

**TESIS**

**OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH APU-APU  
(*PISTIA STRATIOTES*) UNTUK REHABILITASI TANAH BEKAS  
TAMBANG NIKEL: SKALA PERSEMAIAN**



**IRFA DAROJAT**

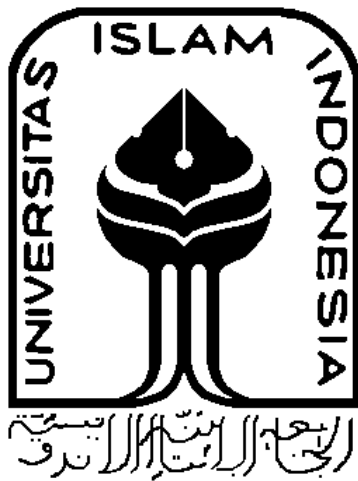
**22927009**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2025**

TESIS

**OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH APU-APU  
(*PISTIA STRATIOTES*) UNTUK REHABILITASI TANAH BEKAS  
TAMBANG NIKEL: SKALA PERSEMAIAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**IRFA DAROJAT**

**22927009**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2025**

TESIS

**OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH APU-APU  
(*PISTIA STRATIOTES*) UNTUK REHABILITASI TANAH BEKAS  
TAMBANG NIKEL: SKALA PERSEMAIAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**IRFA DAROJAT  
22927009**

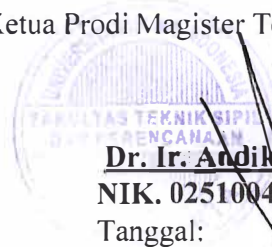
Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

**Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., PhD**  
**NIK. 185130401**  
Tanggal:

(  )

Mengetahui,

Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



**Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.**  
**NIK. 025100407**  
Tanggal:

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH APU-APU**  
**(PISTIA STRATIOTES) UNTUK REHABILITASI TANAH BEKAS**  
**TAMBANG NIKEL SKALA PERSEMAIAN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin  
Tanggal : 17 Maret 2025

Disusun Oleh:

Irfa Darojat

Tim Penguji :

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

(  )

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

(  )

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(  )

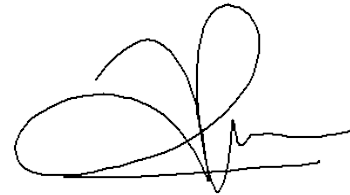
## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya 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 adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian 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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Maret 2025

Yang membuat pernyataan,



**Irfa Darajat**

**NIM: 22927009**

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur kepada Allah atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis telah diberi kemampuan untuk menyelesaikan penulisan Laporan Thesis tentang OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH APU-APU (PISTIA STRATIOTES) UNTUK REHABILITASI TANAH BEKAS TAMBANG NIKEL: SKALA PERSEMAIAN.

Penyusunan proposal ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Magister Teknik bagi Mahasiswa Program S2 Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia .

Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kekuatan dan energi sehingga dapat menjalani dan menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua yaitu Bapak Ibrahim Aji dan Ibu Chuzaimah yang senantiasa mendukung dan mendoakan kami untuk menyelesaikan laporan thesis ini.
3. Pembimbing Thesis Ibu Dewi Wulandari.S.Hut.,M.Agr.,Ph.D. yang telah banyak memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan proposal ini.
4. Bapak Umar Kasmon selaku sponsor *Senior Manager Strategic Environment* di PT Vale Indonesia.
5. Soulan Simamora, Reyhan Adista Ramadhani, Lionie Br Butar-Butar, dan Haniena Divi sebagai pendukung dalam mengerjakan thesis.
6. Bima Sakti S W, Laudza Adi Nugraha, Bella Regita C dan Isnain Wal Fitra sebagai penghibur dalam mengerjakan thesis.
7. Annisa Gebriella Syamsu, Farizza Astri Mayangsari, Feby Novita Loka, Alisha Fitri Azzahra, Rizqia Amalia Putri, Rifqi Anugerah dan Rifki Fahryn Mujahid selaku teman dekat yang selalu memberikan dukungan penuh.
8. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan proposal ini. Penulis berharap semoga proposal ini

dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan dapat ditindaklanjuti dengan pengimplementasian saran.

