oleh tanaman. Akhirnya tanah menjadi lebih baik dan tanaman tumbuh dengan optimal.



Gambar 13 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Tanah Nature, Tanah Bekas Tambang, Tanah Kontrol, dan K2+P (PGPR + kompos + sekam)

4.4.2 Pengaruh pada Tanaman

a. Konsentrasi P_2O_5 pada Tanaman

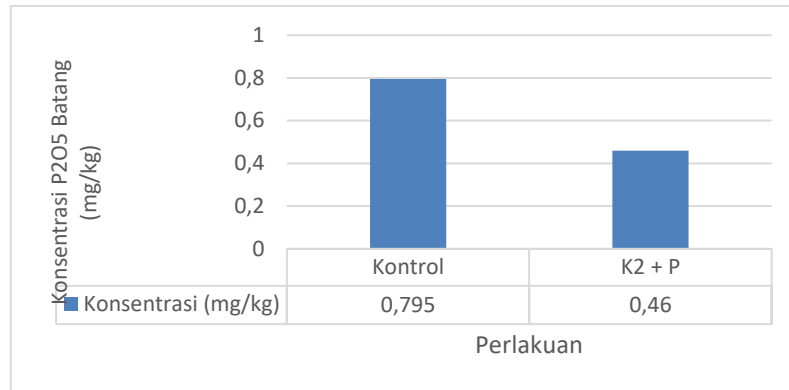
Berdasarkan **Gambar 4.11**, konsentrasi P_2O_5 pada tanaman kontrol sebesar 0,79 mg/kg dan pada tanaman K2+P (PGPR +

kompos + sekam) sebesar 0,46 mg/kg. Mengacu pada dokumen Marschner (2012), konsentrasi P_2O_5 pada tanaman kontrol dan K_2+P masih tergolong sangat rendah. Berikut merupakan kategori kadar P tanaman menurut Marschner (2012) :

Tabel 4.3 Kategori Kadar P_2O_5 pada Tanaman menurut Marschner (2012)

Kategori	Kadar P (mg/kg)	Keterangan
Sangat rendah	1000	Tanaman kekurangan P
Cukup atau Optimal	1000 – 3000	Kondisi normal
Tinggi atau Berlebih	>4000	Tidak menimbulkan toksisitas tetapi dapat mengganggu penyerapan Zn atau Fe

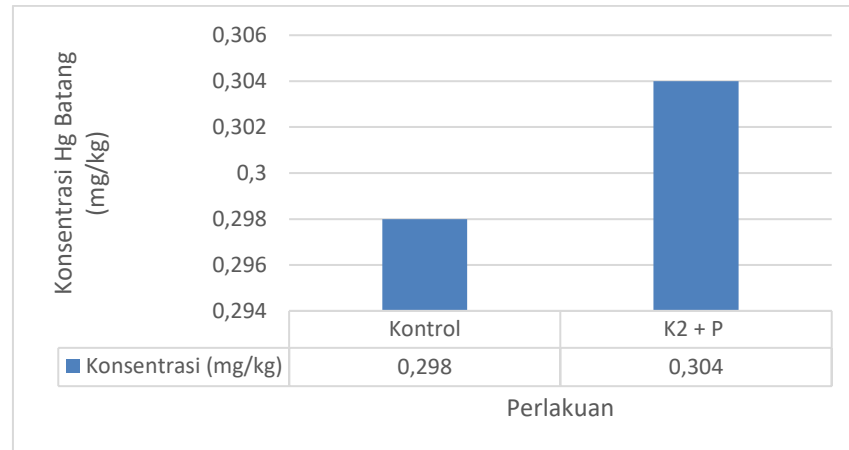
Pada tanah kontrol ketersediaan fosfor tidak terganggu oleh penambahan perlakuan yang dapat mengubah dinamika penyimpanan serta ketersediaan nutrisi (Keshavarzi et al., 2019). Sedangkan pada tanaman perlakuan $K_2 + P$ (PGPR + kompos + sekam) terdapat adanya kompetisi nutrisi antara mikroorganisme dengan tanaman. Pengaplikasian PGPR pada tanah dapat membuat mikroba lebih banyak mengkonsumsi nutrisi termasuk fosfor guna kebutuhan mereka seperti pertumbuhan dan reproduksi (Subari. P, 2024). Selain itu, aplikasi pupuk organik tanpa dikelola dengan baik menyebabkan mikroba dapat mengambil fosfor sehingga mengurangi ketersediaan fosfor pada tanaman.



