TA/TL/2026/2137

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Potensi *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) di Tanah Bekas Tambang Emas Rakyat

Rifqina Nuruhaq Gandi Putri
21513041

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

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Desain Inovasi
Universitas Islam Indonesia
2026

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Potential of Chitosan and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as Soil Amendments in Artisanal Gold Mine Soils

Rifqina Nuruhaq Gandi Putri
22513041

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

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Engineering Design Innovation
Universitas Islam Indonesia
2026

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Potensi *Chitosan* dan *Arbsular Mycorrhizal Fungi* (AMF) diTanah Bekas Tambang Emas Rakyat di Kulon Progo, 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 Desain Inovasi Universitas Islam Indonesia.

Rifqina Nuruhaq Gandi Putri

20513041

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 27 Agustus 2026 dan disetujui oleh:

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

Puji Lestari, S.Si., M.Sc.,Ph.D. (Pembimbing 2)

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. (Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
YOGYAKARTA

31/8-26

Ir. Ana 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, tanggal submit TA

Yang membuat pernyataan,



Rifqina Nurunaq Gandi Putri

22513041

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

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

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

1. Dengan izin dan pertolongan Allah SWT melalui rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kepada wanita hebatku. Ibu, terima kasih atas ruang nyaman pertama yang luas saat penulis merasa lelah, atas doa yang tidak pernah putus, dan kasih sayang yang berlimpah. Terima kasih atas segala pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis sejak kecil hingga saat ini. Ibu adalah panutan penulis untuk menjadi wanita yang kuat, sabar, dan hebat. Wanita dengan seribu rasa sabar dan kasih sayang. Terima kasih karena selalu ingin ikut andil dalam setiap momen bahagia penulis. Untuk semua lelah perjuangan, rasa sakit, dan kasih sayang yang tidak pernah usang, semoga Allah menghadiahi dengan surga. Aamiin.
3. Kepada cinta pertamaku. Bapak, terima kasih atas kehadiran dan selalu berjuang untuk kehidupan penulis, semangat dan kasih sayang yang sudah diberikan selalu menjadi pedoman hidup untuk penulis. Terima kasih sudah menghadiahkan tangki cinta yang penuh untuk anak perempuan satu-satunya, hingga menjadi kiblat sosok pria yang penuh dengan cinta kepada keluarga, istri, dan anak-anak yang tidak pernah pudar. Terima kasih atas pengorbanan materi, lelah, dan selalu ada di

belakang penulis. Semoga rasa lelah dan ikhlas bapak Allah hadiahi surga, Aamiin.

4. Kepada dua saudara penulis. Mas dan Adek, terima kasih sudah membersamai penulis sejak kecil hingga saat ini. Doa dan *support* kalian selalu mendampingi penulis hingga saat ini. Hidup lebih lama untuk berbagi kebahagiaan dan melihat masa depan bersama hingga nanti, Aamiin.
5. Untuk sahabatku. Nisa, Shinta, Ana yang sudah menemani penulis di masa perantauan sejak masih menjadi mahasiswa baru hingga kita berada di titik yang ditunggu-tunggu sejak dulu. Impian kita tercapai: menyelesaikan pendidikan dalam waktu yang berdekatan, diselimuti rasa bangga dan bahagia atas pencapaian masing-masing. Terima kasih sudah menemani penulis hingga saatnya kita harus melanjutkan hidup masing-masing. Penulis beruntung mengenal kalian.
6. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, serta Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang dengan tulus telah memberikan bimbingan, arahan, serta meluangkan waktu dan kesempatan bagi penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan staf laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak pembelajaran dan ilmu yang berharga.
8. Terakhir, kepada seorang gadis yang diam-diam selalu mengkhawatirkan semuanya tentang bagaimana ia hidup di atas kakinya sendiri, bagaimana ia selalu mengedepankan rasa bahagianya sendiri. Terima kasih kepada penulis skripsi ini, yakni Rifqina Nuruhaq Gandi Putri, anak perempuan semata wayang yang sangat dicintai oleh Bapak dan Ibu. Terima kasih telah lahir sebagai anak yang hebat dan kuat melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Aku berdoa semoga langkahmu selalu di perkuat dan di kelilingi orang baik hingga doa mu dikabulkan satu persatu, Aamiin,

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan. Maka dari itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Tulisan ini bertujuan untuk menjadi sumber informasi bagi para pembaca dan sebagai bahan referensi bagi para peneliti selanjutnya.

Sleman, 30 Juli 2026

Rifqina Nuruhaq Gandi Putri

Potensi *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) di Tanah Bekas Tambang Emas Rakyat

Mahasiswa	: Rifqina Nuruhaq Gandi Putri
NIM	: 22513041
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing	: Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Abstrak

Aktivitas penambangan emas oleh masyarakat dengan cara amalgamasi yang menggunakan merkuri (Hg) dapat menurunkan kualitas tanah karena logam berat terkumpul dan ketersediaan zat-zat nutrisi yang dibutuhkan tanah berkurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *chitosan* dan *arbuscular mycorrhizal fungi* (AMF) dalam meningkatkan laju pertumbuhan *Melaleuca cajuputi*, dan menganalisis potensi bahan pembenah tanah *chitosan, arbuscular mycorrhizal fungi* (AMF), terhadap penyerapan logam berat (Hg) pada tanah bekas tambang emas. Penelitian ini dilakukan di lingkungan greenhouse menggunakan tanah bekas tambang emas di Kecamatan Kokap, Kulon Progo. Penelitian ini terdiri dari tiga jenis perlakuan, yaitu kontrol (S), perlakuan chitosan (S+CHI), dan perlakuan kombinasi chitosan dengan AMF (S+CHI+M). Parameter yang diamati mencakup pH, kadar Hg pada tanah dan tanaman, kadar P_2O_5 pada tanah dan tanaman, tinggi tanaman, diameter tanaman, serta biomassa tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa perlakuan (S+CHI+M) memiliki tinggi tanaman mencapai 53 cm, diameter batang 4 mm, biomassa kering batang sebesar 3,94 g dan akar 0,52 g, serta kandungan P_2O_5 dalam tanah yang paling tinggi, yaitu 39,18 mg/kg. Perlakuan S+CHI menghasilkan pH tanah sebesar 4,87, kandungan P_2O_5 pada batang sebesar 14,02 mg/kg, serta kandungan P_2O_5 pada akar sebesar 18,10 mg/kg. Konsentrasi merkuri di dalam tanah terbesar terdapat pada S+CHI+M, yaitu 147,31 mg/kg, sedangkan merkuri di batang paling rendah terdapat pada S+CHI sebesar 10,01 mg/kg dan merkuri di akar paling rendah terdapat pada S+CHI+M sebesar 15,49 mg/kg. Peningkatan kadar Hg yang tersimpan di dalam tanah menunjukkan proses imobilisasi yang terjadi, sehingga ketersediaan Hg bagi tanaman berkurang. Secara keseluruhan, campuran *chitosan* dan AMF dapat membantu memulihkan lahan yang dulunya digunakan untuk menambang emas dengan meningkatkan pertumbuhan tanaman, menyediakan lebih banyak fosfor, serta mengurangi penumpukan logam raksa dalam jaringan tanaman.

Kata kunci: *Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, *Melaleuca cajuputi*, merkuri, *chitosan*, rehabilitasi lahan.

Potential of Chitosan and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as Soil Amendments in Artisanal Gold Mine Soils

Student : Rifqina Nuruhaq Gandi Putri
Student Number : 22513041
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Abstract

Gold mining activities by communities using amalgamation methods with mercury (Hg) can degrade soil quality because heavy metals accumulate and the availability of essential nutrients decreases. This study aims to determine the effectiveness of chitosan and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in enhancing the growth rate of Melaleuca cajuputi, and to analyze the potential of soil amendments, chitosan, and AMF in relation to heavy metal (Hg) absorption in post-gold mining soils. The research was conducted in a greenhouse environment using soil from former gold mining sites in Kokap District, Kulon Progo. The study involved three treatments: control (S), chitosan treatment (S+CHI), and combined chitosan with AMF (S+CHI+M). Parameters observed included pH, Hg levels in soil and plants, P_2O_5 content in soil and plants, plant height, stem diameter, and biomass. Results showed that the (S+CHI+M) treatment produced a plant height of 53 cm, stem diameter of 4 mm, dry biomass of stems at 3.94 g and roots at 0.52 g, and the highest P_2O_5 content in soil at 39.18 mg/kg. The S+CHI treatment resulted in soil pH of 4.87, P_2O_5 content in stems at 14.02 mg/kg, and P_2O_5 in roots at 18.10 mg/kg. The highest mercury concentration in soil was found in the S+CHI+M treatment at 147.31 mg/kg, while the lowest mercury in stems was in the S+CHI treatment at 10.01 mg/kg, and the lowest mercury in roots was in the S+CHI+M treatment at 15.49 mg/kg. The increase in Hg levels stored in the soil indicates an immobilization process, reducing Hg availability to plants. Overall, the combination of chitosan and AMF can help restore land previously used for gold mining by promoting plant growth, increasing phosphorus availability, and reducing mercury accumulation in plant tissues.

Keywords: *Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Melaleuca cajuputi, mercury, chitosan, soil rehabilitation*

DAFTAR ISI

PRAKATA i
Abstrak iv
DAFTAR ISI i
DAFTAR TABEL iii
DAFTAR GAMBAR.....iv
DAFTAR LAMPIRAN i
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Perumusan Masalah.....3
1.3 Tujuan Penelitian.....3
1.4 Manfaat Penelitian.....4
1.5 Ruang Lingkup.....4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tambang Emas Tradisional.....5
2.2 Karakteristik Tanah Tambang.....5
2.3 Logam Berat dan Unsur Hara di Tanah Tambang Emas.....6
2.3.2 Fosfor (P).....7
2.4 Metode Remediasi Tanah Bekas Tambang Emas 7
2.4.1 Bioremediasi.....8
2.4.2 Fitoremediasi 8
2.4.*Melalueca cajuputi* 8
2.5 Bahan Pembenah Tanah 9
2.5.1 Arang Sekam.....9
2.5.2 Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) 10
2.5.2 *Chitosan*.....10
2.5 Penelitian Terdahulu.....11
2.7 Hipotesis.....13
BAB III METODE PENELITIAN.....14
3.1 Waktu dan Lokasi.....14
3.2 Alat dan bahan.....15
3.3 Tahapan Penelitian 15
3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah 16
3.3.2 Persiapan Media Tanam 17
3.3.3 Penanaman.....18
3.3.4 Inokulasi *Arbuscular Myhorrhizal Fungi* (AMF) 19
3.3.5 Perawatan dan Pengamatan 19

3.3.6 Pemanenan 20
3.4 Uji Labaoratorium 21
3.5 Analisis Data 22
3.5.1 Perhitungan Logam Berat Merkuri (Hg) 22
3.5.2 Perhitungan Kandungan Nutrisi (P_2O_5) 23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Hasil Pengujian pH Tanah 25
4.2 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Reduksi Logam Merkuri (Hg) 26
4.3.1 Konsentrasi Hg Tanah 26
4.3.2 Konsentrasi Hg Tanaman 28
4.3 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Nutrisi P_2O_5 30
4.2.1 Kandungan P_2O_5 Tanah 30
4.2.2 Kandungan P_2O_5 Batang 32
4.2.3 Kandungan P_2O_5 Akar 33
4.4 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman Uji 34
4.1.1 Tinggi Tanaman Uji 34
4.1.2 Diameter Tanaman Uji 36
4.1.3 Biomassa Tanaman Uji 37
BAB V PENUTUP 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 46
RIWAYAT HIDUP 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar Penelitian Terdahulu 12
Tabel 3. 1 Daftar Alat 15
Tabel 3. 2 Daftar Bahan 15
Tabel 3. 3 Karakteristik *Shrimp Sneil Chitosan* 18
Tabel 3. 4 Perlakuan Tanaman Uji 18
Tabel 3. 5 Parameter & Metode Uji 22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman *Melalueca Cajuputi* 9
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Titik Sampling 14
Gambar 3. 2 Prosedur Uji Analisis 16
Gambar 3. 3 Pengambilan sampel tanah 17
Gambar 3. 4 Persiapan tanah land farming 17
Gambar 3. 6 Proses penanaman *Melalueca Cajuputi* 19
Gambar 3. 7 *Arbuscular Myhorrhizal Fungi* (AMF) 19
Gambar 3. 8 Proses pengamatan tanaman uji 20
Gambar 3. 9 Proses perawatan tanaman uji 20
Gambar 3. 11 Hasil pemanenan tanaman uji 21
Gambar 4. 1 Nilai uji pH (H2O) 25
Gambar 4. 2 Data konsentrasi Hg pada tanah 27
Gambar 4. 3 Data konsentrasi Hg Batang 28
Gambar 4. 4 Data konsentrasi Hg akar 30
Gambar 4. 5 Data konsentrasi P2O5 tanah 31
Gambar 4. 6 Konsentrasi P2O5 Batang 32
Gambar 4. 7 Konsentrasi P2O5 akar 33
Gambar 4. 8 Data tinggi tanaman uji 35
Gambar 4. 9 Data diameter Tanaman Uji 36
Gambar 4. 10 Data biomassa tanaman uji 38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kurva Kalibrasi Standar Hg 46
Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Standar P 47
Lampiran 3 Grafik dan Data XRD 49
Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan 51

BAB I
PENDAHULUAN.

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia yang secara geologi berada pada jalur magmatisme memengaruhi keberadaan deposit logam berat, terutama deposit emas. Salah satu lokasi yang memiliki deposit emas adalah Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kab. Kulon Progo, Prov. D.I.Yogyakarta. Penambangan emas di daerah Kalirejo, Kec. Kokap merupakan penambangan emas rakyat ilegal dimana merupakan pertambangan tersebut tidak memiliki izin (PETI).

PETI adalah usaha pertambangan yang dilakukan perorangan, kelompok atau yayasan yang berbadan hukum dalam operasinya tidak memiliki izin dari instansi pemerintahan pusat atau daerah yang sesuai dengan UU yang berlaku (Junaidi, 2022; Zuhri, 2005). Kegiatan tersebut meliputi ekstraksi, pengolahan biji tambang, serta amalgamasi untuk mendapatkan emas (Krisnayanti, *et al.,* 2016). Kegiatan PETI dapat menciptakan kesempatan kerja dan meningkatkan perekonomian masyarakat. Namun demikian, kegiatan ini secara tidak langsung tetap menimbulkan berbagai macam dampak negatif. Kegiatan PETI dapat menimbulkan kerusakan lingkungan. Hal ini dikarenakan kegiatan ini menggunakan merkuri untuk ekstraksi emas, yang dipakai secara luas pada pertambangan emas skala kecil (Male *et al.,* 2013; Sumantri *et al*., 2014; Tomiyasu *et al.,* 2013).

Pengeolahan emas dilakukan secara langsung di tempat penambangan dengan teknik amalgamasi menggunakan merkuri (Hg). Bijih emas yang sudah di hancurkan dicampurkan dengan merkuri di dalam gelondong. Pada proses penggilingan, merkuri di ikat emas terbentuk amalgam (campuran emas dan merkuri), sedangkan batuan halus dipisahkan dengan aliran air. Hasil pemisahan tersebut menghasilkan *talling* yang masih mengandung merkuri (Kusuma *et al.,* 2017).