Yogyakarta, 13 Maret 2025

Irfa Darajat.

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah apu-apu (*Pistia stratiotes*) dalam rehabilitasi tanah bekas tambang nikel pada skala persemaian. Studi ini dilakukan di PT Vale Indonesia Tbk, sebuah perusahaan pertambangan nikel yang berkomitmen pada praktik pertambangan berkelanjutan. Tanaman apu-apu, yang sebelumnya digunakan untuk fitoremediasi air limbah dan kemudian dibuang ke landfill, dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik cair (POC) dan pupuk organik padat (POP). Penelitian ini mengeksplorasi potensi kompos apu-apu yang dikombinasikan dengan mikroorganisme PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) dan mikoriza untuk mereduksi logam berat dan memperbaiki daya serap air tanah bekas tambang nikel. Fokus penelitian adalah pada parameter logam berat Kromium (Cr) dan Besi (Fe) yang umumnya ditemukan sebagai mineral pengikat dalam penambangan nikel. Tanaman Sengon Butoh (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*) dipilih sebagai tanaman uji karena kemampuannya beradaptasi dengan kondisi tanah laterit dan meningkatkan kandungan nitrogen tanah. Metodologi penelitian meliputi pembuatan POC dan POP dari apu-apu, pengujian karakteristik tanah overburden, serta pengamatan pertumbuhan tanaman dan perubahan karakteristik tanah setelah perlakuan. Hasil penelitian ini pada tingkat pertumbuhan tanaman, Pupuk Organik Padat (POP) + PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi dengan deviasi 15,1 cm dibanding kontrol dan diameter dengan deviasi 3,9 cm, sedangkan pada penurunan logam berat penggunaan POP + inokulasi PGPR secara signifikan menurunkan kadar logam berat pada tanah uji (*overburden*) dengan hasil penurunan sebesar 7% pada logam Cr dan 0,27 % pada logam Fe. jika dibandingkan penggunaan eksisting nursery dengan metode *overburden* mampu menurunkan biaya operasional sebesar 37%. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas, kelayakan, dan dampak dari metode rehabilitasi ini mampu berkontribusi pada pengembangan praktik pertambangan yang berkelanjutan dan strategi pengurangan dampak lingkungan dalam sektor pertambangan nikel di Indonesia.

Kata kunci: Apu-apu, Biofitoremediasi, Pupuk organik cair, Pupuk organik padat, Rehabilitasi Tanah,

## **ABSTRACT**

*This study aims to optimize the utilization of apu-apu waste (Pistia stratiotes) in the rehabilitation of ex-nickel mining land at the nursery scale. This study was conducted at PT Vale Indonesia Tbk, a nickel mining company committed to sustainable mining practices. Apu-apu plants, which were previously used for phytoremediation of wastewater and then disposed of in landfills, are utilized as raw materials for making liquid organic fertilizer (POC) and solid organic fertilizer (POP). This study explores the potential of apu-apu compost combined with PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) microorganisms and mycorrhiza to reduce heavy metals and improve the water absorption capacity of ex-nickel mining land. The focus of the study was on the parameters of heavy metals Chromium (Cr) and Iron (Fe) which are commonly found as follower minerals in nickel mining. Sengon Butoh plants (Enterolobium cyclocarpum Griseb) were selected as test plants because of their ability to adapt to laterite soil conditions and increase soil nitrogen content. The research methodology includes the manufacture of POC and POP from apu-apu, testing the characteristics of overburden soil, and observing plant growth and changes in soil characteristics after treatment. The results of this study at the level of plant growth, Solid Organic Fertilizer (POP) + PGPR can increase height growth with a deviation of 15.1 cm compared to the control and diameter with a deviation of 3.9 cm, while in reducing heavy metals, the use of POP + PGPR inoculation significantly reduced heavy metal levels in the test soil (overburden) with a decrease of 7% in Cr metal and 0.27% in Fe metal. when compared to the use of existing nurseries with the overburden method, it can reduce operational costs by 37%. It is hoped that this study can provide insight into the effectiveness, feasibility, and impact of this rehabilitation method, which can contribute to the development of sustainable mining practices and environmental impact reduction strategies in the nickel mining sector in Indonesia.*