Gambar 14 Grafik Hasil Pengujian Fosfor (P₂O₅) Total pada Tanaman Kontrol dan Tanaman perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam)

b. Konsentrasi Hg pada Batang

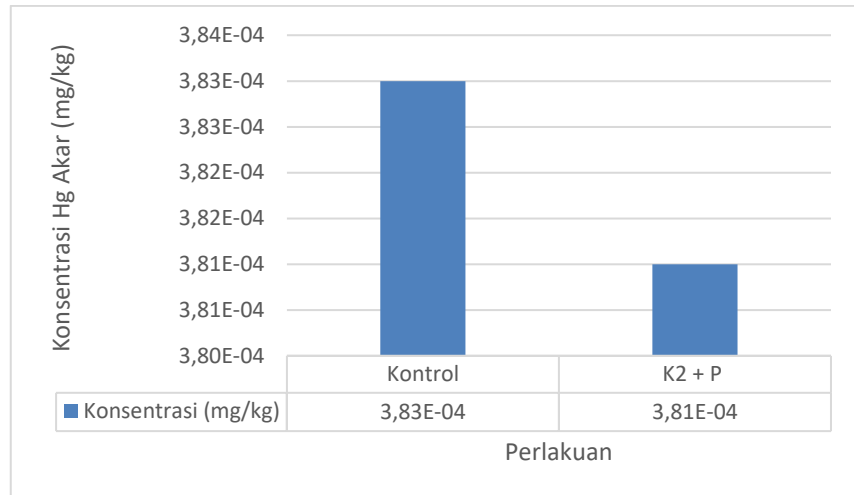
Pada **Gambar 4.12** menunjukkan konsentrasi Hg pada batang tanaman kontrol sebesar 0,298 mg/kg dan pada batang tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 0,304 mg/kg. Pada perlakuan K2+P (PGPR + kompos + sekam) memiliki tendensi kandungan Hg lebih besar daripada tanaman kontrol. Karena hal ini dipengaruhi oleh akar pada tanaman dengan perlakuan PGPR yang memiliki jaringan akar yang banyak dan lebih aktif menyerap unsur-unsur yang ada di tanah. Tidak hanya unsur hara yang terserap, logam berat juga ikut diserap oleh akar ke batang. Selain itu, kompos dan sekam dapat melarutkan logam berat seperti Hg dengan cara memproduksi asam organik saat proses dekomposisi. Sehingga dapat mengakibatkan peningkatan Hg di tanah yang kemudian diserap oleh akar (S. Ran et al., 2022). Sedangkan pada tanaman kontrol, jaringan akar tidak luas dan lemah sehingga akar terbatas dalam menyerap unsur-unsur yang di dalam tanah.



Gambar 15 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Batang Tanaman Kontrol dan Tanaman K2 + P (PGPR + kompos + sekam)

c. Konsentrasi Hg pada Akar

Pada **Gambar 4.13** menunjukkan hasil konsentrasi Hg pada akar tanaman kontrol sebesar 0,000383 mg/kg dan pada akar tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) sebesar 0,000381 mg/kg. Hasil ini berhubungan dengan hasil konsentrasi Hg di batang yang menunjukkan bahwa pada kadar Hg batang perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam) memiliki tendensi yang lebih besar daripada kadar Hg batang perlakuan kontrol. Hal ini terjadi karena akar pada tanaman K2+P (PGPR + kompos + sekam) lebih aktif aliran air dan hara nya sehingga Hg yang masuk di akar langsung ditranslokasikan ke jaringan atasnya. Fungsi kompos dan sekam yang mengikat Hg menjadi bentuk kompleks yang tidak terlalu larut sehingga dapat menurunkan kadar Hg di akar (Oued et al., 2025).