Limbah hasil pertambangan (*talling)* dilepaskan ke lingkungan akan mencemari udara, tanah dan air, serta mengganggu rantai makanan melaui bioakumulasi ((Mestanza-Ramón *et al*., 2022). Logam merkuri yang dapat memasuki tubuh menyebabkan tremor, sakit kepala, susah menelan, saya dengar

menurun hingga pengelihatan kabur (Priyambodo *et al.,* 2020). Selain itu, keadaan yang dapat ditimbulkan akibat aktivitas penambangan emas adalah rusaknya ekosistem sekitar baik tanah maupun air. Pada tanah lapisan atas hasil dari pertambangan terjadi penurunan status hara tanah, populasi mikroba dan serangga penyubur tanah, hingga mengubah iklim mikro menjadi kurang baik untuk organism hidup (Makdoh dan Kayang, 2015). Pada tanah bekas tambang, kondisi tanah umumnya tidak terlalu menguntungkan bagi perkembangan tanaman karena terjadi penurunan kualitas fisik dan kimia. Bahan tanah di area yang telah ditambang emas mungkin memiliki kemampuan menyimpan air yang rendah serta kandungan nutrisi (N, P, K) yang minim. Di samping itu, keadaan tanah bisa menjadi lebih asam selama proses pelapukan dari bahan tambang (Siswanto *et al.,* 2012). Kontaminasi merkuri pada tanah bekas tambang diketahui dapat mengakibatkan perubahan morfologi tanaman hingga menjadi salah satu faktor yang menghambat pemulihan vegetasi pada lahan pascatambang (Muddarisna & Siahaan, 2014).

Upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas tanah yang tercemar akibat kegiatan pertambangan adalah dengan menerapkan pendekatan input eksternal rendah (*low external input*), misalnya melalui pemanfaatan bahan alami seperti pupuk organik maupun pupuk hayati (*biofertilizer*). Salah satu pupuk hayati yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas lahan bekas tambang adalah mikorisa (Kroop, 1990). Metode remediasi merupakan upaya guna mengurangi, menghilangkan, dan menstabilkan kontaminan di dalam tanah (Ali *et al*., 2013). Pada penelitian ini menggunakan metode remediasi melalui bioremediasi dalam upaya untuk memperbaiki kualitas tanah.

Bioremediasi merupakan metode yang memanfaatkan organisme hidup guna membantu mengurangi risiko kontaminan. Salah satu dari bentuknya yakni fitoremediasi, yakni menggunakan tanaman untuk menyerap, menahan atau menstabilkan polutan di dalam tanah. Fitoremediasi dapat dilakukan dengan beberapa mekanisme, salah satunya adalah *phytostabilization.* Dimana, tanaman membantu menahan kontaminan didaerah akar sehingga mobilitas dan penyebaran ke lingkungan dapat diminimalisir (Ali *et al*., 2013). Pada penelitian

ini peneliti menggunakan agen bioremediasi berupa tanaman *Melalueca cajuputi* dengan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dan *Chitosan*.

Tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) sangat bisa beradaptasi, sehingga bisa dipakai untuk mengembalikan tanaman di tempat yang rusak dan bekas tambang (Mansur *et al*., 2022). Tanaman ini bisa tumbuh di tanah yang tidak terlalu baik, seperti tanah yang tidak subur dan tempat yang terkena dampak dari aktivitas tambang (Budi & Nurdiani, 2022). Selain itu, pertumbuhan kayu putih di lahan bekas tambang bisa lebih baik jika diberikan bahan organik atau pemulih tanah untuk memperbaiki media tumbuhnya (Subagio *et al*., 2018). Dengan sifat-sifat tersebut, *Melalueca cajuputi* bisa menjadi pilihan yang baik untuk merehabilitasi lahan bekas tambang dan membantu proses pemulihan.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini di harapkan dapat memberikan hasil yang dapat membantu meremediasi tanah dengan Potensi Kombinasi *Chitosan* dan AMF pada *Melalueca cajuputi* di bekas tambang emas rakyat di Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta yang dirasa penting dan strategis, mengingat belum ada kajian khusus yang menggabungkan ketiga komponen tersebut sebagai pendekatan inovatif dalam pemulihan ekosistem lahan terdegradasi di daerah tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana potensi bahan pembenah tanah seperti *chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dalam memperbaiki kualitas tanah bekas tambang rakyat, dengan tanaman *Melaleuca cajuputi* sebagai parameter?
2. Bagaimana potensi bahan pembenah tanah seperti *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), terhadap pertumbuhan tanaman *Melaleuca Cajuputi* sebagai parameter?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui efektivitas *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), dalam meningkatkan laju pertumbuhan *Melalueca cajuputi*
2. Menganalisis potensi bahan pembenah tanah dan *Chitosan, Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), terhadap penyerapan logam berat (Hg) pada

tanah bekas tambang emas tanaman Melalueca Cajuputi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan solusi terkait potensi bahan pembenah tanah seperti Chitosan dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), terhadap pertumbuhan tanaman *Melaleuca cajuputi.*
2. Bahan studi literatur terkait potensi bahan pembenah tanah seperti *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF), terhadap perbaikan kualitas tanah

1.5 Ruang Lingkup

Batasan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penelitian dilaksanakan mulai April 2026 hingga September 2026.
2. Pemantauan pertumbuhan tanaman dilakukan dalam skala rumah kaca
3. Jenis tanaman yang digunakan yakni *Melaleuca Cajuputi.*
4. Penelitian potensi bahan pembenah tanah, seperti *Chitosan* dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) terhadap perbaikan kualitas tanah.

.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tambang Emas Tradisional

Proses pertambangan emas di Indonesia banyak dilakukan secara tradisional. Hal ini disebabkan oleh biaya atau modal yang dikeluarkan masyarakat yang tidak terlalu besar. Secara umum, kegiatan pertambangan emas ini disebut PETI (Penambangan Emas Tanpa Izin) atau pertambangan ilegal. Hal ini tentu berdampak buruk pada kualitas lingkungan di sekitar area tambang. Pertambangan emas tradisional ini memiliki ciri khas dengan menggunakan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana serta berbiaya rendah. Pertambangan emas di Desa Kalirejo merupakan kegiatan pertambangan yang dilakukan secara ilegal. Dalam kegiatan pengolahan hasil tambang emas dari bijih menggunakan merkuri (Hg) yang dilakukan di dalam gelondong. Penggunaan metode ini memberikan kontaminan merkuri dan logam berat lainnya semakin tinggi (Setiabudi, 2005)

Pada pengolahan emas tradisional di Indonesia digunakan metode sederhana, yaitu amalgamasi. Proses ini merupakan proses pengikatan logam emas dari bijih menggunakan merkuri (Hg). Proses amalgamasi menghasilkan *tailing*. *Tailing* adalah residu dari pengolahan bijih emas yang dapat menyebabkan merkuri (Hg) mencemari wilayah di sekitar area penambangan emas. Proses pengolahan dengan teknik amalgamasi ini menjadi pilihan utama bagi pertambangan emas skala kecil dikarenakan cara pengolahan yang sederhana dengan biaya operasional yang murah dan mudah dalam pemasaran produk.

2.2 Karakteristik Tanah Tambang

Lahan bekas tambang emas, aktivitas penambangan menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap sifat fisik tanah. Kerusakan tersebut meliputi kerusakan tekstur tanah. Terganggunya sistem tata air dan aerasi, menurunnya kemampuan tanah dalam menyerap air, serta meningkatnya potensi erosi. Lahan bekas tambang emas umumnya tergolong sebagai lahan kritis yang memiliki tingkat kesuburan rendah, kehilangan lapisan tanah atas (*topsoil)* dan bahan organik, didominasi oleh fraksi pasir, rentan terhadap erosi, serta tercemar logam berat, khususnya merkuri (Wiwik *et al., 2018*). Pada tanah bekas tambang

emas umumnya ditemukan peningkatan kandungan logam berat, seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan besi (Fe), yang dapat menurunkan kualitas tanah. (Alloway, 2013).

Dari aspek biologis, tanah bekas tambang umumnya memiliki aktivitas mikroorganisme yang rendah akibat berkurangnya kandungan bahan organik serta rusaknya habitat mikroba selama proses penambangan. Selain itu, rendahnya aktivitas biologis tanah turut memengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara serta mengurangi ketahanan tanaman terhadap berbagai cekaman lingkungan. Oleh karena itu, pemulihan aktivitas mikroorganisme tanah menjadi salah satu aspek penting dalam upaya rehabilitasi lahan bekas tambang agar kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman dapat meningkat (Juwarkar & Jambhulkar, 2008). pH tanah merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas tanah. Secara umum, sebagian besar tanaman dapat tumbuh secara optimal pada kisaran pH 5,5–7,0 karena pada kondisi tersebut unsur hara esensial berada dalam bentuk yang lebih tersedia dan mudah diserap oleh tanaman (Brady & Weil, 2017).

2.3 Logam Berat dan Unsur Hara di Tanah Tambang Emas

Logam berat merupakan sisa maupun residu kimia yang keberadaannya patut diwaspadai. Konsentrasi logam berat yang tinggi banyak ditemukan dalam kegiatan pertambangan, terutama pada proses tailing (hasil pemisahan bijih emas). Secara kimia *tailing* tidak mengandung koloid yang dapat mengakibatkan rendahnya kapasitas pertukaran kation (KTK), dan unsur hara yang rendah. Unsur hara logam mikro yang sangat tinggi kemungkinan besar disebabkan oleh bahan sisa tambang dan dapat meracuni tanaman, hewan, maupun manusia. *Tailing* ini terdiri dari berbagai mineral seperti silika, magnesium, silikat besi, natrium, kalium, dan sulfida. Sifat kimia pada sulfida relatif aktif sehingga apabila bersentuhan dengan udara menyebabkan oksidasi. Hasil oksidasi akan membentuk gas dan garam yang dapat bersifat asam. Reaksi pada cairan ini mengandung sejumlah logam beracun serta mencemari lingkungan, seperti Hg, Pb, dan Cd (Herman, 2006).

2.3.1 Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi yang tersebar luas di alam. Merkuri ini termasuk dalam golongan zat *neurotoksik yang dapat* menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan. Menurut

World Health Organization (WHO), paparan merkuri dalam jumlah kecil dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius. Paparan secara langsung berpotensi menyebabkan kerusakan pada sistem saraf, ginjal, dan kardiovaskular, dengan tingkat keparahan yang dipengaruhi oleh jumlah, jenis, serta durasi pajanan. Merkuri dapat masuk kedalam tubuh melalui berbagai jalur, seperti kontak langsung, udara, air, maupun makanan yang telah terkontaminasi (Reza *et al*., 2016)

2.3.2 Fosfor (P)

Fosfor merupakan mineral dengan jumlah terbanyak kedua dalam tubuh, yaitu sekitar 1% dari total berat badan. Sekitar 85% fosfor berada dalam bentuk garam kalsium fosfat yang tidak larut dan tersimpan di tulang serta gigi, dengan perbandingan fosfor terhadap kalsium sebesar 1:2. Sisanya tersebar di seluruh sel tubuh, terutama di otot dan cairan ekstraseluler. Dalam bentuk fosfolipid, fosfor berperan sebagai komponen struktural penyusun dinding sel. Sementara itu, sebagai fosfat organik, fosfor memiliki peran penting dalam proses penyimpanan dan pelepasan energi dalam bentuk Adenosin Trifosfat (ATP) (Almatsier, 2009).

Sumber fosfor umumnya berasal dari bahan hewani serta sumber sintetis seperti bone meal, rock phosphate, dan defluorinated rock phosphate. Selain itu, susu juga menjadi sumber penting fosfor dengan kandungan sekitar 93 mg/L. Beras giling mengandung fosfor sekitar 140 mg/L, sedangkan daging dan ikan memiliki kandungan fosfor berkisar antara 100–200 mg/L (Widodo, 2006).

2.4 Metode Remediasi Tanah Bekas Tambang Emas

Tanah bekas kegiatan pertambangan emas umumnya mengalami penurunan kualitas akibat hilangnya vegetasi, rendahnya kandungan bahan organik dan unsur hara, perubahan pH, serta akumulasi logam berat. Pada pertambangan emas rakyat yang menggunakan amalgamasi, merkuri (Hg) menjadi salah satu kontaminan utama yang dapat tertinggal di tanah dan berpotensi menyebar ke lingkungan (Johnson, M .G., et al., 2019). Secara umum, metode remediasi tanah yang tercemar logam berat dapat dikategorikan menjadi metode fisik, kimia, dan biologis (Gao, J., *et al.,* 2015).

Metode remediasi secara biologis dikenal sebagai fitoremediasi dan bioremediasi (Tiodar., *et al*. (2021) menjelaskan bahwa bioremediasi dan fitoremediasi merupakan pendekatan yang berpotensi digunakan untuk tanah yang tercemar merkuri karena dapat dilakukan secara in situ, relatif sederhana, dan memiliki dampak yang lebih rendah terhadap ekosistem dibandingkan dengan teknologi rekayasa tertentu. Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi juga dapat berperan dalam transformasi, pengikatan, dan detoksifikasi Hg.

2.4.1 Bioremediasi

Bioremediasi adalah metode pemulihan lingkungan yang menggunakan organisme hidup seperti tanaman, mikroorganisme, dan fungi untuk mengurangi risiko pencemar. Pada tanah yang tercemar logam berat, prosesnya meliputi adsorpsi, imobilisasi, transformasi, atau pengambilan logam oleh organisme. Pendekatan ini dianggap lebih ramah lingkungan dan dapat menjadi alternatif dari metode fisik-kimia yang lebih intensif (Mohammad., *et al.,* 2025).

2.4.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi menggunakan tanaman untuk menghilangkan polutan di dalam tanah dan air yang terkontaminasi (Purwantari, N.D, 2007.) Keunggulan sistem fitoremediasi adalah ramah lingkungan, murah dan dapat dilakukan secara *in situ* (Juhaeti, T., *et al.,* 2005). Metode ini dianggap sebagai teknologi yang paling murah dan paling mudah dilakukan untuk memperbaiki kualitas bekas tambang. Beberapa spesies tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap, mentranslokasikan, dan mengakumulasi logam berat sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses fitoremediasi tanah tercemar (Ali *et al.,* 2013).

2.4.2.1 *Melalueca cajuputi*

Melaleuca cajuputi (kayu putih) merupakan salah satu spesies dari famili *Myrtaceae* yang dikenal sebagai penghasil minyak kayu putih. Tumbuhan ini banyak tersebar di daerah tropis, terutama di Indonesia, Australia, dan Papua Nugini. Pemanfaatannya telah berkembang sejak lama, khususnya dalam bidang kesehatan, industri, dan lingkungan (Doran & Turnbull, 1997).