*Keywords: Apu-apu, Biophytoremediation, Liquid organic fertilizer, Solid organic fertilizer, Soil Rehabilitation,*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
1.6 Kerangka Berpikir Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Lahan Bekas Tambang Nikel .....	5
2.2. Apu-Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	5
2.3. Pupuk Apu-Apu.....	6
2.4. <i>Benefical soil microbes</i> .....	8
2.5. Tanaman Sengon Butoh ( <i>Enterolobium cyclocarpum Griseb</i> ) .....	9
2.6. Penelitian Terdahulu.....	10
BAB III METODE PENELITIAN .....	12
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	12
3.2 Pembuatan Pupuk.....	13
3.3 Pengujian Pupuk pada Tanaman .....	17
3.3.1 Persiapan Persemaian.....	17
3.3.2 Persiapan Media Tanam.....	18
3.3.3 Pembuatan Inokulum Mikroba.....	18

3.3.4	Penanaman di Persemaian dan Inokulasi Mikroba .....	19
3.3.5	Pemanenan .....	19
3.3.6	Analisis Serapan Logam .....	20
3.4	Pengujian Karakteristik Tanah Akhir .....	20
3.5	Karakteristik Serapan Logam Pada Jaringan Tanaman.....	20
3.5.1.	Perhitungan Faktor Transport .....	21
3.5.2.	Perhitungan Biokonsentrasi .....	21
3.6	Analisis Komparasi Biaya Operasional.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		23
4.1.	Hasil Kompos Apu-Apu.....	23
4.2.	Komposisi perbaikan tanah uji.....	29
4.3.	Hasil Parameter Tanaman Skala Persemaian .....	30
4.4.	Hasil Pembahasan Biofitoremediasi .....	32
4.4.1	Hasil Pembahasan Biomassa tanaman dan tanah.....	33
4.4.2	Hasil Analisis dan Pembahasan Serapan Logam pada Tanaman.....	39
4.4.3	Hasil Analisis dan Pembahasan Logam pada Tanah uji .....	41
4.5.	Analisis Komparasi Biaya Operasional.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		47
5.1.	Kesimpulan .....	47
5.2.	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA .....		48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kerangka penelitian optimalisasi pemanfaatan apu- <i>apu</i> ( <i>pistia statiotes</i> ) untuk rehabilitasi tambang nikel skala persemaian di PT Vale Indonesia .....	4
Gambar 2 Tanaman apu- <i>apu</i> di <i>Waste Water Treatment Plant</i> (D-Lagoon dan F-Lagoon) PT Vale Indonesia .....	6
Gambar 3 Area penelitian dan sumber tanaman apu- <i>Apu</i> di PT Vale Indonesia .....	12
Gambar 4 Area penambangan dan reklamasi& rehabilitasi PT Vale Indonesia .....	13
Gambar 5 Metode pembuatan pupuk cair (POC) apu- <i>apu</i> .....	14
Gambar 6 Metode pembuatan pupuk organik padat (POP) apu- <i>apu</i> .....	15
Gambar 7 Perubahan suhu pada pembuatan pupuk organik cair (POC) dengan bahan apu- <i>apu</i> .....	24
Gambar 8 Perubahan nilai pH pada pembuatan pupuk organik cair (POC) dengan bahan apu- <i>apu</i> .....	24
Gambar 9 Perubahan suhu pada pembuatan pupuk organik padat (POP) dengan bahan apu- <i>apu</i> .....	26
Gambar 10 Perubahan nilai pH pada pembuaatan pupuk organik padat (POP) dengan bahan apu- <i>apu</i> .....	27
Gambar 11 Perubahan nilai tinggi tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	31
Gambar 12 Perubahan nilai diameter tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	32
Gambar 13 Nilai biomassa jaringan atas tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	34
Gambar 14 Nilai biomassa jaringan bawah tumbuhan tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	35
Gambar 15 Perubahan kandungan C organik tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3) .....	36
Gambar 16 Persentase Perubahan C organik tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3) .....	37