Gambar 16 Grafik Hasil Pengujian Hg pada Akar tanaman Kontrol dan Tanaman K2 + P (PGPR + kompos + sekam)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perolehan studi serta Analisa data dapat disimpulkan yaitu sebagai berikut :

1. Perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam) memiliki tendensi dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara yaitu fosfor terutama pada tanah melalui pelarutan dan mineralisasi fosfat. Kandungan fosfor pada tanah mengalami peningkatan hampir 80% dari tanah bekas tambang. Selain itu, PGPR juga memiliki tendensi dalam menurunkan kadar Hg di tanah sebesar 62% dari tanah bekas tambang.
2. Pengaruh perlakuan K2 + P (PGPR + kompos + sekam) pada tanaman cabai rawit cenderung meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman, diameter batang yang lebih baik daripada tanaman kontrol, dan meningkatkan biomassa akar. Selain itu, perlakuan ini juga memiliki tendensi dalam menurunkan kadar Hg di tanaman yaitu di akar sebesar 0,52% dari perlakuan control.

5.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Melaksanakan pengujian lanjutan dengan jangka waktu lebih panjang dalam periode lebih dari 1 musim tanam agar dapat memantau perubahan dan respon tanaman seiring berjalannya waktu.
2. Penanaman dilakukan pada pagi atau sore hari untuk menjaga tanaman agar tidak layu maupun mati.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, Y. J., Tella, Y. O., Shuaib, M. B., Saka, I. E., Muhammad, A. N., Baba Nitsa, M., & Nduka, B. A. (2024). Influence of goat dung on soil properties, growth and yield of maize in Gwagwalada, FCT, Nigeria. *FUDMA Journal of Sciences (FJS)*, 8(6), 247–251. <https://doi.org/10.33003/fjs-2024-0806-2915>
- Ariyani, M. D., Dewi, T. K., Pujiyanto, S., & Supriyadi, A. (2021). **Isolasi dan Karakterisasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria dari Perakaran Kelapa Sawit pada Lahan Gambut**. *Bioma*, 23(2), 159–171. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v9i1.8667>
- Aryani, R. D., Basuki, I. F., Budisantoso, I., & Widyastuti, A. (2022). Pengaruh ketinggian tempat terhadap pertumbuhan dan hasil tanam cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, September 2022. Diakses dari <https://agriprima.polije.ac.id>
- Asra, R. H., Advinda, L., Anhar, A., & Irdawati. (2024). **The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Sustainable Agriculture**. *Serambi Biologi*, 9(1), 1–7.
- Badriyah, L. (2016). **Penentuan Jumlah Oksidator pada Proses Isolasi Emas dari Batuan Menggunakan Larutan Thiourea**. *Repository Universitas Jember*.
- Balai Penelitian Tanah. (2009). *Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk: Petunjuk teknis*. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Banunaek, A. Z. (2016). **Pencemaran Merkuri di Lahan Pertambangan Emas Rakyat dan Strategi Pengendaliannya**. *Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). **Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity**. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- David, B., Chandrasehar, G., & Selvam, P. (2018). *Pseudomonas fluorescens*: A Plant-Growth-Promoting Rhizobacterium (PGPR) With Potential Role in Biocontrol of Pests of Crops. , 221-243. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63987-5.00010-4>.
- Cholique, F. A., Martosudiro, M., & Jalaweni, S. C. (2020). **Aplikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap Infeksi *Chrysanthemum mild mottle virus* (CMMV), Pertumbuhan, dan Produksi Tanaman Krisan (*Chrysanthemum sp.*)**. *Agroradix*, 3(2), 31–33.
- Costa, N., Magalhães, J., Rodrigues, B., & Santos, F. (2023). Forage productivity and morphogenesis of *trachypogon vestitus* as affected by phosphate fertilization levels in the roraima's savannas. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 16(3), 1398-1407. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.3-026>
- Farhanah, A., Hamzah, F., Hamzah, P., Hairul, M., Azzahrah, M., Fajar, A., & Ashar, J. R. (2022). **Optimalisasi Pemenuhan Nutrisi melalui Pemberian**