Secara morfologis, *Melaleuca cajuputi* adalah pohon berkayu yang mampu tumbuh hingga ketinggian sekitar 10–30 meter. Ciri khas

utamanya terletak pada kulit batang yang berlapis-lapis menyerupai kertas (*paperbark*). Daunnya berbentuk lanset memanjang dengan kandungan minyak atsiri yang tinggi. Bunganya berwarna putih hingga krem dan tersusun dalam bentuk bulir, sementara buahnya berupa kapsul kecil yang berisi biji-biji halus (Turnbull, 1986). *Melaleuca cajuputi* dapat tumbuh pada tanah marginal, tanah gambut, serta lahan dengan kondisi kering maupun tergenang. Kemampuan tersebut menjadikannya berpotensi sebagai tanaman untuk rehabilitasi lahan kritis dan lahan bekas tambang. Foto tanaman *Melalueca Cajuputi* dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Tanaman *Melaleuca cajuputi*

2.5 Bahan Pembenah Tanah

2.5.1 Arang Sekam

Biochar, atau yang biasa dikenal sebagai arang, adalah produk yang dihasilkan dari pemanasan limbah biomassa tanpa udara atau dengan sedikit udara. Di Indonesia, potensi penggunaan *biochar* cukup besar, karena bahan baku pembuatannya meliputi tempurung kelapa, residu kayu, kulit buah kakao, tongkol jagung, sekam padi, dan sejenisnya (Nurida, 2014). Komposisi bahan kimia sekam padi terdiri dari 45% - 50% selulosa, 24% - 30% lignin, dan 15% - 20% silika (Syuhadah, 2012). Potensi kandungan bahan kimia, nutrisi, dan karbon organik pada sekam padi menjadikannya bahan baku yang potensial

untuk pembuatan biochar dalam upaya memperbaiki tanah yang tercemar logam berat (Komarek, 2013).

2.5.2 Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) adalah salah satu mikroorganisme tanah yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman dan diketahui berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan serta penyerapan unsur hara, khususnya fosfor yang umumnya terbatas di dalam tanah (Smith, 2011). AMF membentuk struktur hifa, arbuskula, dan vesikel pada atau di dalam jaringan akar. Hifa eksternal memperluas daerah jelajah akar sehingga membantu tanaman memperoleh air dan unsur hara, terutama fosfor (P), sedangkan tanaman menyediakan karbon hasil fotosintesis untuk pertumbuhan jamur (Thirkell *et al.,* 2020). Kemudian P ditranslokasikan melalui hifa dalam bentuk fosfat dan senyawa polifosfat menuju arbuskula untuk selanjutnya ditransfer ke sel akar melalui transporter fosfat (Choi *et al*., 2018)). Selain meningkatkan penyerapan P, AMF dapat membantu mengurangi toksisitas logam berat melalui hifa dan struktur jamur. Logam dapat teradsorpsi pada dinding sel hifa dan diimobilisasi melalui kompleksasi dengan senyawa atau protein jamur, termasuk glomalin, sehingga sebagian logam tertahan pada hifa, vesikel, arbuskula, dan daerah perakaran serta mengurangi perpindahannya ke bagian atas tanaman.

Pada akar, terdapat pula pertukaran ion (*ion exchange*) antara permukaan akar dan larutan tanah. Gugus bermuatan pada dinding sel akar dapat melakukan pertukaran kation, misalnya H^+ dengan kation logam seperti Hg^{2+}, Pb^{2+}, atau Cd^{2+}. Namun, penyerapan P bukan terutama melalui pertukaran ion tersebut, melainkan melalui transporter fosfat pada membran sel akar dan membran arbuskula. Dengan demikian, AMF bekerja melalui dua mekanisme utama, yaitu memperluas penyerapan P melalui jaringan hifa dan menahan/imobilisasi logam pada struktur jamur dan daerah akar, sehingga pertumbuhan tanaman pada tanah tercemar dapat lebih terlindungi.

2.5.2 *Chitosan*

Chitosan adalah biopolimer alami yang dihasilkan dari proses deasetilasi kitin, yang biasanya diperoleh dari cangkang udang dan kepiting. Chitosan memiliki kelompok fungsional utama yaitu amino ($-NH_2$) dan hidroksil (-OH)

yang memungkinkannya berfungsi sebagai adsorben untuk mengkap logam berat (Guibal, 2004; Wu et al., 2010). Pada remediasi tanah *chitosan* berperan dalam mengikat logam berat, seperti merkuri (Hg), sehingga mobilitas dan ketersediaannya untuk tanaman dapat diminimalkan. Pengikatan Hg terutama terjadi melalui kompleksasi atau khelasi, di mana pasangan elektron bebas pada grup amino dan hidroksil berinteraksi dengan ion logam, sehingga Hg lebih kuat terikat pada chitosan (Guibal, 2004; Zhong *et al.,* 2021). Dengan cara ini, *chitosan* memiliki potensi untuk menurunkan penyerapan Hg oleh tumbuhan dan mendukung proses pemulihan tanah terkontaminasi.

Hasil karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan dua puncak difraksi pada chitosan, yaitu di 2θ = 6,197° dan 19,986°. Puncak utama di 19,986° memiliki intensitas relatif sebesar 100%. Puncak yang cukup lebar di sekitar 20° menunjukkan bahwa chitosan memiliki struktur semi-kristalin, yang merupakan gabungan dari bagian kristalin dan amorf. Nilai d-spacing pada puncak utama adalah 4,3899 Å. Data ini mendukung karakterisasi chitosan yang digunakan sebagai bahan pembenah tanah dalam penelitian ini.Hasil uji XRD grafik dapat dilihat pada lampiran 3.

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam pelaksanaan penyusunan penelitian ini, diperlukan acuan dasar berupa literatur yang relevan sebagai landasan atau pendukung bagi tahapan-tahapan yang dilakukan. Tabel 2.1 berikut memberikan ringkasan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

Tabel 2. 1 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil
1	Priyanto dkk. (2019)	Efektivitas Mikoriza Arbuskula Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kayu Putih Pada Tanah Terdegredasi	Inokulasi AMF meningkatkan serapan fosfor (P) sebesar 35%, biomassa akar meningkat sekitar 28%, serta tinggi bibit meningkat 20–25% dibandingkan kontro
2	Ningsih & Sari (2021)	Aplikasi Kitosan Sebagai Elisitor Pertumbuhan Tanaman Kehutanan Pada Cekaman Abiotik	Pemberian kitosan 500–1000 ppm meningkatkan kandungan klorofil sekitar 18–25%, meningkatkan tinggi tanaman sekitar 15%, dan memperbaiki ketahanan terhadap cekaman kekeringan dibandingkan tanpa *Chitosan*
3	Subowo (2017)	Pemanfaatan Mikroba Tanah Untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang E,As Di Kokap, Kulon Progo	Aplikasi agen hayati meningkatkan pH tanah dari 4,2 menjadi 5,5, menurunkan toksisitas logam berat, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman hingga ±30% dibandingkan lahan tanpa perlakuan.
4	Ma *et al.* (2022)	*Synergenistic Effect Of Chitosan And Mycorrhiza On Heacy Metal Phytoremediation.*	Kombinasi kitosan dan mikoriza menurunkan akumulasi logam berat pada bagian tajuk tanaman sekitar 30–45%, meningkatkan biomassa tanaman sekitar 35%, serta meningkatkan efisiensi fitoremediasi dibandingkan perlakuan tunggal
5	Lestari dkk. (2020)	Pertumbuhan *Melalueca Leucadendra* Pada Media *Talling* Tambang Emas Dengan Pemberian Amandemen Organik	Penambahan bahan organik meningkatkan kapasitas menahan air sekitar 25%, meningkatkan tinggi tanaman sekitar 18%, serta memperbaiki kondisi media tanam sehingga tingkat kelangsungan hidup Tanaman mencapai lebih dari 85%.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa AMF memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman. Namun, hingga saat ini masih belum banyak penelitian yang menunjukkan pengaruh pengaplikasian chitosan dengan AMF terhadap pertumbuhan tanaman *Melaleuca cajuputi* pada tanah bekas tambang emas yang mengandung beberapa logam berat. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk turut memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk kumpulan data terbaru dan analisis mendalam mengenai peran *chitosan* bersama AMF dalam memperbaiki kualitas tanah terdegradasi akibat aktivitas pertambangan emas, serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman *Melaleuca cajuputi*.

2.7 Hipotesis

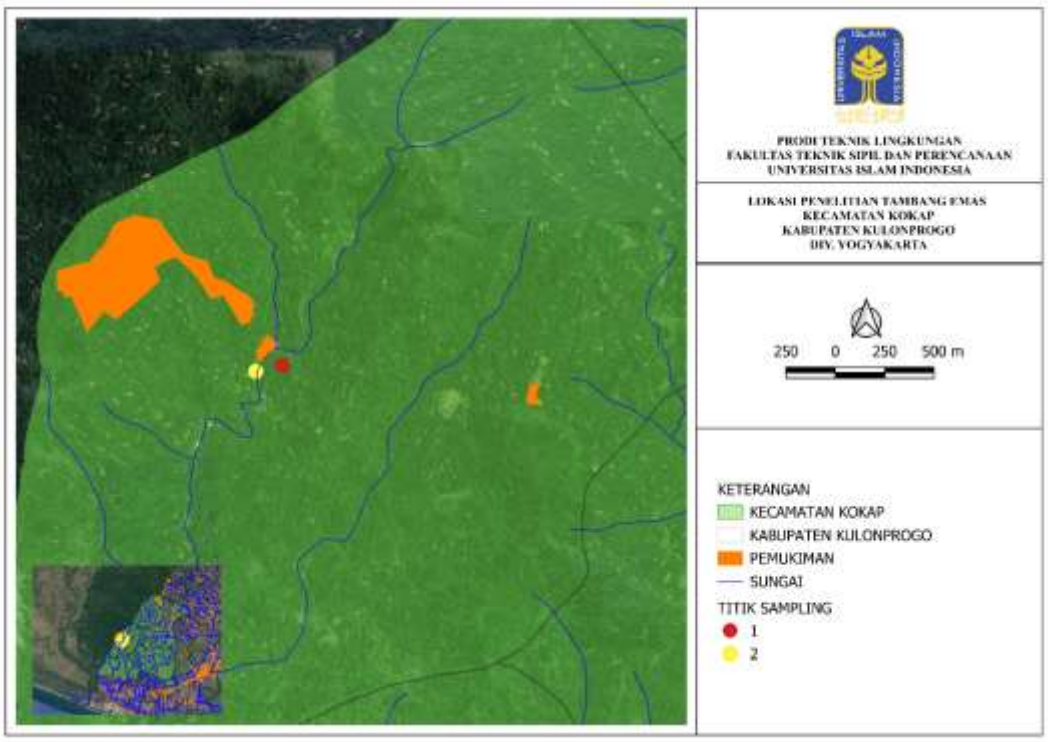
Pemberian *chitosan* dan AMF diduga dapat memperbaiki kondisi tanah bekas tambang emas rakyat dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara, terutama fosfor, serta membantu mengurangi ketersediaan merkuri (Hg) pada tanah melalui proses imobilisasi. Kombinasi *chitosan* dan AMF diduga memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa perlakuan maupun pemberian *chitosan* saja dalam mendukung proses remediasi tanah. Pemberian *chitosan* dan AMF juga diduga dapat meningkatkan pertumbuhan *Melaleuca cajuputi*, yang ditunjukkan melalui peningkatan tinggi tanaman, diameter batang, dan biomassa.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada skala *greenhouse* yang berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan koordinat 7°41'40.9"LS dan 110°25'38.3"BT. Tahapan kegiatan di *greenhouse* meliputi persiapan media tanam, penanaman, pengamatan, hingga pemanenan tanaman *Melaleuca cajuputi*. Selanjutnya, analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Lokasi sampling ini berada di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dengan titik sampling terdiri atas dua titik yakni koordinat Titik 1 di 7°49'37.9"S, 110°04'15.6"E yang berdekatan dengan peternakan kambing dan kebun warga dan titik 2 di 7°49'38.9"S , 110°04'11.2"E berada pada lahan dengan dominan semak berjarak ±15m dari sungai. Sampel diambil sebanyak 130 kg. Lokasi titik sampling dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Titik Sampling

3.2 Alat dan bahan

Adapun alat - alat yang digunakan pada penelitian ini tercantum pada tabel 3.1 sebagai berikut

Tabel 3. 1 Daftar Alat

No	Nama Alat	Keterangan
1	Polybag 15x15	Untuk wadah bagi media tanaman
2	Caliper Digital	Untuk mengukur diameter batang
3	Meteran	Untuk mengukur tinggi tanaman
4	Autoclave	Untuk mensterilisasi alat laboratorium
5	Timbangan Analitik	Untuk menimbang berat basah dan kering tanaman uji
6	Timbangan Digital	Untuk menimbang bahan kimia yang digunakan
7	Oven	Untuk mengeringkan atau menghilangkan kadar air
8	Kaca Alroji	Untuk wadah menimbang sampel dan bahan
9	Corong kaca	Untuk meletakan kertas saring saat menyaring sampel hasil destruksi
10	Gelas Beaker 250 ml	Untuk wadah destruksi sampel
11	Erlenmeyer 250 ml	Untuk mencampur atau mewadahi larutan
12	Rak Tabung Reaksi	Untuk meletakkan tabung reaksi
13	Tabung Reaksi	Untuk mencampurkan dan menampungkan larutan sebelum diuji
14	Plastik Klip	Untuk wadah sampel setelah dihaluskan dan ditimbang
15	Amplop Coklat	Untuk wadah jaringan akar dan jaringan batang
16	ICP-MS	Untuk pembacaan parameter logam berat
17	UV-VIS	Untuk pembacaan parameter P
18	Erlenmayer	Untuk mencampur larutan
19	Labu ukur	Untuk mengencerkan larutan
20	Pipet ukur	Untuk memindahkan larutan
21	Spatula	Untuk meembantu menimbang bahan
22	Botol vial	Untuk wadah simpan larutan

Adapun bahan - bahan yang digunakan pada penelitian ini tercantum pada tabel 3.2 sebagai berikut