Gambar 17 Nilai pH akhir pada tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	38
Gambar 18 Nilai perubahan kandungan Kromium (Cr) setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	41
Gambar 19 Persentase penurunan logam kromium setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3) .....	42
Gambar 20 Nilai perubahan kandungan Besi (Fe) setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3) .....	43
Gambar 21 Persentase penurunan logam besi setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3).....	44
Gambar 22 Nilai anggaran nursery PT Vale Indonesia .....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 SNI pupuk kompos dari BSN (Badan Standarisasi Nasional) .....	7
Tabel 2 Daftar penelitian terdahulu.....	10
Tabel 3 Parameter dan metode pengujian tanah overburden .....	16
Tabel 4 Parameter dan metode pengujian pupuk organik cair (POC) .....	16
Tabel 5 Parameter dan metode pengujian pupuk organik padat (POP) .....	17
Tabel 6 Variasi perlakuan pada penelitian pemanfaatan apu-apu ( <i>pistia statiotes</i> ) untuk rehabilitasi tambang nikel skala persemaian.....	19
Tabel 7 Parameter dan metode pengujian pertumbuhan tanaman .....	19
Tabel 8 Parameter dan metode pengujian sampel tanah dan jaringan tumbuhan .....	20
Tabel 9 Hasil uji karakteristik dan kandungan pupuk organik cair (POC) dari tanaman apu-apu .....	25
Tabel 10 Hasil uji karakteristik dan kandungan pupuk organik padat (POP) dari tanaman apu-apu .....	27
Tabel 11 Hasil pengujian laboratorium karakteristik <i>overburden</i> .....	29
Tabel 13 Karakter logam berat Cr di jaringan tanaman setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian (n=3).....	39
Tabel 14 Karakter logam berat Fe di jaringan tanaman setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian (n=3).....	40

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertambangan nikel adalah salah satu sektor yang memiliki peranan penting dalam ekonomi global, tetapi juga menghadapi masalah serius terkait dampak lingkungan, khususnya pada kualitas tanah di area sekitar lokasi penambangan. Overburden, yang merupakan hasil dari proses penambangan telah mengalami degradasi sifat fisika dan kimia tanah (Kaz'mierczak *et al.*, 2017). Sering kali mengandung logam berat dan bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari tanah dan air tanah, serta mengganggu ekosistem setempat, dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia (Mulyanto dan Suwardi, 2006)

PT Vale Indonesia Tbk merupakan salah satu perusahaan pertambangan nikel yang memiliki komitmen dalam berkelanjutan dalam operasional pertambangannya (*Green Mining*), termasuk dalam manajemen lingkungan (PTVI, 2025). Salah satu strategi yang sedang dieksplorasi adalah pengembangan metode rehabilitasi lahan dengan menggunakan limbah organik dari material lokal, salah satunya yakni memanfaatkan limbah apu-apu (*Pistia stratiotes*).

Apu-apu dikenal memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dan bahan kimia (Utami., 2017), oleh karena itu apu-apu dimanfaatkan oleh PT Vale Indonesia sebagai agen biologi dalam fitoremediasi air limbah. Namun demikian, cepatnya pertumbuhan apu-apu dan kemampuan adaptasinya yang sangat tinggi menjadikan tanaman ini memiliki karakter infasif sehingga dikarenakan perkembangbiakannya yang tidak terkendali maka tanaman ini selanjutnya dibuang ke landfill. Oleh sebab itu, melihat potensi nilai organik yang tinggi dari apu-apu ini (Mamonto, 2013), dibuatlah proyek pemanfaatan apu-apu menjadi pupuk organik cair (POC) dan pupuk organik padat kompos (POP) sebagai bahan pembenah tanah untuk rehabilitasi tanah bekas tambang nikel.