Larutan Abmix terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai (*Capsicum annuum* L.) Varietas Ayesha. *Jurnal Agrisistem*, 18(1), 35–36.
<https://doi.org/10.52625/j-agr.v18i1.231>

- Fermana, R., Akhdiyat, H. R., Hadi, I., & Aryanti, E. (2024). **Dampak penambangan emas skala kecil terhadap keberlanjutan ekosistem pesisir dan sosial-ekonomi di Desa Pelangan, Lombok Barat.** *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 3(2), 298–309.
<https://jurnal.kolibi.org/index.php/scientica/article/view/4291>
- Harahap, M.Y. (2023). Pengaruh Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman. Repository.unja
- Haryati, U., Sutono, S., & Subiksa, I. G. M. (2020). Pengaruh amelioran terhadap perbaikan sifat tanah dan produksi cabai rawit (*capsicum frutescens*) pada lahan bekas tambang timah. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 43(2), 127.
<https://doi.org/10.21082/jti.v43n2.2019.127-138>
- Irum, A., Haider, B., Hanif, A., Mazhar, M., Noreen, S., Hussain, I., ... & Jamil, M. (2023). Salinity-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria's (st-pgpr) impact on soil quality indices and maize growth under saline environments. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 20(01), 78-82.
<https://doi.org/10.34016/pjbt.2023.20.01.794>
- Jannah, M., Jannah, R., & Fahrussyah, F. (2022). **Kajian Literatur: Penggunaan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Mengurangi Pemakaian Pupuk Anorganik pada Tanaman Pertanian.** *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 5(1), 41–49. <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/agro/article/view/7940>
- Janu, F.Y., Mutiara, C., 2021. **Pengaruh Biochar Sekam Padi Terhadap Sifat Fisik Tanah dan Hasil Tanaman Jagung di Kelurahan Lape Kecamatan Aesesa.** *Journal of Sustainable Dryland Agriculture*, 14(1), 67-82. DOI: <https://doi.org/10.37478/agr.v14i1.1042>
- Jayasanka, D.J., M. Komatsuzaki, Y. Hoshino, H. Seki and M.I. Moqbal. 2016. Nutrients Status in Composts and Changes in Radioactive Cesium Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Sustainability*. 8(1332): 1-16
- Kaniz, F., Zheng, W., Bais, H., & Jin, Y. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria mediate soil hydro-physical properties: An investigation with *Bacillus subtilis* and its mutants. *Vadose Zone Journal*, 22. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20274>.
- Kartika, Y. (2025). Efektivitas Penggunaan Berbagai Jenis Pupuk Kompos. *Jurnal Asritani*.
- Keshavarzi, A. And Kumar, V. (2019). Spatial distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in agricultural soils of northeastern iran. *Geology Ecology and Landscapes*, 4(2), 87-103.
<https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1587588>
- Kolo, M.I. (2020). Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan Rumput Setaria. *Savana-Cendana*