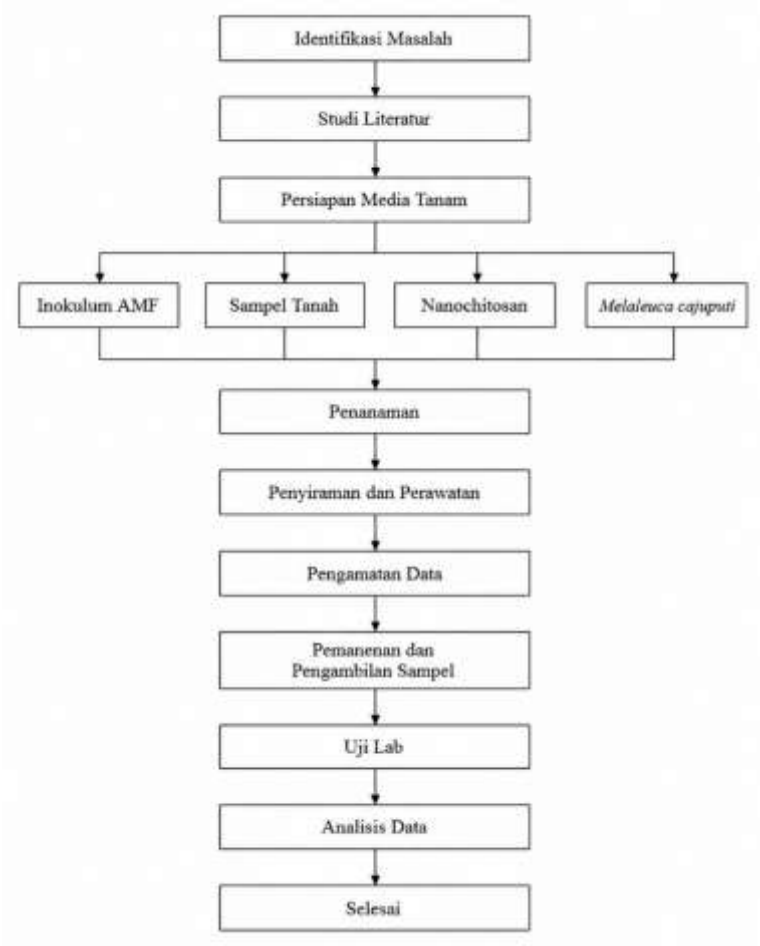
Tabel 3. 2 Daftar Bahan

No	Nama Bahan	Kegunaan
1	*Melaleuca cajuputi*	Sebagai vegetasi tanaman penguji
2	Tanah bekas tambang emas	Sebagai media tanaman uji
3	Arang sekam padi	Sebagai perbaikan struktur tanah
4	*Chitosan*	Sebagai detoksifikasi tanah
5	*Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF)	Sebagai peningkatan penyerapan nutrisi
6	Kertas saring	Sebagai media penyaring larutan

3.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan melalui dua jenis sumber, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder dikumpulkan melalui studi literatur, seperti situs resmi, jurnal ilmiah, dan berbagai referensi yang masih

relevan sebagai acuan penelitian, sedangkan data primer didapat melalui pengamatan langsung di lapangan serta analisis laboratorium. Berikut pada Gambar 3.1 adalah tahapan penelitian yang dirangkum dalam bentuk *flowchart.*



Gambar 3. 2 Prosedur Uji Analisis

3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi sampel tanah yang digunakan dari daerah Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara mencangkul tanah pada kedalaman sekitar 1 hingga 30 cm. Sampel tidak diambil dari lapisan permukaan karena dikhawatirkan kandungan logam berat telah berkurang akibat proses erosi. Tanah yang telah dicangkul dari titik pengambilan sampel kemudian dimasukkan ke dalam karung berkapasitas 25 kg.



Gambar 3. 3 Pengambilan sampel tanah

3.3.2 Persiapan Media Tanam

Tahap awal sebelum proses penanaman dimulai adalah persiapan media tanam dengan mensterilisasi tanah bekas tambang dan kompos menggunakan oven pada suhu 85 °C selama 5 jam. Tanah yang sudah diambil, yang semula dalam kondisi padat akibat mengikuti bentuk wadah saat pengambilan sampel, terlebih dahulu dihancurkan hingga menjadi butiran halus dan tidak menggumpal. Tanah yang telah dihaluskan kemudian disimpan dalam wadah steril untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Selanjutnya dilakukan land farming, yakni metode perlakuan tanah menggunakan teknik bioremediasi ex-situ dengan menggunakan *chitosan* (CHI) ½% atau 12,5 g sebagai media untuk mempercepat pemulihan tanah. Persiapan tanah *Land Farming* dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 4 Persiapan tanah *land farming*

Pada media tanam, penelitian ini menggunakan 2 reaktor dengan kode (S) *soil* sebagai kontrol dan (S+CHI) *soil+chitosan*, dengan masing-masing

reaktor diisi 5 kg sampel tanah. Selanjutnya, pada reaktor dengan kode S+CHI dilakukan penambahan chitosan sebanyak 12,5 g. Proses *landfarming* dilakukan selama 8 minggu dengan tetap memantau kadar air dan pH pada setiap reaktor.

Selanjutnya, dari hasil *landfarming* dilakukan 3 perlakuan pada beberapa tanah untuk menjadi media tanam *Melalueca* Cajuputi dengan ditambahkan sekam padi 5% (25gr) dan 475gr tanah dimasukkan ke dalam polybag dan AMF sebanyak 25gr Adapun perlakuan pada setiap pengulangan tanaman dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan karakteristik *chitosan* pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Karakteristik *Shrimp Sneil Chitosan*

Parameter	Result
Colour Appearance	*White*
Particle Size	*Powder Mesh* 100-200
Moisture Regain	9,45%
Residue of Ignition	1,05%
Degree of Deacetylation	96,44%
Viscocity	105.10 mPas
Molecular Weight	4 Koa
Protein Content	<0,2%
Heavy Metals	<3 ppm
Micro Organism	*Negative*

Sumber : Chimultiguna, 2025

Tabel 3. 4 Perlakuan Tanaman Uji

Perlakuan	**Kode Tanaman**	**Keterangan**
P1	S	Soil 475gr + 5% Arang Sekam (25gr)
P2	S+CHI	Soil 475gr + *chitosan* (12,5gr) + arang sekam (25gr)
P3	S+CHI+M	Soil 475gr + *chitosan* (12,5gr) + arang sekam (25gr) + AMF 25gr

3.3.3 Penanaman

Penanaman dilakukan menggunakan tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*), dan seluruh proses penanaman dilaksanakan pada pagi hari untuk memanfaatkan suhu udara yang masih sejuk dan kelembapan tanah yang optimal. Tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) dapat tumbuh dengan tinggi bervariasi, dapat mencapai 10–25 cm pada kondisi optimal. Tanaman ini juga sudah melalui penyemaian yang kini tinggi nya dapat mencapai 10–25 cm lebih

dalam kondisi tanah yang sudah di beri perlakuan. Proses penanaman ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 5 Proses penanaman *Melaleuca cajuputi*

3.3.4 Inokulasi *Arbuscular Myhorrhizal Fungi* (AMF)

Inokulasi ini dilakukan dengan menaburkan inokulum AMF di sekitar akar benih saat penanaman pada media tanam. Inokulum AMF ditaburkan sekitar 25 gram di sekitar akar, lalu ditutup kembali dengan tanah hingga setinggi polybag. Jenis AMF yang digunakan adalah *G. Clarum.*.



Gambar 3. 6 *Arbuscular Myhorrhizal Fungi* (AMF)

3.3.5 Perawatan dan Pengamatan

Pada saat perawatan, tanaman wajib disiram sehari sekali pada sore atau pagi hari, tergantung cuaca, biasanya pada sore hari pukul 17.00. Perawatan dilakukan dengan menjaga kelembapan tanah di dalam polybag serta mencegah pertumbuhan jamur. Selanjutnya, dilakukan pengamatan seperti mengukur tinggi dan diameter batang tanaman setiap 2 minggu. Tinggi dan diameter tanaman diukur dari bagian leher akar, kira-kira 1 cm dari permukaan tanah, hingga ke bagian ujung batang bagian atas. Hal ini bertujuan untuk menganalisis

pengaruh perlakuan pembenah tanah terhadap pertumbuhan tanaman. Proses pengamatan dan perawatan dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9



Gambar 3. 7 Proses pengamatan tanaman uji



Gambar 3. 8 Proses perawatan tanaman uji

3.3.6 Pemanenan

Pemanenan dilakukan saat tanaman berumur 4 bulan. Pengambilan sampel dilakukan dengan memisahkan bagian tajuk (jaringan atas) dan akar. Selanjutnya, dilakukan penimbangan berat basah menggunakan timbangan analitik.

Semua perlakuan tanaman dan pengulangan difoto berdasarkan klasifikasi yang sudah ditentukan guna melihat perbedaan tinggi dan struktur akar yang diperoleh dari perlakuan tersebut. Setelahnya, baru dimasukkan ke dalam amplop yang sudah diberi identitas kode tanaman, lalu dipisahkan batang dan akar ke dalam amplop terpisah. Dilakukan pengukuran biomassa kering dengan memasukkan jaringan tanaman ke dalam oven pada suhu 70°C selama 72 jam. Setelah kering, dilakukan penimbangan kembali menggunakan timbangan analitik. Sementara itu, pengambilan tanah uji dilakukan dengan menyimpan sampel tanah hasil ke dalam plastik *ziplock* transparan. Hasil panen tanamann uji dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3. 9 Hasil pemanenan tanaman uji

Pada gambar diatas dilakukan pemanenan dengan perbandingan

3.4 Uji Labaoratorium

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan statistik dengan mempertimbangkan nilai galat (error) antarperlakuan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar logam berat, pH, dan kandungan nutrisi. Logam berat yang diamati mencakup merkuri (Hg) pada tanah, batang, dan akar tanaman. Sementara itu, parameter nutrisi yang dianalisis meliputi kadar air tanah, sulfat tanah, P_2O_5 tanah, serta P_2O_5 pada batang tanaman.

Pengujian laboratorium ini penting untuk dilakukan guna mengetahui efektivitas remediasi tanaman dan bahan pembenah yang ditambahkan. Uji kandungan logam Hg mengacu pada SNI 8910:2021 mengenai cara uji kadar logam dalam contoh uji limbah padat, sedimen dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala atau Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Alat yang digunakan untuk uji Hg adalah *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS).

Untuk uji fosfor mengacu pada Petunjuk Teknis Edisi 3 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk 2023 yang di terbitkan oleh Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Pengujian fosfor menggunakan metode Bray I untuk sampel

tanah dan metode penetapan ekstrak HCl 25% untuk jaringan tanaman. Untuk pembacaan P menggunakan alat spektrofotometer *UltraViolet-Visible* (Uv-Vis). Alat ini bekerja menggunakan paparan cahaya dengan panjang gelombang 889 nm. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, UII. Parameter & Metode Uji dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3. 5 Parameter & Metode Uji

No.	Parameter Uji	Metode Uji	Acuan Uji
1	Logam Merkuri (Hg)	Destruksi asam & pengujian menggunakan ICP-MS	SNI 8910:2021
2	Nutrien Fosfor (P)	Bray I dan Penetapan P Ekstrak HCl 25%	Petunjuk Teknis Edisi 3 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk 2023

3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan statistik dengan mempertimbangkan nilai galat (error) antarperlakuan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar logam berat, pH, dan kandungan nutrisi. Logam berat yang diamati mencakup merkuri (Hg) pada tanah, batang, dan akar tanaman. Sementara itu, parameter nutrisi yang dianalisis meliputi kadar air tanah, sulfat tanah, P_2O_5 tanah, serta P_2O_5 pada batang tanaman.

Pengujian kadar logam berat dan kandungan nutrisi dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometri UV-VIS dan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS).

3.5.1 Perhitungan Logam Berat Merkuri (Hg)

Pengolahan data untuk mengetahui kadar logam berat merkuri (Hg) pada tanah dan tanaman mengikuti acuan SNI 8910 : 2021 tentang Cara Uji Logam dalam contoh uji Limbah Padat, sedimen, dan tanah dengan menggunakan metode destruksi asam, dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) – Nyala atau *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric* (ICP-OES). Nilai kandungan Hg dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{kadar logam (mg/kg)} = \frac{C \times V}{W \times P} \times \text{fp}$$

Keterangan :

C = konsentrasi contoh uji yang di dapat dari SSA-Nyala atau *ICP-OES* (mg/L)

V = volume akhir setelah proses destruksi (Ml)

W = berat contoh uji (gr)

Fp = faktor pengenceran

P = fraksi padat

3.5.2 Perhitungan Kandungan Nutrisi (P_2O_5)

a) Perhtiungan Kandungan (P_2O_5) Tanah

Pengolahan data untuk mengetahui kandungan fosfor tersedia (P_2O_5) pada sampel tanah dilakukan dengan mengacu pada Juknis Analisis Kimia dengan menggunakan Metode Bray I. Metode ini digunakan guna menentukan kandungan fosfor tersedia pada tanah dengan kandungan asam melalui proses ekstrak, kemudian dianalisis menggunakan larutan Bray I (NH_4F dan HCl). Konsentrasi fosfor yang sudah diekstrak kemudian dianalisis menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala berdasarkan pembentukan warna biru fosfomolibdat. Nilai kandungan P_2O_5 tersedia dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P_2O_5 \text{ tersedia (mg } P_2O_5\ 100g^{-1}) = \left(\frac{ppm\ kurva\ x\ ml\ ekstrak}{1.000ml\ x\ 1.000g\ (g\ contoh)^{-1}}\ x\ fp\ \frac{142}{190} \text{ x fk} \right)$$

Keterangan :

ppm Kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko.

Fp = faktor pengenceran (bila ada)

142/190 = faktor konversi bentuk PO_4 menjadi P_2O_5

fk = faktor koreksi kadar air = 100/(100 – % kadar air)

b) Perhitungan Kandungan (P_2O_5) Tanaman

Pada tanaman, untuk mengetahui kadar fosfor total (P_2O_5), perhitungan dilakukan dengan mengacu pada Juknis Analisis Kimia dengan metode ekstraksi HCL 25%. Metode ini digunakan untuk menentukan kandungan fosfor potensial dalam tanah dengan cara mengekstraksi fosfor menggunakan larutan asam klorida (HCl) 25%. Hasil ekstrak kemudian direaksikan dengan pereaksi pembentuk warna lalu diukur dengan

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala. Nilai kandungan P_2O_5 total dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_2O_5 \text{ potensial (mg } P_2O_5 \text{ } 100g^{-1}) =$$

$$\left(\frac{ppm\ kurva\ x\ ml\ ekstrak}{1.000ml}\ x\ 100g\ (g\ contoh)^{-1} fp \frac{142}{190} \text{ x fk}\right)$$

Keterangan:

ppm Kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dan pembacaannya setelah dikoreksi blanko.

fk = faktor koreksi kadar air = 100/(100 – % kadar air)

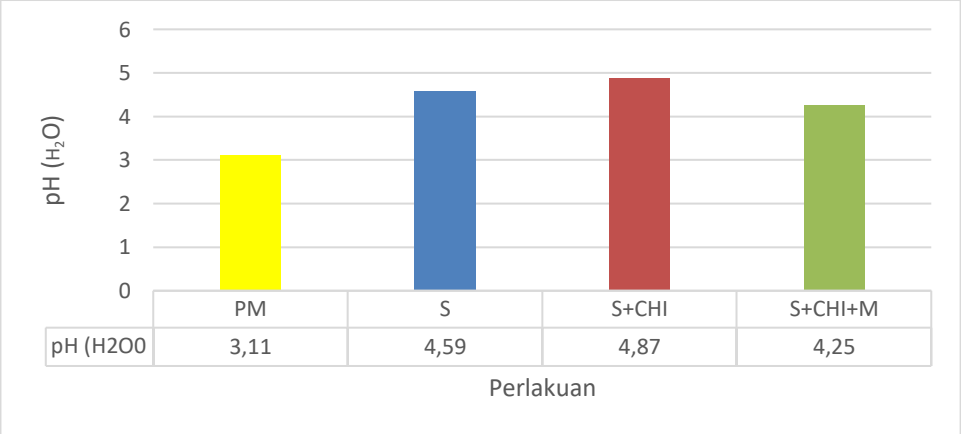
fp = faktor pengenceran (20)

142/190 = faktor konversi bentuk PO_4 menjadi P_2O_5

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian pH Tanah

Setelah proses pengamatan berlangsung selama 4 minggu, tanah pada masing-masing sampel uji juga dianalisis untuk mengetahui derajat keasaman (pH). Setiap sampel tanah ditimbang sebesar 200gr dan dikemas dan diberikan kode perlakuan lalu dibawa ke Laboratorium Penguji Balai Penerapam Modernisasi Pertanian DIY untuk dilakukannya pengujian pH. Hasil pengukuran pH aktual pada sampel uji dapat dilihat pada grafik Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Nilai uji pH (H_2O)

Dapat dilihat pada gambar diatas menunjukkan nilai pH (H_2O) menunjukkan adanya perbedaan pada setiap tanaman uji. Pada tanah kontrol (S) diperoleh hasil uji pH sebesar 4,59. Pada tanah pembanding (S+CHI), hasil uji pH meningkat menjadi 4,87. Sebaliknya, tanaman dengan perlakuan (S+CHI+M) menunjukkan hasil uji pH terendah, yaitu 4,25.