Pupuk berperan untuk menyediakan unsur hara bagi tanah kritis bekas pertambangan yang kurang kondusif akibat tingginya kandungan logam berat Cr dan Fe. Dalam penambangan logam Nikel terdapat mineral pengikat berupa logam Kromium (Cr) dan Besi (Fe) yang terdapat pada tanah overburden. Logam pengikat dalam tambang nikel merupakan logam-logam yang biasanya ditemukan bersamaan dengan nikel selama proses ekstraksi (Jephcott, 2016). Pencampuran antara penambahan bahan organik dan inokulasi dengan mikroorganisme tanah menjadi salah satu pendekatan terbaik untuk remediasi tanah dengan kondisi seperti ini (Tiwari, 2018).

Mikroorganisme tanah efektif untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam kondisi tanah yang berlogam berat melalui mekanismenya sendiri (Mustapha *et al.*, 2015). Melalui produksi asam organik atau fitohormon mikroorganisme dapat mengubah logam berat menjadi bentuk yang kurang beracun dengan mekanisme pengasaman, presipitasi dan khelasi (Roman *et al.*, 2017)

Inokulasi mikroorganise PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteri*) dapat meningkatkan produktivitas tanaman dalam fasa logam berat yang tinggi. Misalnya, Roman dkk (2017) berhasil mengisolasi mikroorganisme dari rizosfer tanaman yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi logam berat. Melaporkan bahwa *Curtobacterium sp.*, *Bacillus sp* dan *Microbacterium sp* sebagai mikroba potensial untuk melakukan bioremediasi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman di tanah terkontaminasi logam berat. PGPR dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah, merangsang pertumbuhan akar tanaman, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik (Glick, 2012). Sementara itu, mikoriza berperan dalam meningkatkan struktur tanah, memperbaiki daya serap air, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial, seperti fosfor, bagi tanaman (Smith & Read, 2008).

Salah satu penentu keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang adalah pemilihan tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan. Tanaman Sengon Butoh (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*) dipilih karena kondisi tanah laterit pada lokasi penambangan nikel memiliki kapasitas penyerapan air yang rendah dan kandungan bahan organik yang rendah menyebabkan rendahnya aktifitas dan populasi mikroba (Associates, 1971) (Romero *et al.*, 2005). Pada kondisi ini, tanaman yang populer digunakan dalam revegetasi tanah pada lahan bekas tambang adalah tanaman akasia, gama dan sengon (Setiadi, 2006). Tanaman sengon dapat meningkatkan kandungan nitrogen (Debell, 1998). Karena, tanaman sengon dapat mengikat unsur N bebas dari udara yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan aktifitas organisme dalam tanah (Herijanto, 2017). Nilai tambah lain adalah tanaman sengon memiliki karakteristik mampu berasosiasi dengan bakteri tanah sehingga dapat meningkatkan iklim simbiosis mikroorganisme pada lahan bekas tambang ((De Lajudie *et al.*, 1994).

Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi apu-apu sebagai kompos yang dikombinasikan dengan mikroorganisme PGPR sebagai agen pereduksi logam berat dan mikoriza untuk memperbaiki daya serap air tanah bekas pertambangan nikel yang dilakukan skala persemaian pada paremater logam berat Cr dan Fe. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai efektivitas, kelayakan, dan dampak dari rehabilitasi ini. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan praktik pertambangan

yang berkelanjutan serta strategi untuk mengurangi dampak lingkungan dalam sektor pertambangan nikel di Indonesia.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan rehabilitasi tanah bekas pertambangan nikel masih belum terselesaikan, saat ini masih menggunakan bahan kimia dan dengan teknologi yang mahal, sedangkan terdapat potensi pemanfaatan limbah apu-apu sebagai bahan rehabilitasi tanah untuk meningkatkan kualitas tanah.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kompos apu-apu pada tanah yang dikombinasikan dengan penambahan mikroorganisme PGPR dan Mikoriza serta pengaruh terhadap serapan logam berat Fe dan Cr pada lahan bekas tambang nikel di PT Vale Indonesia Tbk.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Pengembangan ilmu teknik lingkungan terutama dalam bidang teknik pemulihan tanah kritis pertambangan nikel.
2. Memberikan informasi terkait dengan pengaplikasian pengolahan limbah apu-apu untuk rehabilitasi tanah pertambangan nikel.
3. Menjadi bahan acuan dalam pengelolaan dan rehabilitasi tanah dengan memanfaatkan limbah apu-apu di PT Vale Indonesia.