- Kusuma, R.C., (2017). **Kajian Kandungan Logam Berat di Lokasi Penambangan Emas Tradisional di Desa Sangon, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo. *ReTII*.**
- Khair, Refki K., Utomo, M., Afandi, & Banuwa, I. S. (2017). **Pengaruh olah tanah dan pemupukan nitrogen jangka panjang terhadap bobot isi, ruang pori total, kekerasan tanah dan produksi tanaman jagung (*zea mays l.*) Di lahan polinela Bandar lampung. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 5(3), 175–180.**
- Lagiman, & Supriyanta, B. (2022). **Karakterisasi Morfologi dan Pemuliaan Tanaman Cabai. LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta.**
- Li, J., He, C., Liu, S., Guo, Y., Zhang, Y., Zhang, L., ... & Yang, X. (2024). Research progress and application strategies of sugar transport mechanisms in rice. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1454615. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1454615>
- Listiana, I., Bursan, R., Widyastuti, R., Rahmat, A., & Jimad, H. (2021). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Dalam Pembuatan Arang Sekam di Pekon Bulurejo Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu. *Intervensi Komunitas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 1-11.
- Marschner, H. (2012). *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Mukhlisah, N. (2022). **Pemanfaatan Tanah, Kompos, dan Arang Sekam Untuk Pertumbuhan Tanaman Cabai. COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat**, 2(2), 142-148
- Murti, E. K. C., Hastuti, P. B., & Astuti, Y. T. M. (2024). **Pengaruh PGPR dan Kompos Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit (*Capsicum frutescens L.*). *Jurnal Agroteknologi Terapan*, 2(1), 29–36. <https://doi.org/10.33474/e-jbst.v8i2.516>**
- Musdi et al., (2024). Edukasi Pembuatan Arang Sekam Padi Ramah Lingkungan untuk Pembenah Tanah. *Jurnal SIAR ILMUWAN TANI*.
- Nata, A.S., Mawardi, A. and Sobwan, I., 2021. **Analisis Kelayakan Pengkonsetrasian Bijih Emas Menggunakan Teknik Gravitasi Bebas Merkuri dengan Meja Goyang dalam Penambangan Emas Sekala Kecil di Wilayah Pertambangan Rakyat Kokap, Kulonprogo. *Prosiding SATU BUMI***, 2(1).
- Noviandari, L. (2024, 20 September). *Timbal (Pb) 101: Kenapa Paparan Timbal Sangat Berbahaya?* Pure Earth. <https://www.pureearth.org/timbal101-2/Pure Earth+2>
- Nugroho, A. (2019). **Analisis Pendapatan dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Usahatani Cabai Merah Hibrida di Lahan Pasir Pantai Desa Pleret, Kecamatan Panjatan, Kabupaten Kulon Progo, DIY (Skripsi Sarjana).** Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Nurmalasari, A. I., Supriyono, Budiastuti, M. T. S., Nyoto, S., dan Sulistyono, T. D. (2021). **Pengomposan Jerami Padi untuk Pupuk Organik dan Pembuatan Arang Sekam sebagai Media Tanam dalam Demplo Kedelai. PRIMA: Journal of Community Empowering and Services**, 5(2), 102-109.

- Ogie, T. B., Dawan, M., & Kaligis, J. B. (2024). **The Effect Of Giving Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) On The Growth Of Mustard Plants (*Brassica juncea* L.)**. *Jurnal Agroteknologi Terapan*, 5(1), 13–19. <https://doi.org/10.35791/jat.v5i1.44862>
- Pratama, A. A. (2023). **Potensi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dan Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Terhadap Acacia Mangium Untuk Biofitoremediasi TPA Piyungan** [Undergraduate thesis]. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/45678>
- Putra, A., Fitri, W. E., & Febria, F. A. (2023). **Toksisitas logam timbal terhadap kesehatan dan lingkungan: Literatur review**. *Jurnal Kesehatan Medika Saintika*, 14(1), 1–10. <https://jurnal.syedzasaintika.ac.id/index.php/medika/article/view/1890>
- Oueld Lhaj, M., Moussadek, R., Zouahri, A., Sanad, H., Saafadi, L., Mdarhri Alaoui, M., & Mouhir, L. (2024). *Sustainable agriculture through agricultural waste management: A comprehensive review of composting's impact on soil health in Moroccan agricultural ecosystems*. *Agriculture*, 14(12), 2356. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122356>
- Ran, S., He, T., Zhou, X., & Yin, D. (2022). Effects of fulvic acid and humic acid from different sources on Hg methylation in soil and accumulation in rice.. *Journal of environmental sciences*, 119, 93-105 . <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.02.023>.
- Restiyah, et al. (2023). **Potential Utilization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Various Growing Media on Soil Fertility in Dry Land**. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2), 1–8.
- Safrizal, S., Nazimah, N., Fachrurrazi, S., Zikri, M., & Munandar, A. (2025). Analysis of soil fertility levels for patchouli plants (*pogostemon cablin* benth) in aceh utara regency. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1476(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1476/1/012001>
- Santoso, D. H., & Gomareuzzaman, M. (2018). **Kelayakan teknis penambangan emas pada wilayah pertambangan rakyat: Studi kasus Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo**. *Jurnal Science Tech*, 4(1).
- Silaban, M. U. E., Kumolontang, W. J. N., & Purbopuspito, J. (2024). *Soil phosphorus and potassium nutrient; C-organic; and pH at PT J Resources Bolaang Mongondow mine reclamation land*. **Soil and Environment Journal**, Universitas Sam Ratulangi. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/soilenvironmental/article/download/58991/48095>
- Situngkir, N. C., Sudana, I. M., & Singarsa, I. D. P. 2021. **Pengaruh Jenis Bakteri PGPR dalam Beberapa Jenis Media Pembawa untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Ketahanan Tanaman Padi Beras Merah Lokal Jatiluwih terhadap Penyakit**. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(2): 233-243.