Secara garis besar, seluruh perlakuan masih berada pada kategori tanah sangat asam hingga asam. Menurut, Balai Penelitian Tanah (2009), pH pada tanah adalah: pH > 4,5 tergolong masam, pH 4,5-5,5 masam, pH 5,6-6,5 agak masam, pH 6,6-7,5 netral dan pH > 7,5 alkalis. Dengan demikian, berarti tanah pada penelitian ini masih mengandung tingkat keasaman yang cukup

tinggi, yang merupakan karakteristik umum pada lahan bekas pertambangan emas.

Peningkatan pH pada tanaman pembanding menunjukkan bahwa penambahan *chitosan* mampu memperbaiki sifat kimia tanah. Tanah perlakuan menunjukkan penurunan pH hingga 4,25 setelah perlakuan (S+CHI). Penurunan pH tanah diduga berkaitan dengan aktivitas fungsi *Arbuscular Mychorrizal Fungi* (AMF) pada daerah rizosfer. Selama proses kolonisasi akar, AMF menghasilkan berbagai asam organik, seperti asam sitrat, asam oksalat dan asam malat, yang berperan dalam melarutkan fosfat serta unsur hara lain yang terikat pada mineral tanah. Pelepasan senyawa organik tersebut meningkatkan konsentrasi ion H^+ di sekitar perakaran, sehingga menyebabkan kondisi tanah menjadi lebih asam dan nilai pH menurun (Marschner, 2012).

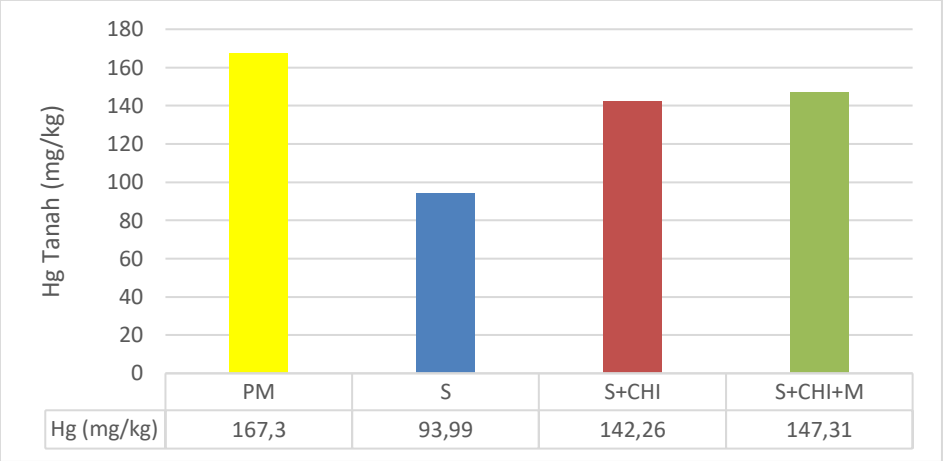
Berdasarkan hipotesis penelitian, pemberian *chitosan* dan AMF diduga mampu memperbaiki kondisi tanah bekas tambang emas melalui perubahan sifat kimia tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hipotesis tersebut belum sepenuhnya terbukti pada parameter pH, karena kombinasi (S+CHI) menhasilkan pH 4,87, sedangkan (S+CHI+M) justru menghasilkan pH sebesar 4,25. Dengan demikian, penambahan *chitosan* secara tunggal lebih efektif dalam meningkatkan pH tanah dibandingkan kombinasi (S+CHI+M).

4.2 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Reduksi Logam Merkuri (Hg)

4.3.1 Konsentrasi Hg Tanah

Mekuri (Hg) merupakan logam berat yang bersifat toksik, persisten, serta tidak dapat terdegradasi secara biologis di lingkungan. Keberadaan merkuri di lingkungan dapat berasal dari proses alami, seperti aktivitas vulkanik dan pelapukan batuan, maupun dari aktivitas antropogenik. Sumber antropogenik tersebut meliputi kegiatan pertambangan emas skala kecil, pembakaran batu bara, industri klor-alkali, serta pembuangan limbah

industri yang mengandung merkuri (Alloway, 2013). Pada Gambar 4.2 Dapat dilihat hasil uji konsentrasi Hg pada tanah



Gambar 4. 2 Data konsentrasi Hg pada tanah

Konsentrasi Hg pada tanah di atas terlihat perbedaan antara tanaman kontrol, tanaman pembanding dan tanaman perlakuan. Dimana, tanaman kontrol mengandung konsentrasi Hg lebih rendah sebesar 93,99 mg/kg, sedangkan pada tanaman pembanding memiliki kadar Hg yang meningkat menjadi 142,26 mg/kg dan pada tanaman dengan perlakuan memperoleh kandungan Hg tertinggi sebesar 147,31 mg/kg. Peningkatan kandungan Hg pada tanah setelah pengaplikasian *Chitosan* maupun kombinasi dengan Mikoriza mengindikasikan bahwa kedua bahan pembenah tersebut lebih berperan dalam mengiblomisasi Hg di dalam tanah di bandingkan meningkatkan ketersediaannya untuk diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, tingginya Hg pada tanah tidak dapat dikatakan sebagai peningkatan tingkat pencemaran, namun menunjukkan bahwa Hg berhasil dipertahankan pada fase tanah sehingga mobilitas dan bioavailabilitasnya menjadi rendah.

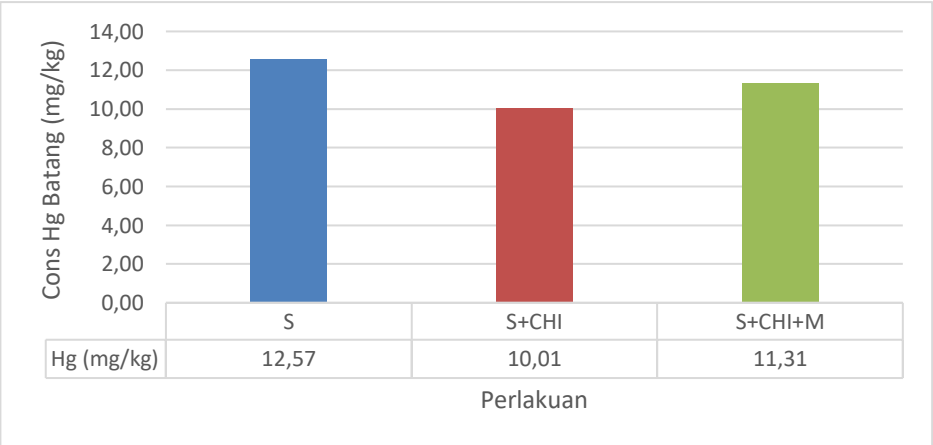
Kemampuan *chitosan* dalam mengikat logam berat berkaitan dengan keberadaan gugus fungsi amino ($-NH_2$) dan Hidroksil (-OH) yang dapat berinteraksi dengan ion logam melalui proses adsorpsi, kompleksasi dan pertukaran ion. Mekanisme tersebut menghasilkan kompleks yang relatif stabil, sehingga Hg berada dalam bentuk yang lebih sulit diserap (Rinaudo,

2006). Pada perlakuan S+CHI+M, kandungan Hg dalam tanah sedikit lebih tinggi dibandingkan perlakuan S+CHI. Kondisi ini diduga disebabkan oleh peran AMF dalam menghasilkan glomalin, yaitu glikoprotein yang berfungsi meningkatkan stabilitas agregat tanah sekaligus mengikat berbagai logam berat. Glomalin memiliki kemampuan mengadsorpsi merkuri sehingga logam tersebut lebih banyak tertahan dan terakumulasi di daerah rizosfer daripada ditranslokasikan ke jaringan tanaman (González-Chávez *et al*., 2004).

Hasil tersebut sesuai dengan hipotesis penelitian bahwa pemberian chitosan dan AMF dapat membantu mengurangi bioavailabilitas merkuri melalui mekanisme imobilisasi. Konsentrasi Hg yang lebih tinggi pada tanah perlakuan (S+CHI+M) tidak menunjukkan peningkatan pencemaran akibat perlakuan, namun menunjukkan bahwa kombinasi tersebut justru mengikat Hg di tanah lebih banyak.

4.3.2 Konsentrasi Hg Tanaman

Kandungan Hg pada batang tanaman uji dapat dilihat pada Gambar 4.3 Sebagai berikut



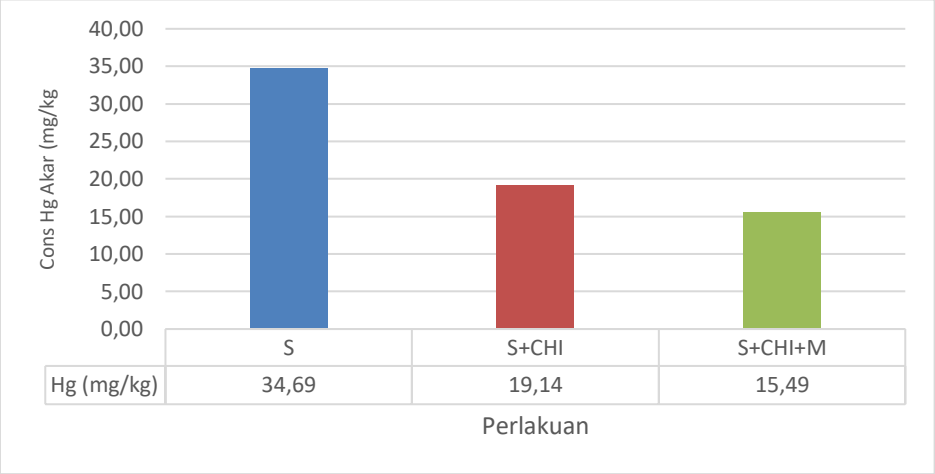
Gambar 4. 3 Data konsentrasi Hg Batang

Pada diagram hasil uji data Hg batang, terlihat tanaman kontrol memiliki kandungan Hg paling tinggi dengan nilai sebesar 12,57 mg/kg, sedangkan tanaman pembanding memperoleh kandungan Hg tanah paling rendah sebesar 10,01 mg/kg, dan tanaman perlakuan memiliki kandungan Hg sebesar 11,31 mg/kg. Penurunan Hg pada jaringan batang setelah

aplikasi *chitosan* terindikasi bahwa bahan pembenah tersebut efektif dalam menekan penyerapan merkuri oleh akar. Efektivitas ini berkaitan dengan kemampuan *chitosan* mengikat ion Hg di dalam tanah, sehingga fraksi merkuri yang tersedia bagi tanaman berkurang. Penurunan bioavailabilitas logam berat dalam larutan tanah menyebabkan proses absorpsi oleh akar menjadi lebih terbatas, sehingga akumulasi Hg pada jaringan tanaman juga menurun (Crini & Badot, 2008).

Pada tanaman perlakuan, kandungan Hg tetap lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kontrol, meskipun tetap sedikit lebih tinggi daripada tanaman perlakuan. Hal ini diduga berkaitan dengan aktivitas AMF yang memperluas daerah eksplorasi akar melalui pembentukan jaringan hifa eksternal. Meskipun mikoriza berperan dalam mengurangi toksisitas logam berat melalui mekanisme pengikatan logam pada dinding hifa, vakuola, maupun glomalin, sebagian kecil Hg masih berpotensi ditranslokasikan ke jaringan tanaman melalui hubungan simbiosis antara akar dan mikoriza (Leyval *et al*., 1997).

Berdasarkan Gambar 4.4, konsentrasi Hg pada akar menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada tiap perlakuan pembenah tanah. Pada tanaman kontrol terindikasi kandungan Hg paling tinggi sebesar 34,69 mg/kg, lalu terjadi penurunan pada tanaman pembanding sebesar 19,14 mg/kg hingga terjadi penurunan paling rendah pada tanaman perlakuan dengan nilai Hg paling kecil sebesar 15,49 mg/kg.



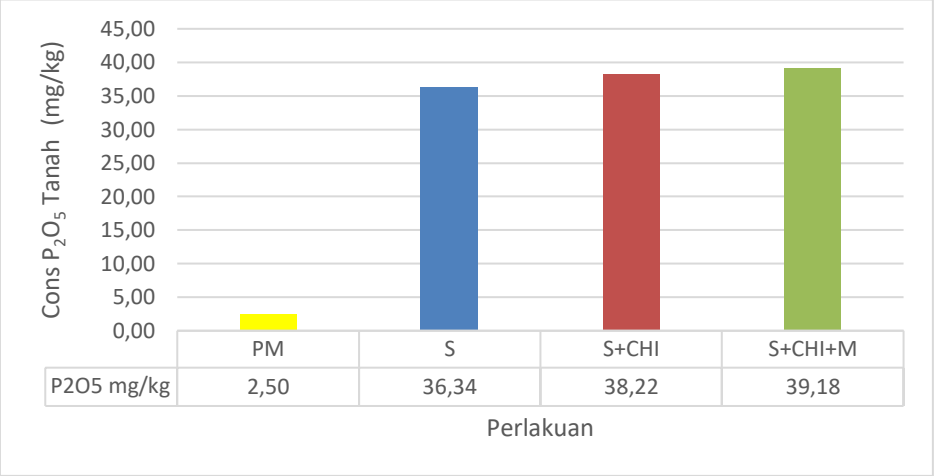
Gambar 4. 4 Data konsentrasi Hg akar

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman pembanding dan tanaman perlakuan mampu menurunkan akumulasi merkuri (Hg) pada akar tanaman, dengan perlakuan kombinasi chitosan dan mikoriza (S+CHI+M) memberikan efektivitas tertinggi. Penurunan kandungan Hg pada akar mengindikasikan bahwa kedua bahan pembenah tanah tersebut berperan melalui mekanisme imobilisasi logam berat (*phytostabilization*), yaitu dengan mengurangi fraksi merkuri yang tersedia untuk diserap oleh tanaman. Akibatnya, mobilitas dan bioavailabilitas Hg di dalam tanah menjadi lebih rendah, sehingga akumulasi logam pada jaringan akar berkurang dan potensi toksisitas terhadap pertumbuhan tanaman dapat diminimalkan.