## **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang Lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Pembuatan kompos dibuat dengan menggunakan apu-apu yang diambil dari D-Lagoon PT Vale Indonesia.
2. Penelitian dan pengamatan tanaman dilakukan dalam skala persemaian di PT Vale Indonesia adapun yang diukur dalam tanaman adalah tinggi tanaman dan diameter batang.
3. Penelitian dilaksanakan pada parameter C Organik, Kromium (Cr) dan Besi (Fe).
4. Pengujian logam berat dilakukan pada tanah dan jaringan tanaman (jaringan atas dan jaringan bawah)

## 1.6 Kerangka Berpikir Penelitian

Kerangka berfikir dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1 Kerangka penelitian optimalisasi pemanfaatan apu-apu (*pistia striotes*) untuk rehabilitasi tambang nikel skala persemaian di PT Vale Indonesia

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Lahan Bekas Tambang Nikel**

Pertambangan nikel terbagi menjadi dua jenis endapan yaitu endapan sulfida (asosiasi dengan tembaga) dan endapan laterit (asosiasi dengan besi dan silika magnesium) (Jephcott, 2016). Indonesia memiliki cadangan nikel laterit terbesar di dunia khususnya di Sulawesi, salah satunya endapan di Sorowako dan Pomalaa (Sufriadin, 2011). Endapan laterit dibagi menjadi bijih limonite dengan kadar nikel rendah dan bijih saprolite dengan kadar nikel tinggi.

Nikel laterite terbentuk dari proses pelapukan kimia dan fisika batuan basa dan ultrabasa dalam kondisi tropis hingga sub tropis (Santoro, 2022). Bijih saprolite yang lebih dalam memiliki kandungan lebih besar dari limonite biasanya di proses dengan prinsip pirometalurgi (Nurjaman, 2020). Produk nikel matte di Sorowako menggunakan prinsip pirometalurgi, sehingga hanya menambang jenis bijih saprolite saja. Lapisan limonite yang berada pada lapisan atas dikategorikan menjadi *overburden (OB)*.

Lapisan OB ini terdiri dari kelompok mineral oksida dan hidroksida sehingga pada proses penimbunan pasca tambang akan menimbulkan gangguan tanah kondusif (erosi) (Sheoran *et al.*, 2010). Kandungan logam berat berakibat tingkat kesuburan yang buruk, kandungan tanah liat yang tinggi, dan kapasitas pertukaran kation lebih rendah (Shaw, 2001) menyebabkan perubahan secara fisika dan kimia yang menghasilkan pH rendah.

Reklamasi pada lahan bekas tambang nikel memerlukan pembentukan siklus nutrisi yang stabil pada kondisi lahan yang kritis, sehingga memerlukan interaksi tanaman dan proses mikroorganisme sebagai agen pembenah tanah (Lone *et al.*, 2008) Strategi reklamasi harus memperhatikan struktur tanah, kesuburan tanah, populasi mikroba, pengelolaan lapisan tanah atas, dan daur ulang nutrisi untuk mengembalikan tanah sedekat mungkin dengan kondisi aslinya dan terus menjadi ekosistem yang mandiri.