- Subari, P. (2024). Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dan efeknya terhadap pertumbuhan tanaman. *Agriwana*, 8. Diakses dari <https://ojs.stipersriwigama.ac.id/index.php/agriwana/article/download/49/20>
- Suhendri, Irawan, B., & Rismawan, T. (2015). **Sistem Pengontrolan Kelembaban Tanah Pada Media Tanam Cabai Rawit Menggunakan Mikrokontroler Atmega16 Dengan Metode Pd (Proportional & Derivative)**. *Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan*, 03(3), 45–56.
- Sukasih et al., (2025). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi sebagai Pupuk Organik. *Jurnal DAMHIL*.
- Suresh, A., Sameera, P., Chapla, J., & Rajarao, P. (2020). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Activity in Soil. *Microbes in Agriculture and Environmental Development*. <https://doi.org/10.1201/9781003057819-9>.
- Thaniya, T. T. K. (2016). **Stabilisasi/Solidifikasi Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland dan Tanah Tras**. *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- 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>
- Wulandari, P., Murdiono, W. E., & Koesriharti. (2019). **Pengaruh Dosis Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Dua Varietas Selada Merah (*Lactuca sativa L.*)**. *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(2), 283–290. <https://doi.org/10.21776/ub.jpt.2019.007.2.1>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Lokasi Pengambilan Sampel Titik 1



Lampiran 2. Dokumentasi Lokasi Pengambilan Sampel Titik 2



Lampiran 3. Dokumentasi Tanaman Kontrol dan Perlakuan



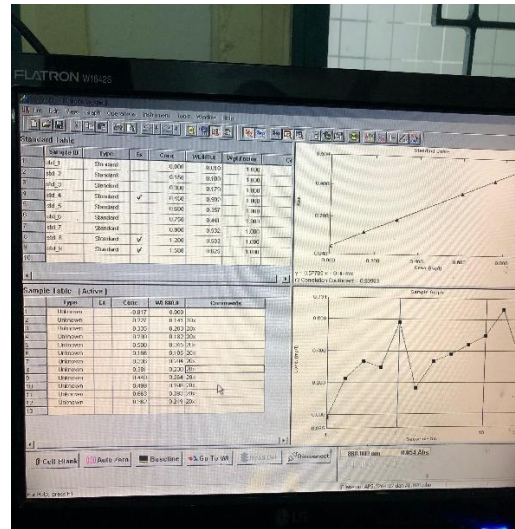
Lampiran 4. Dokumentasi Tanaman Setelah Panen