4.3 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Nutrisi P_2O_5

4.2.1 Kandungan P_2O_5 Tanah

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis data pengaruh bahan pembenah tanah terhadap nutrisi, yakni dengan menguji kandungan fosfor pada tanaman uji. Nilai kandungan P_2O_5 pada batang tanaman uji memberikan hasil yang cukup jelas perbedaan antar perlakuan. Hasil analisis kandungan P_2O_5 pada tanah dapat dilihat pada diagram Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Data konsentrasi P_2O_5 tanah

Pada tabel diagram di atas, dapat dilihat bahwa tanaman kontrol (S) terindikasi memiliki kandungan P2O5 paling rendah, yaitu 36,34 mg/kg. Pada tanaman pembanding (S+CHI), terlihat kandungan P_2O_5 pada tanah meningkat menjadi 38,22 mg/kg, meningkat sekitar 5,17% dibandingkan dengan tanaman kontrol. Sedangkan tanah dengan perlakuan terindikasi memiliki nilai fosfor sangat tinggi dengan nilai 39,18 mg/kg, hasil ini menunjukkan bahwa pemberian *chitosan* maupun kombinasi dengan mikoriza dapat meningkatkan kandungan fosfor tersedia dalam tanah.

Peningkatan kandungan P_2O_5 pada tanaman pembanding menunjukkan bahwa *chitosan* berperan sebagai biostimulan sekaligus pembenah tanah yang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah. *Chitosan* diketahui mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, memperbaiki agregasi tanah, serta meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Di samping itu, aplikasi *chitosan* diketahui juga dapat merangsang pertumbuhan sistem perakaran serta meningkatkan aktivitas enzim yang berperan dalam metabolisme unsur hara, sehingga efisiensi penyerapan dan pemanfaatan fosfor oleh tanaman menjadi lebih optimal (El Hadrami *et.al.,* 2010)

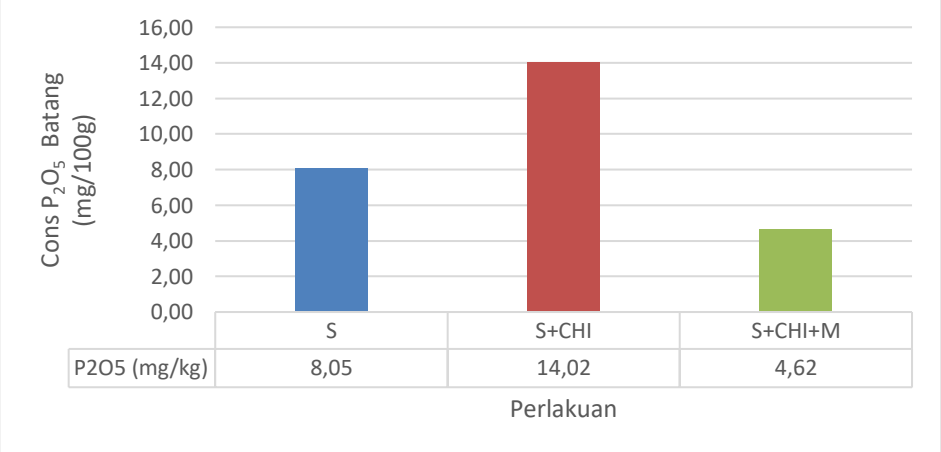
Perlakuan pada tanaman uji menunjukkan kandungan P_2O_5 tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yang mengindikasikan bahwa penambahan AMF berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan

fosfor di dalam tanah. AMF membentuk jaringan hifa eksternal yang mampu menembus pori-pori tanah yang tidak dapat dijangkau oleh sistem perakaran tanaman. Keberadaan hifa tersebut memperluas zona penyerapan akar sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam memperoleh fosfor yang terikat pada tanah. Dengan demikian, fosfor yang semula berada dalam bentuk tidak tersedia dapat diubah menjadi ortofosfat yang siap diserap oleh tanaman (Smith & Read, 2008). Di samping itu, AMF juga berkontribusi terhadap perbaikan sifat fisik tanah melalui produksi glomalin, suatu glikoprotein yang berperan dalam meningkatkan stabilitas agregat tanah serta mempertahankan retensi unsur hara sehingga mendukung efisiensi penyerapan nutrien oleh tanaman (Rilig, 2004).

Hasil penelitian mendukung hipotesis bahwa pemberian *chitosan* yang dikombinasikan dengan AMF dapat meningkatkan ketersediaan fosfor pada tanah bekas tambang emas. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi *chitosan* dan AMF menciptakan kondisi yang lebih mendukung ketersediaan fosfor di dalam tanah. Dengan demikian, hipotesis bahwa kombinasi *chitosan* dan AMF dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, khususnya fosfor, dapat diterima berdasarkan hasil penelitian.

4.2.2 Kandungan P_2O_5 Batang

Berikut adalah grafik hasil pengujian konsentrasi P_2O_5 pada tanaman uji dapat dilihat pada Gambar 4.6



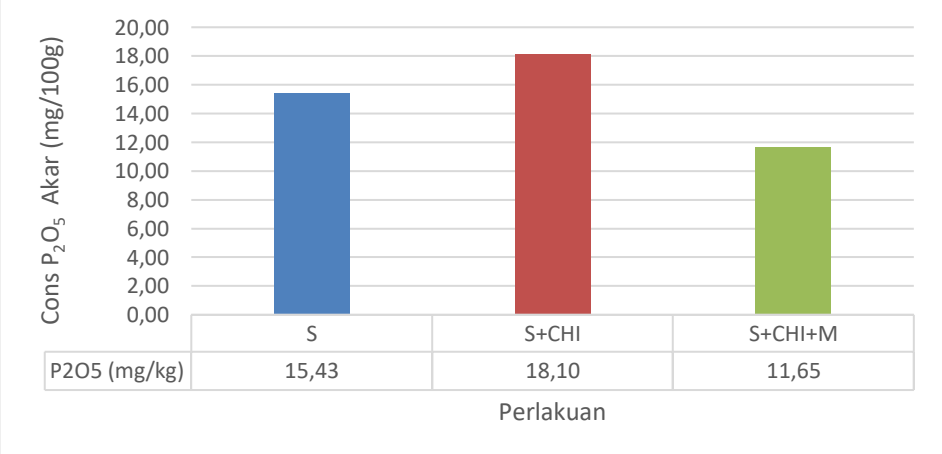
Gambar 4. 6 Konsentrasi P_2O_5 Batang

Tanaman pembanding (S+CHI) menghasilkan kandungan P_2O_5 batang tertinggi sebesar 14,02 mg/kg, meningkat sekitar 74,2% dibandingkan dengan tanaman kontrol (8,05 mg/kg). Hal ini dapat diasumsikan bahwa pemberian chitosan pada tanaman uji mampu meningkatkan ketersediaan dan penyerapan fosfor pada tanaman, sehingga akumulasi P pada jaringan batang memiliki nilai yang tinggi. Chitosan juga diketahui dapat berperan sebagai biostimulan yang dapat meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman, memperbaiki pertumbuhan akar, hingga merangsang penyerapan unsur hara, termasuk fosfor.

Namun, tanaman dengan perlakuan (S+CHI+M) menghasilkan kandungan P2O5 pada batang paling rendah, yaitu 4,62 mg/kg, sekitar 42,6% lebih rendah daripada kandungan P2O5 pada tanaman kontrol dan 67,0% lebih rendah dibandingkan dengan tanaman pembanding. Hal ini berarti bahwa kombinasi chitosan dan mikoriza belum dapat meningkatkan akumulasi fosfor pada batang tanaman uji. Hal ini mungkin terjadi karena fosfor lebih banyak dimanfaatkan untuk pertumbuhan akar dan pembentukan biomassa, atau masih tersimpan di jaringan akar, sehingga translokasi ke batang belum sempurna.

4.2.3 Kandungan P_2O_5 Akar

Hasil analisis kandungan P_2O_5 pada akar dapat dilihat dari diagram dibawah pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Konsentrasi P_2O_5 akar

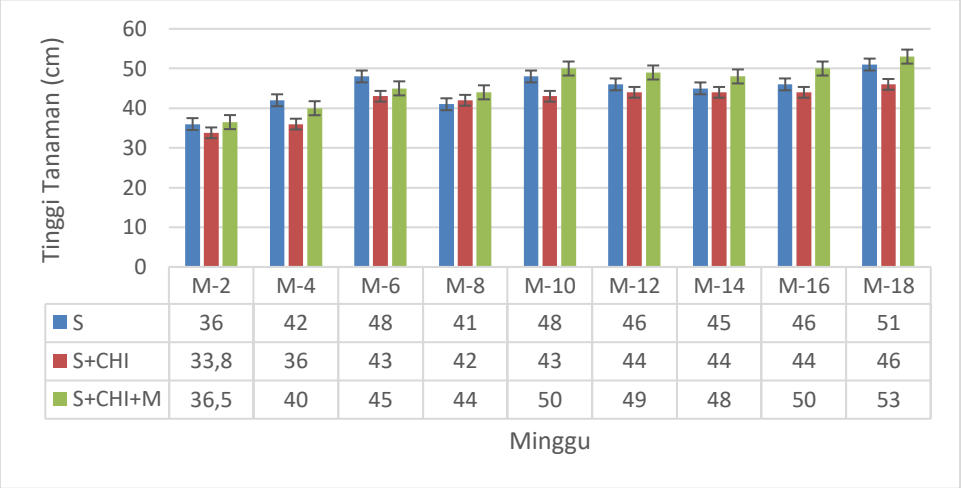
Pada tanaman pembanding (S+CHI), hasil analisis kandungan P_2O_5 menunjukkan kandungan tertinggi sebesar 18,19 mg/kg, meningkat sekitar 17,3% dibandingkan tanaman kontrol (15,51 mg/kg). Peningkatan ini juga menunjukkan bahwa penggunaan chitosan mampu meningkatkan kemampuan akar dalam menyerap fosfor dari media tanam. Sementara itu, tanaman dengan perlakuan (S+CHI+M) menghasilkan P2O5 sebesar 11,70 mg/kg, lebih rendah 24,6% dibandingkan hasil kontrol dan 35,7% dibandingkan tanaman pembanding. Rendahnya kandungan fosfor pada akar ini dapat disebabkan dari berbagai faktor, bisa dari koloni mikoriza yang belum sepenuhnya optimal atau psofor yang diserap telah digunakan untuk proses fisiologis tanaman hingga tidak banyak terakumulasi pada jaringan akar.

4.4 Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman Uji

Pengaruh bahan pembenah tanah terhadap tanaman uji *Melalueca Cajupati* perlu dilakukannya pengamatan biomassa tanaman, tinggi tanaman dan diameter tanaman guna menilai efektivitas dari penggunaan bahan pembenah tanah pada tanah bekas tambang emas. Pengamatan tinggi dan diameter tanaman ini dilakukan setiap 2 minggu selama 4 bulan

4.1.1 Tinggi Tanaman Uji

Dalam pengamatan pertumbuhan tanaman, diperlukan pengukuran tinggi batang untuk menilai efektivitas penggunaan bahan pembenah tanah pada tanah bekas tambang emas. Hal ini dapat menjadi indikator utama dalam pengamatan pertumbuhan tanaman. Berikut ini diagram pertumbuhan tinggi batang pada tanaman uji selama masa pengamatan pada gambar 4.8



	M-2	M-4	M-6	M-8	M-10	M-12	M-14	M-16	M-18
S	36	42	48	41	48	46	45	46	51
S+CHI	33,8	36	43	42	43	44	44	44	46
S+CHI+M	36,5	40	45	44	50	49	48	50	53

Gambar 4. 8 Data tinggi tanaman uji

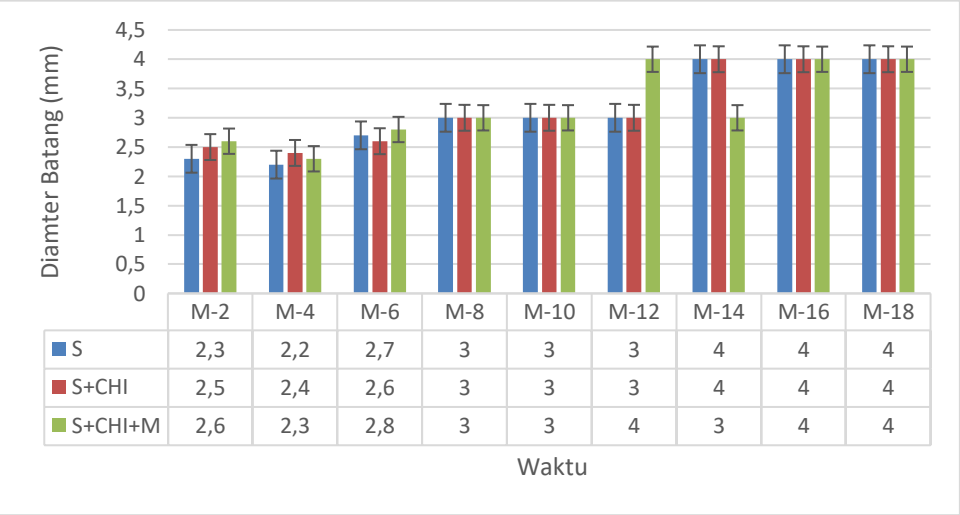
Pada gambar di atas, diagram menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman selama masa pengamatan dari minggu ke-2 (M-2) hingga minggu ke-18 (M-18). Secara umum dapat dilihat seluruh perlakuan mengalami peningkatan tinggi namun memiliki laju pertumbuhan yang berbeda pada setiap masing – masing perlakuan. Pada tanaman kontrol, tinggi tanaman meningkat dari 36 cm pada M-2 menjadi 51 cm pada M-16. Meskipun terdapat peningkatan, pertumbuhan tinggi tanaman ini justru mengalami fluktuasi. Terlihat pada M-8 dan M-12 pada tanaman kontrol yang sedikit menurun dibandingkan sebelumnya. Hal ini dapat terjadi karena batang mengalami patah atau mati, dan juga mengindikasikan bahwa media tanah tanpa bahan pembenah belum mampu menyediakan kondisi yang optimal.