#### **2.2. Apu-Apu (*Pistia stratiotes*)**

Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, seperti zat organik maupun anorganik dan logam berat (Puspitasari, 2016). Kemampuan fitoremediator ini membuat PT Vale menggunakan Tanaman apu-apu di instalasi pengolahan limbah domestik. Apu-apu

dapat berkembang biak secara vegetatif dan generatif dengan menggunakan stolon, menyebabkan pertumbuhan apu-apu sangat cepat (Langeland, 2008). Sehingga, tumbuhan apu-apu dapat tumbuh dan memperluas serta membentuk koloni besar yang dapat menutupi permukaan kolam pengolahan air limbah seperti gambar 1 dibawah. Kandungan organik yang tinggi dari tanaman apu-apu dan ketersediaanya yang melimpah, menjadi peluang untuk dilakukan sebagai pupuk kebutuhan reklamasi dan rehabilitasi lahan bekas tambang.



Gambar 2 Tanaman apu-apu di *Waste Water Treatment Plant* (D-Lagoon dan F-Lagoon) PT Vale Indonesia

### 2.3. Pupuk Apu-Apu

Tanaman apu-apu dapat berperan sebagai sumber pupuk organik (Majid, 1986). Kayu apu dapat menyerap unsur nitrogen di alam, dibuktikan dengan kandungan nitrogen kayu apu (Irfan, *et al.*, 2009). Menurut Arisandi (2006) kandungan C dan N total pada kayu apu-apu cukup tinggi, yaitu 40,5 % dan 1,8 % berpotensi memberikan unsur hara ke dalam tanah. Pembuatan pupuk apu-apu dilakukan dengan metode pengomposan dengan serangkaian proses fermentasi dengan ciri penurunan hasil C/N (Sutedjo, 2017). Dekomposisi bahan organik dilakukan oleh berbagai macam mikroba yang dapat merubah struktur dan teksturnya (Nugroho, 2015). Proses pengomposan dengan mikroorganismenya dilakukan dengan dua cara, yaitu aerob dan anaerob.

Pada saat proses pengomposan, akan ditemukan perubahan tingkat pada bahan kompos. Kemasaman optimal berkisar antara 6,8—7,49 (SNI pupuk kompos BNS, 2004). Perubahan kemasaman disebabkan dari pelepasan asam secara lokal, pada awal proses pengomposan akan didapati peningkatan kemasaman akibat proses produksi amonia dari senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen.

Poroses pengomposan oleh mikroorganismen yang mendekomposisi bahan kompos ditandai dengan perubahan temperatur. Semakin tinggi temperatur kompos menandai bahwa aktivitas mikroorganismen berlangsung sangat tinggi. Temperatur optimal untuk aktivitas mikroorganismen berkisar antara 30-60 °C. Jika diatas 60°C akan menyebabkan bakteri mati dan menyisakan bakteri termofik. Sebaliknya, temperatur yang rendah menandai sangat sedikit proses pengomposan sehingga akan berlangsung lama.

Terdapat peraturan pemerintah yang mengatur tentang penggunaan pupuk dan mutu pupuk. Tujuannya adalah untuk menjaga mutu dan mencegah pencemaran lingkungan dari pupuk. Dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) Republik Indonesia tersaji dalam tabel, sebagai berikut:

Tabel 1 SNI pupuk kompos dari BSN (Badan Standarisasi Nasional)

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	°C		Suhu air tanah
3	Warna			Kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran Partikel	Mm	0.55	25
6	Kemampuan Ikat air	%	58	-
7	pH		6.8	7.49
8	Bahan Asing	%	*	1.5
<b>Unsur Makro</b>				
9	Bahan Organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0.4	-
11	Karbon	%	9.8	32
12	Phospor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	0.1	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K <sub>2</sub> O)	%	0.2	*
<b>Unsur Mikro</b>				
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0.8

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
<b>Unsur Lain</b>				
25	Kalsium	%	*	25.5
26	Magnesium (Mg)	%	*	0.6
27	Besi (Fe)	%	*	2
28	Alumunium (Al)	%	*	2.2
29	Mangan (Mn)	%	*	0.1
<b>Bakteri</b>				
30	Fecal Coli	MPN/g		1000
31	Salmonela sp.	MPN/4 g		2

Keterangan: \* Nilai lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum

Sumber: SNI 19-7030-2004

Standarisasi yang dikeluarkan mengacu pada standar kualitas internasional merujuk *Britis Columbia Class I Compost Regulator and National Standard of Canada*. Kemudian BSN mengeluarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) pupuk kompos dengan Surat Keputusan (SK) 13/KEP/BSN-SNI.04/05/2004 sesuai dengan tabel diatas.