Lampiran 5. Dokumentasi Pengukuran Tanaman

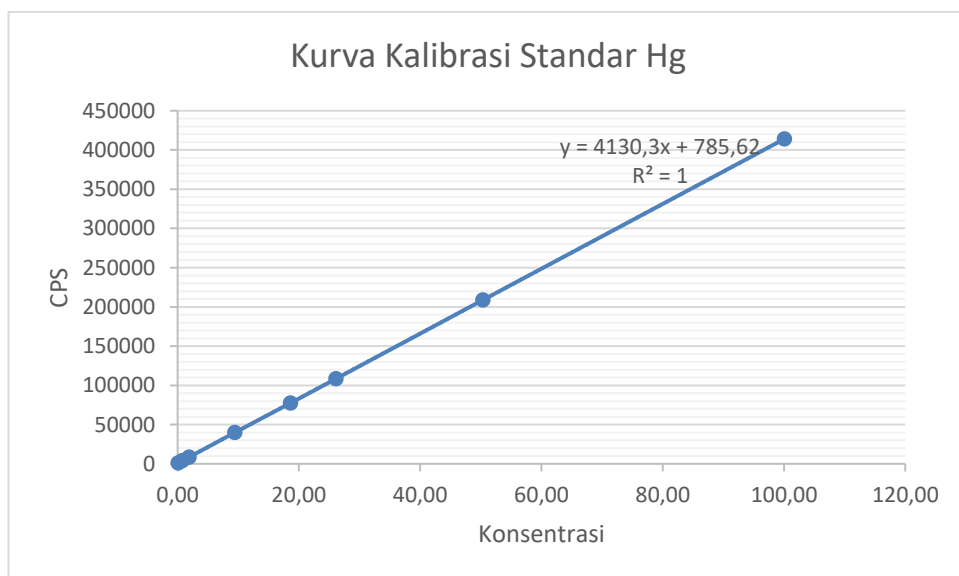


A photograph of a laboratory setup. Two Erlenmeyer flasks are placed on a white magnetic stirrer. The flask on the left is labeled 'K+M' and the one on the right is labeled 'K+P'. Both flasks contain a yellow liquid. The stirrer has a digital display showing '95' and two control knobs. The background shows a laboratory bench with various bottles and equipment.



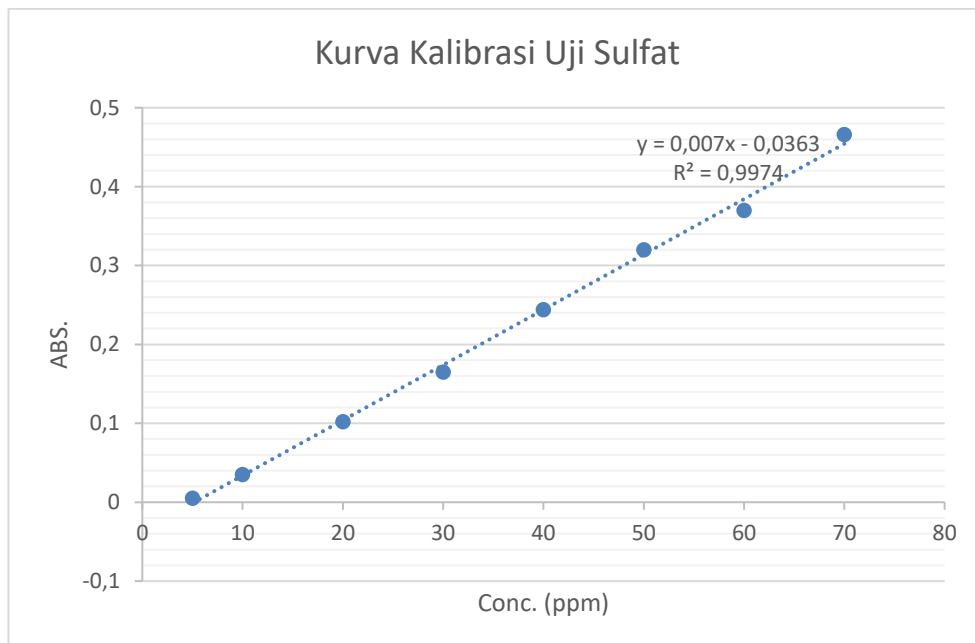
Lampiran 7. Kurva Kalibrasi Standar Hg

Kode	Conc.[ppb]	CPS
Std 0,5	0,08	1123,43
Std 1	0,76	3927,45
Std 5	1,86	8476,51
Std 10	9,44	39787,53
Std 20	18,59	77567,22
std 25	26,10	108585,52
std 50	50,33	208678,19
std 100	100,06	414051,50
Slope	4130.2933	
Intercept	785.6152	