Pada tanaman pembanding terjadi peningkatan tinggi tanaman dari 34 cm pada M-2 menjadi 46 cm pada M-18. Pada tanaman pembanding, dapat dikatakan pertumbuhan relatif stabil, namun tinggi tanaman pembanding ini merupakan yang paling rendah. Kondisi ini diduga menunjukkan bahwa fungsi utama chitosan lebih berperan sebagai pengikat logam berat (biosorben) daripada sebagai stimulan pertumbuhan. Sebaliknya, tanaman menunjukkan respons pertumbuhan yang paling optimal selama periode penelitian. Tinggi tanaman meningkat dari 37 cm pada minggu ke-2 menjadi 53 cm pada minggu ke-16, sehingga menghasilkan nilai tinggi tanaman tertinggi pada akhir masa pengamatan

dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Selain mencapai tinggi akhir terbesar, perlakuan ini juga memperlihatkan pola pertumbuhan yang lebih stabil dan konsisten sepanjang periode penelitian, yang mengindikasikan bahwa kombinasi *chitosan* dan AMF mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

4.1.2 Diameter Tanaman Uji

Pada tanaman uji juga dilakukan pengamatan diameter batang sebagai perbandingan dan untuk melihat seberapa efektif bahan pembenah pada tanah bekas tambang , sama halnya dengan tinggi, pengamatan ini dilakukan setiap 2 minggu sekali. Hasil pengukuran diameter batang pada tanaman uji selama 18 minggu dapat dilihat pada Gambar 4.9



	M-2	M-4	M-6	M-8	M-10	M-12	M-14	M-16	M-18
S	2,3	2,2	2,7	3	3	3	4	4	4
S+CHI	2,5	2,4	2,6	3	3	3	4	4	4
S+CHI+M	2,6	2,3	2,8	3	3	4	3	4	4

Gambar 4. 9 Data diameter Tanaman Uji

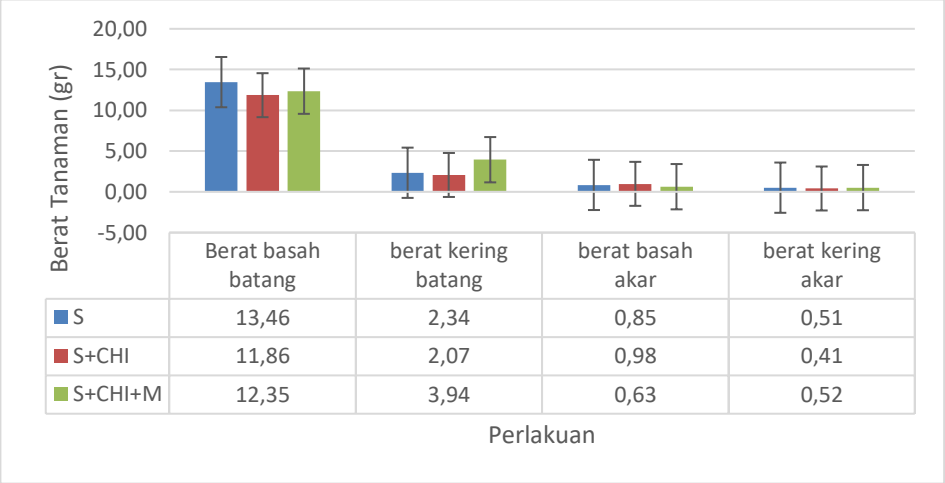
Tanaman kontrol memiliki diameter 2,3 mm pada M-2 dan menjadi 4 mm pada M-18. Peningkatan pada tanaman kontrol ini berlangsung bertahap meskipun sempat stagnan pada kisaran 3 mm pada M-8 hingga M-12. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman tetap dapat tumbuh pada media kontrol, namun keberadaan Hg dapat menghambat pertumbuhan. Tanaman pembanding menunjukkan pola pertumbuhan yang relatif sama dengan tanaman kontrol. Di mana pada M-2, diameter batang 2,5 mm menjadi 4 mm pada M-18. Diameter batang mencapai 4 mm pada M-14

dan stabil hingga akhir pengamatan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa aplikasi chitosan mampu memperbaiki kondisi media tanam dengan menurunkan bioavailabilitas merkuri (Hg), sehingga proses fisiologis tanaman dapat berlangsung lebih optimal dibandingkan perlakuan kontrol. Selain berperan dalam mengimobilisasi logam berat, *chitosan* juga diketahui dapat meningkatkan aktivitas enzim, merangsang perkembangan sistem perakaran, serta meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Kombinasi mekanisme tersebut berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui perbaikan penyerapan nutrisi dan peningkatan toleransi tanaman terhadap cekaman logam berat (El Hadrami *et al*., 2010).

Sedangkan tanaman dengan perlakuan menunjukkan perkembangan diameter yang paling baik pada fase awal pertumbuhan. Pada M-2, diameter batang tercatat 2,6 mm, meningkat menjadi 4 mm pada M-4, namun mengalami fluktuasi sebelum kembali mencapai 4 mm pada M-12 hingga akhir minggu pengamatan. Pertumbuhan yang lebih cepat pada fase awal menunjukkan bahwa kombinasi *Chitosan* dan AMF dapat mempercepat adaptasi tanaman terhadap kondisi tanah yang tercemar.

4.1.3 Biomassa Tanaman Uji

Biomassa tanaman terdiri atas biomassa basah dan biomassa kering. Pengukuran biomassa basah dilakukan dengan memisahkan batang dan akar, lalu ditimbang per bagian dan dikemas dalam amplop cokelat. Sementara itu, biomassa kering diperoleh dengan mengeringkan terlebih dahulu tanaman menggunakan oven. Proses pengeringan pada tanaman dilakukan pada suhu 70°C selama 72 jam. Data hasil pengukuran biomassa tanaman uji dapat dilihat dengan grafik pada Gambar 4.10



	Berat basah batang	berat kering batang	berat basah akar	berat kering akar
S	13,46	2,34	0,85	0,51
S+CHI	11,86	2,07	0,98	0,41
S+CHI+M	12,35	3,94	0,63	0,52

Gambar 4. 10 Data biomassa tanaman uji

Pada data yang sudah tertera di atas, tanaman uji yang sudah dianalisis terlihat bahwa data yang didapat memperlihatkan bahwa adanya penurunan pada berat basah dan kering pada batang dan akar tanaman uji. Rata – rata berat basah pada batang kontrol 13,46gr, pada tanaman pembanding memiliki berat basah 11,86gr dan pada tanaman yang memiliki perlakuan memiliki berat basah 12.35gr. Pada masing masing tanaman mengalami penurunan berat yang cukup signifikan setelah di keringkan dengan suhu 70°C. Pada tanaman kontrol memiliki penurunan berat menjadi 2,34gr, pada tanaman pembanding terjadi penurunan berat menjadi 2,07gr dan pada tanaman dengan perlakuan penurunan berat menjadi 3,94gr. Lalu, pada diagram juga terlihat penurunan berat akar. Rata-rata berat basah akar pada tanaman kontrol tercatat 0,85 g dan mengalami penurunan berat kering menjadi 0,51 g. Pada akar tanaman pembanding terdapat rata-rata berat basah 0,98 g dan mengalami penurunan berat kering menjadi 0,51 g, sedangkan pada tanaman dengan perlakuan akar basah tercatat 0,63 g, mengalami penurunan berat kering akar menjadi 0,52 g.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai potensi chitosan dan *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) pada tanah bekas tambang emas rakyat menggunakan tanaman *Melaleuca cajuputi*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemberian *chitosan* yang dikombinasikan dengan AMF mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman *Melaleuca cajuputi*. Perlakuan kombinasi (S+CHI+M) menunjukkan pertumbuhan tanaman terbaik hingga mencapai 53 cm pada akhir masa pengamatan serta menghasilkan biomassa kering batang tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi chitosan dan AMF mampu menciptakan kondisi media tanam yang lebih mendukung pertumbuhan tanaman.
2. *Chitosan* dan AMF berpotensi menjadi bahan pembenah tanah untuk lahan bekas tambang emas. Perlakuan kombinasi meningkatkan kandungan fosfor tersedia (P_2O_5) dalam tanah menjadi 39,18 mg/kg serta menurunkan akumulasi merkuri (Hg) pada jaringan akar menjadi 15,49 mg/kg. Sementara itu, peningkatan konsentrasi Hg pada media tanah menunjukkan bahwa chitosan dan AMF berperan dalam mengimobilisasi logam berat sehingga mengurangi bioavailabilitas Hg yang dapat diserap tanaman. Dengan demikian, kombinasi kedua bahan tersebut berpotensi mendukung rehabilitasi tanah bekas tambang melalui peningkatan kesuburan tanah sekaligus mengurangi risiko toksisitas logam berat terhadap tanaman.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut..

1. Perlu dilakukan variasi dosis *chitosan* dan inokulum AMF untuk memperoleh kombinasi perlakuan yang paling efektif dalam

meningkatkan pertumbuhan tanaman serta memperbaiki kualitas tanah bekas tambang.

2. Pengamatan sebaiknya dilakukan dalam waktu yang lebih panjang agar efektivitas chitosan dan AMF terhadap pertumbuhan tanaman, perubahan sifat tanah, serta dinamika logam berat dapat diamati secara lebih komprehensif.
3. Penelitian berikutnya disarankan untuk menambahkan parameter biologis tanah, seperti kolonisasi mikoriza, aktivitas mikroorganisme, dan enzim tanah, sehingga mekanisme perbaikan tanah dapat dijelaskan secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

.Almatsier, Sunita., 2009, Prinsip Dasar Ilmu Gizi, Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, (243-246)

Agoes, A. (2010). Tanaman Obat Indonesia. Salemba Medica. Palembang. Hal 83.

Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere, 91*(7), 869–881. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075

Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed.). Springer.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson

Budi, S. W., & Nurdiani, M. (2022). Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskular dan pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan semai kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) di tanah pasca tambang batu kapur. *Jurnal Silvikultur Tropika, 13*(3), 177–183. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.03.177-183

Choi, J., Summers, W., & Paszkowski, U. (2018). *Mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses*. Annual Review of Phytopathology, 56, 1–23.

Dada, E. O., Njoku, K. L., Osuntoki, A., & Akinola, M. (2015). A review of current techniques of physico-chemical and biological remediation of heavy metals polluted soil. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management, 8*(5), 606–615. https://doi.org/10.4314/ejesm.v8i5.13

Doran, J. C., & Turnbull, J. W. (Eds.). (1997). *Australian trees and shrubs: Species for land rehabilitation and farm planting in the tropics* (2nd ed.). Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).

González-Chávez, M. C., Carrillo-González, R., Wright, S. F., & Nichols, K. A. (2004). The role of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi in sequestering potentially toxic elements. Environmental Pollution, 130(3), 317–323.

Guibal, E. (2004). Interactions of metal ions with chitosan-based sorbents: A review. *Separation and Purification Technology, 38*(1), 43–74. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.004.

He, F., Gao, J., Pierce, E., Strong, P. J., Wang, H., & Liang, L. (2015). In situ remediation technologies for mercury-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research, 22*(11), 8124–8147. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4316-y.

Juhaeti, T, Syarif N, Sambas E.N. Hoesen, DSH, 2005. Karakteristik Jenis Tumbuhan pada Vegetasi di Lokasi Tailing Pond Pasir Gombong PT. ANTAM dan Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Cikotok. Laporan Teknik, 2005.

Junaidi. (2022). Pertambangan emas tanpa izin (PETI) dan kesejahteraan keluarga di sekitar wilayah pertambangan. *E-Jurnal Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, 11*(1), 61–74.

Juwarkar, A. A., & Jambhulkar, H. P. (2008). Restoration of mining areas through environmental biotechnology. *Environmental Monitoring and Assessment, 147*(1–3), 27–36

Komarek M, dkk. (2004). Inventaris Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi. *Jurnal Biodiversitas.* Vol.6 No. 1 hal 31-33.

Krisnayanti, B. D., Vassura, I., Asmara, M. D., Ekawanti, A., & Suheri, H. (2016). Analysis of artisanal small-scale gold mining sector in West Sumbawa Regency, Indonesia. Journal of Health and Pollution, 6(12), 26–33. https://doi.org/10.5696/2156-9614-6.12.26

Kropp, B. R., & Langlois, C. G. (1990). Ectomycorrhizae in reforestation. *Canadian Journal of Forest Research, 20*(4), 438–451. https://doi.org/10.1139/x90-06

Kusuma, R. C., Budianta, W., & Idrus, A. (2017). *Kajian kandungan logam berat di lokasi penambangan emas tradisional di Desa Sangon, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo*. Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-12.

Makdoh, K., & Kayang, H. (2015). Soil physico-chemical properties in coal mining areas of Khliehriat, East Jaintia Hills District, Meghalaya, India. *International Research Journal of Environment Sciences, 4*(10), 69–76.

Male, Y. T., Reichelt-Brushett, A. J., Pocock, M., & Nanlohy, A. (2013). Recent mercury contamination from artisanal gold mining on Buru Island, Indonesia – Potential future risks to environmental health and food safety. *Marine Pollution Bulletin, 77*(1–2), 428–433. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.011

Mansur, I., Rizkyandana, A., & Priyanto. (2022). Ketahanan bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai media tercemar air asam tambang. *Jurnal Silvikultur Tropika, 13*(3), 208–217. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.03.208-217.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

Mestanza-Ramón, C., Jiménez-Oyola, S., Montoya, A. V. G., et al. (2023). Assessment of Hg pollution in stream waters and human health risk in areas impacted by mining activities in the Ecuadorian Amazon. *Environmental Geochemistry and Health, 45*, 7183–7197. https://doi.org/10.1007/s10653-023-01597-6.

Muddarisna, N., & Siahaan, B. C. (2014). Application of organic matter to enhance phytoremediation of mercury contaminated soils using local plant species: A case study on small-scale gold mining locations in Banyuwangi of East Java. *Journal of Degraded and Mining Lands Management, 2*(1), 251–258. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2014.021.251

Nurida, N.L. (2014). Potensi Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus.* Hal 57-68.

Priyambodo, S., Rahmat, B., Buanayudha, G. W., Widiastuti, I. A. E., & Nurbaiti, L. Pelatihan Pengurangan Dampak Merkuri bagi Masyarakat Daerah Penambangan Emas Skala Kecil di Desa Sekotong Kabapuaten Lombok Barat. Jurnal Pengabdian UNDIKMA. 2020;1(2): 144-148.

Purwantari, N. D. (2007). Reklamasi area tailing di pertambangan dengan tanaman pakan ternak; Mungkinkah? *Wartazoa, 17*(3), 101–108.

Reza, K., S. R., & Fachlevy, F. (2016). Analisis Perbedaan Potensi Risiko Keterpaparan Merkuri Pada Masyarakat Di Desa Tahi Ite, Kecamatan Rarowatu, Kabupaten Bombana. Journal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat, 1(4), 1–13.

Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. Progress in Polymer Science, 31(7), 603–632.

Setiabudi, B, T. (2005). Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Kolokium Hasil Lapangan Subdit Konservasi. Dir. ESDM

Setiadi, Y., A. Setiawan. 2011. Studi status fungi mikoriza arbuskula di areal Syuhada, N dan Rohasliney, H. (2012). *Rice Husk as Biochar : a riview.* Health and Environmental Journal. Vol. 3 No. 1. Hal. 15-24.

Siswanto, B., Krisnayani, B. D., Utomo, W. H., & Anderson, C. W. N. (2012). *Rehabilitation of artisanal gold mining land in West Lombok, Indonesia: Characterization of overburden and the surrounding soils.* Journal of Geology and Mining Research, 4(1), 1–7. https://doi.org/10.5897/JGMR11.027

Smith, S. E., Jakobsen, I., Grønlund, M., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology, 156*(3), 1050–1057. https://doi.org/10.1104/pp.111.174581

Subagio, A. A., Mansur, I., & Sari, R. K. (2018). Pemanfaatan kompos tandan kosong kelapa sawit untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) di lahan pasca tambang batubara. *Jurnal Silvikultur Tropika, 9*(3), 160–166. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.9.3.160-166

Sumantri, A., Laelasari, E., Junita, N. R., & Nasrudin, N. (2014). Logam merkuri pada pekerja penambangan emas tanpa izin. *Kesmas: Jurnal*

Kesehatan Masyarakat Nasional, *8*(8), 398–403. https://doi.org/10.21109/kesmas.v8i8.411

Thirkell, T. J., Pastok, D., & Field, K. J. (2020). Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration. *Global Change Biology,* *26*(3), 1725–1738. https://doi.org/10.1111/gcb.14851

Thirkell, T. J., Pastok, D., & Field, K. J. (2020). Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration. July 2019, 1725 1738. https://doi.org/10.1111/gcb.14851

Tiodar, E. D., Văcar, C. L., & Podar, D. (2021). Phytoremediation and microorganisms-assisted phytoremediation of mercury-contaminated soils: Challenges and perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* *18*(5), 2435. https://doi.org/10.3390/ijerph18052435

Tomiyasu, T., Kono, Y., Kodamatani, H., Hidayati, N., & Rahajoe, J. S. **(2013).** The distribution of mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Bogor, Indonesia. *Environmental Research, 125*, 12–19. https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.03.015

Turnbull, J. W. (1986). *Multipurpose Australian trees and shrubs: Lesser-known species for fuelwood and agroforestry*. ACIAR.