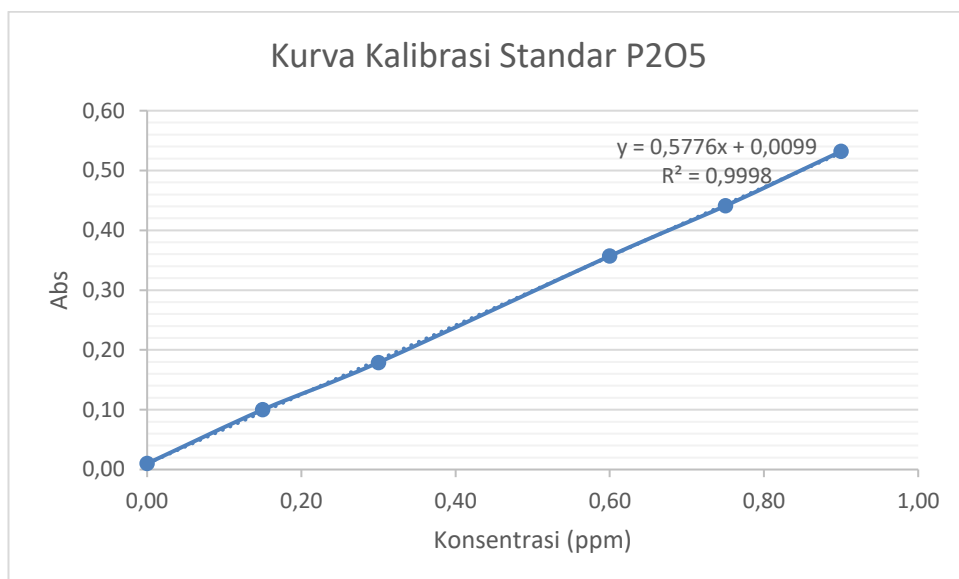
Lampiran 8. Kurva Kalibrasi Standar Sulfat

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	0,165
std 5	40	0,244
std 6	50	0,32
std 7	60	0,37
std 8	70	0,466
Slope	0,007	
Intercept	-0,0363	



Lampiran 9. Kurva Kalibrasi Standar P2O5

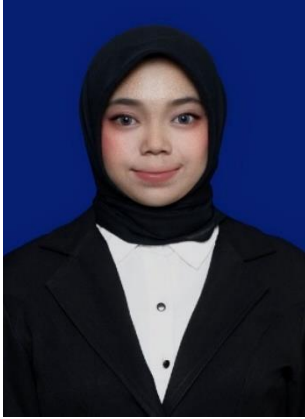
Kode	Conc. (ppm)	Abs
Std-1	0	0,01
Std-2	0,15	0,10
Std-3	0,30	0,18
Std-5	0,60	0,36
Std-6	0,75	0,44
Std-7	0,90	0,53
Slope	0.5776	
Intercept	0.0099	



Lampiran 10. Contoh Perhitungan

Kode	Abs	Fp	Ppm kurva	Kadar P Tanah (mg P ₂ O ₅ /100 gr)	Kadar P Tanah (ppm) (mg/kg)
K2 + P	0,23	20	7,62	45,56	4,55
Rumus	-	-	$\left(\frac{Abs - Intercept}{Slope} \right) \times Fp$	$Ppm \text{ kurva} \times \left(\frac{ml \text{ ekstrak}}{1000 \text{ ml}} \right) \times 100$ $gr \times Fp \times \left(\frac{142}{190} \right) \times fk$	$\frac{45,56}{10}$

RIWAYAT HIDUP



BINTANG TAWAKAL, lahir pada tanggal 01 Juni 2004 di Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan. Anak kedua dari dua bersaudara, dengan pasangan dari Siswadi dan Indah Christiana. Peneliti menyelesaikan pendidikan di SDN 2 PARINGIN. Kemudian peneliti melanjutkan pendidikan di MTS N 7 KLATEN. Tahun 2018, peneliti melanjutkan pendidikan di SMA N 1 JATINOM dan tamat pada tahun 2021. Setelah itu, hingga saat ini peneliti melanjutkan pendidikan pada salah satu PTS di Yogyakarta yaitu Universitas Islam Indonesia. Selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Yogyakarta, peneliti mengikuti beberapa kepanitiaan seperti PEKTA, GELORASEMA, dan LILIN. Selain itu, peneliti juga menjadi asisten laboratorium di semester 6 dan semester 8. Pada tahun 2024, peneliti melakukan kerja praktik di PPSDM MIGAS CEPU dengan topik pencemaran udara.