Widodo, W. (2006). *Bahan pakan unggas non konvensional*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.

798–806. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.018.

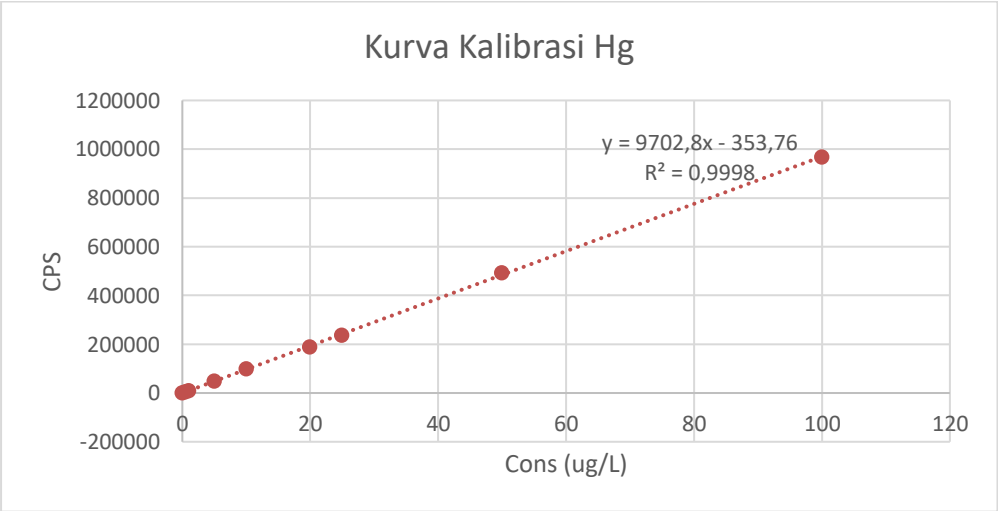
Zhong, Y., et al. (2021). Research progress of adsorption and removal of heavy metals by chitosan and its derivatives: A review. *Chemosphere, 279*, 130927. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130927

Zuhri, A. (2015). Konflik Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) di Desa Petapahan Kecamatan Gunung Toar Kabupaten Kuantan Singingi. *JOM FISIP, 2*(2), 1–12.

LAMPIRAN

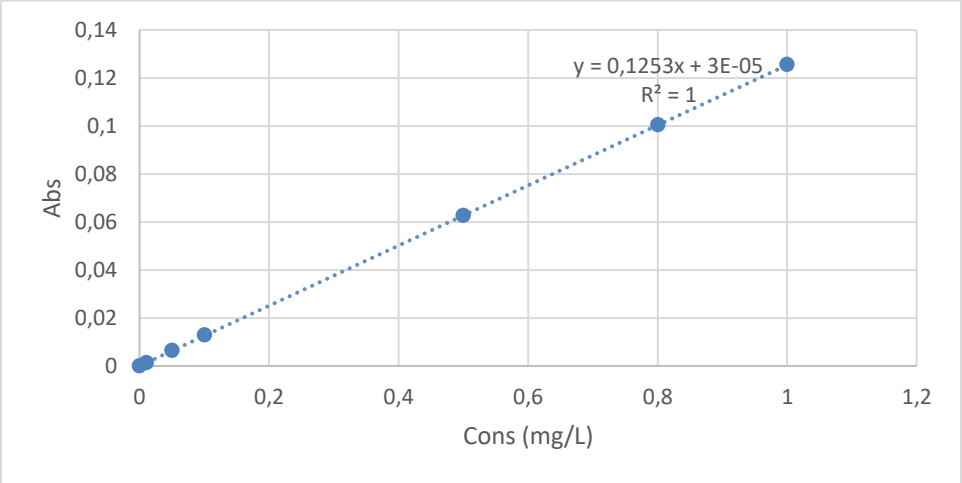
Lampiran 1 Kurva Kalibrasi Standar Hg

Deret Standar Uji Hg			
No	**Standar**	**Cons (ug/L)**	**CPS**
1	Standar 1	0	0
2	Standar 2	0.5	4950.8
3	Standar 3	1	9900.7
4	Standar 4	5	49504.0
5	Standar 5	10	98824.5
6	Standar 6	20	188144.2
7	Standar 7	25	236056.2
8	Standar 8	50	493795.7
9	Standar 9	100	967784.6
slope (a)		9790,7397	
intercept (b)		-353,7594262	



Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Standar P

Deret Standar Uji P				
No	**Standar**	**Conc (ug/L)**	**Abs**	**K.Abs**
1	Standar 1	0	0	0
2	Standar 2	0,01	0,0012	0,0012
3	Standar 3	0,05	0,0063	0,0063
4	Standar 4	0,1	0,0128	0,0128
5	Standar 5	0,5	0,0625	0,0625
6	Standar 6	0,8	0,1003	0,1003
7	Standar 7	1	0,1254	0,1254
Slope (a)		0,1253		
Intercept (b)		0,00003		



Lampiran 3 Kurva Kalibrasi Standar P

a. Perhitungan Kandungan Nutrisi (P) fosfor dalam Tanah dengan Metode Bray 1 (S+CHI+M)

Itersep (b) = 0,00003

Slope (a) = 0,12531

Absorbansi sampel (y) = 0,06

Faktor pengenceran (fp) = 20

Faktor pengenceran air (fk) = 1

Volume ekstrak = 10 Ml

Berat dipakai = 2,5055 gr

Faktor konversi PO_4 menjadi P_2O_5 = 142/190

1) Perhitungn kadar P (ppm)

Kadar P = $(\frac{y-b}{a})$

= $(\frac{0{,}06-\ 0{,}00003}{0{,}12531})$

= 0,479 ppm

2) Perhitungan P_2O_5 Tersedia (mg/kg)

Kadar P Tersedia (ppm) = ppm kurva x $(\frac{ml\ ekstrak}{1.000\ ml})$ x $(\frac{1000\ g}{g\ contoh})\ x\ fp\ x\ (\frac{142}{190})\ x\ fk$

= 0,476 x $(\frac{10}{1.000})$ x $(\frac{1000}{2.5055})\ x\ 20\ x\ (\frac{142}{190})\ x\ 1$

= 28,55 mg/kg

b. Perhitungan Kandungan Nutrisi (P) fosfor Jaringan Tanaman Batang dengan Metode Ekstraki HCl 25% (S+CHI+M)

Itersept (b)	= 0,00003
Slope (a)	= 0,12531
Absorbansi sampel (y)	= 0,058
Faktor pengenceran (fp)	= 20
Faktor pengenceran air (fk)	= 1,04
Volume ekstrak	= 10 Ml
Berat dipakai	= 12,35 gr
Faktor konversi PO_4 menjadi P_2O_5	= 142/190

1) Perhitungn kadar P (ppm)

Kadar P = $(\frac{y-b}{a})$

= $(\frac{0{,}058\ -\ 0{,}00003}{0{,}12531})$

= 0,463 ppm

2) Perhitungan P_2O_5 Tersedia (mg/100g)

Kadar P Tersedia (ppm) = ppm kurva x $(\frac{ml\ ekstrak}{1.000\ ml})$ x $(\frac{100\ g}{g\ contoh})\ x\ fp\ x\ (\frac{142}{190})\ x\ fk$

= 0,463 x $(\frac{10}{1.000})$ x $(\frac{1000}{12{,}35})\ x\ 20\ x\ (\frac{142}{190})\ x\ 1{,}04$

= 3,39 mg/100g

c. Perhitungan Kandungan Logam Merkuri (Hg) dalam Tanah

Konsentrasi (C) = 16,64 µg/L = 0,016 mg/L

Volume akhir destruksi (V) = 50 mL

Berat contoh uji (W) = 0,52 gram

Fraksi padat (P) = 1

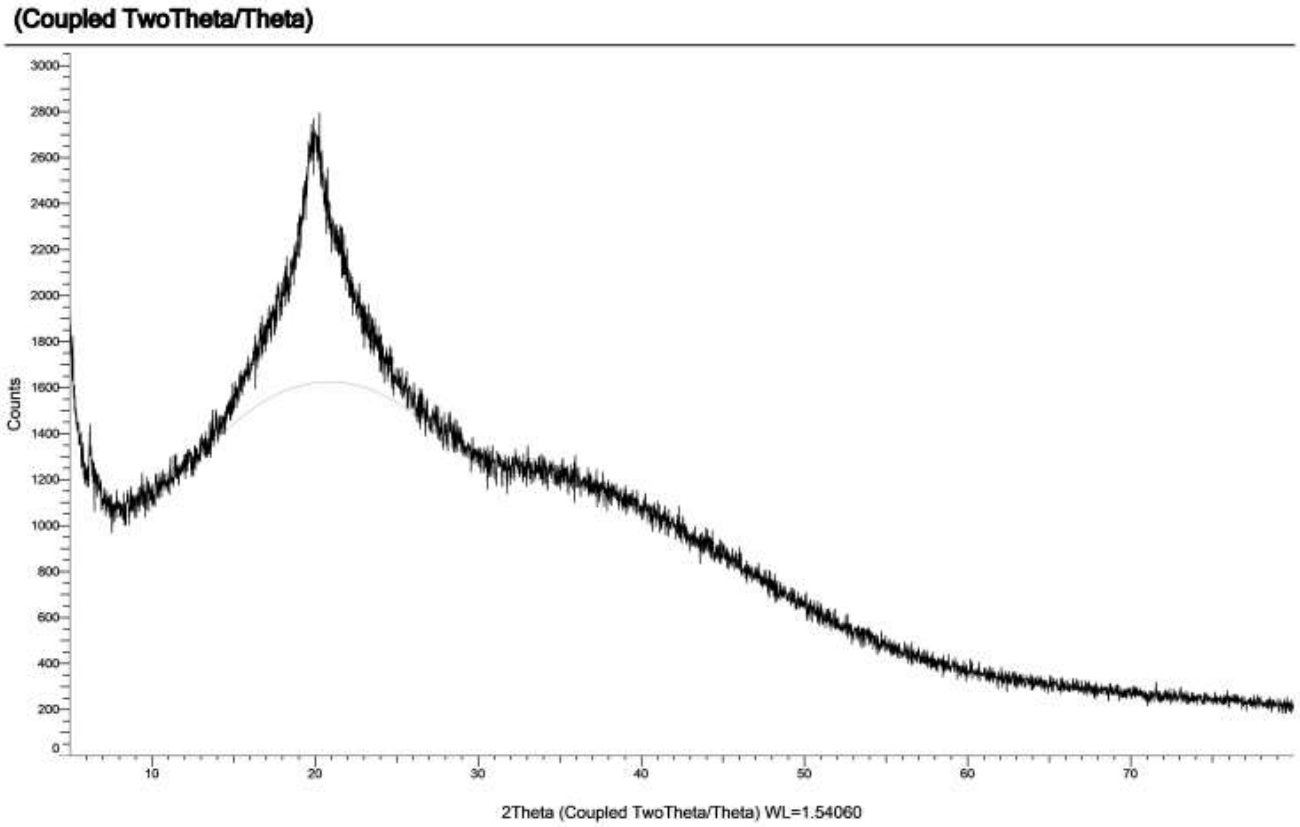
Faktor pengenceran (fp) = 100

Perhitungn kadar Logam Hg $(\frac{mg}{kg}) = (\frac{c \times v}{W \times P}) \times fp$

$= (\frac{0{,}016 \; x \; 50}{0{,}54 \; x \; 1}) \; x \; 100$

= 147,31 mg/kg

Lampiran 3 Grafik dan Data XRD



18551125-1 A2.raw, 11/19/2025 4:20:39 PM

Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes			1	Peak #1	Peak List #1	6.197 °	18551125-1 A2.raw #1	6.197 °
Yes			2	Peak #2	Peak List #1	19.986 °	18551125-1 A2.raw #1	19.986 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
14.25113 Å	228	1429	21.1%	n.a.	No
4.43899 Å	1081	2702	100.0%	n.a.	No

18551125-1 A2.raw, 11/19/2025 4:22:08 PM

Area List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle	Right Angle
Yes			2	[6.119 ° - 6.485 °]	Area List #1	18551125-1 A2.raw #1	6.119 °	6.485 °
Yes			1	[10.487 ° - 30.454 °]	Area List #1	18551125-1 A2.raw #1	10.487 °	30.454 °

Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM	Chord Mid.	d (Chord Mid.)
18.4	18.1	6.197 °	14.25046 Å	22.0	3.63	0.084	6.204 °	14.23534 Å
17.8	19.3	19.993 °	4.43756 Å	42.1	23.5	4.383	20.189 °	4.39497 Å

I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area	C. Size	K	Instr. Width	Use I. Breadth
0.118	6.247 °	14.13684 Å	7.100	0.4272	1057.7 Å	1.000	0.000	No
6.243	20.333 °	4.36411 Å	517.5	146.8	20.5 Å	1.000	0.000	No

Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan



Gambar 1. Penghancuran tanah



Gambar 2. Tampak setelah penanaman



Gambar 3. Penimbangan berat basah



Gambar 4. Proses pemanenan



Gambar 5. Proses foto tanaman uji



Gambar 6. Persiapan untuk pengeringan akar dan batang



Gambar 7. Proses destruksi tanah



Gambar 8. Proses pengujian kadar P



Gambar 9. Hasil destruksi tanah dan tanaman



Gambar 10. Proses pembacaan kadar logam Hg dengan ICP

RIWAYAT HIDUP



Rifqina Nuruhaq Gandi Putri, kerap di sapa Qina. Lahir di Pekanbaru, 10 Januari 2004, merupakan anak ke-dua dari tiga bersaudara dari Bapak Gandime Diyanto dan Ibu Mariati. Adapun penulis telah melalui jenjang pendidikan SDN 012 Lingga, SMP N 01 Lingga dan SMA N 01 Lingga serta menempuh pendidikan progam studi S1- Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesa, Yogyakarta.

Selama perkuliahan penulis aktif berkontribusi dan berperan pada kegiatan lembaga seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai Sekretarus Departemen Keilmuan. Pada kegiatan kepanitiaan pula penulis menjadi bagian dalam penyelenggara kegiatan *Enviro Chamopions* 2023 dan Lintas Lingkungan 2023. Penulis telah menyelesaikan Kerja Praktik (KP) di Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palempang pada bulan feb-Maret 2026. Penulis memulai memulai penelitian di *greenhouse* Bu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Laboratoirum Kualitas Lingkungan untuk menyelesaikan tugas akhir.