#### 2.4. *Beneficial soil microbes*

Mikroba tanah berperan penting dalam melindungi tanaman dari penyakit dan meningkatkan pertumbuhan, terutama dalam kondisi yang kritis (Frey-Kleett *et al.*, 2011). Komunitas mikroba terdiri dari bakteri dan jamur, dan memiliki peranan dalam berbagai macam metabolisme tanaman (Hassani *et al.*, 2018). Inokulasi tunggal maupun konsorsium bakteri dan jamur ke tanah telah teruji dalam meningkatkan kelangsungan hidup tanaman (Vacheron *et al.*, 2013). Ini disebabkan oleh mekanisme langsung melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfor, sintesis fitohormon dan mekanisme tidak langsung dari pengaruh PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) melalui stimulasi perkembangan mikoriza, penekanan patogen, atau eliminasi senyawa beracun (logam berat) (Bashan *et al.*, 2008).

a. PGPR

*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* merupakan bakteri yang hidup di daerah perakaran tanaman. Bakteri ini mampu mengkolonisasi akar dan berperan penting dalam pertumbuhan tanaman (Ashrafuzzaman et al., 2009). Penggunaan PGPR sebagai pupuk hayati merupakan usaha pada bidang bioteknologi untuk meningkatkan produktivitas pertanian. PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman karena bersifat merangsang pertumbuhan (biostimulan) dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh, dapat memfasilitasi tersedianya unsur hara esensial, serta sebagai pengendali patogen tanah (bioprotektan) (Marom et al., 2017).

b. Arbuskular Mikoriza

Mikoriza bersimbiosis dengan sistem perakaran tanaman serta dapat berasosiasi baik dengan 90% jenis tanaman. Efektifitas simbiosis AMF dengan tanaman inang bergantung pada karakteristik tanaman inang dan faktor abiotik seperti suhu, pH, kelembaban dan mikroorganisme tanah (Finmeta et al.2018); (Proborini, 2020). Keberadaan AMF mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan tropis dan ketahanan terhadap penyakit. AMF pada sistem perakaran tanaman mampu memproduksi jalinan hifa yang berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara sehingga lebih tersedia bagi tanaman (Rini et al. 2017).

Bio-Fitoremediasi merupakan pembenahan tanah yang memanfaatkan kemampuan tanaman dalam mereduksi kontaminan. Proses ini melibatkan tanaman uji dan mikroorganisme yang berinteraksi satu sama lain. Efektivitasnya dipengaruhi beberapa faktor, yaitu jenis tanaman, jenis kontaminasi, kondisi lingkungan, sistem penanaman dan durasi perawatan (Rossiana et al, 2023).

## 2.5. Tanaman Sengon Butoh (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*)

Tanaman sengon butoh (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*) pada media *overburden* dengan pupuk memiliki kesamaan dengan media *top soil*. Memberikan bukti bahwa tanaman sengon butoh memiliki kemampuan untuk tumbuh dan adaptif terhadap tanah kritis. Sehingga memberikan umpan balik positif terhadap sifat-sifat tanah, memulihkan kesuburan dan memperbaiki iklim mikro tanah (Sukariyan, 2021). Tanaman sengon dapat meningkatkan kandungan nitrogen (Debell, 1998). Karena, tanaman sengon dapat mengikat unsur N bebas dari udara yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan aktifitas organisme dalam tanah (Herijanto, 2017). Nilai tambah lain adalah tanaman sengon memiliki karakteristik mampu berasosiasi dengan bakteri tanah sehingga dapat meningkatkan iklim simbiosis mikroorganisme pada lahan bekas tambang ((De Lajudie et al., 1994).

## 2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna sebagai referensi dan pembanding terhadap penelitian ini. Berikut daftarnya:

Tabel 2 Daftar penelitian terdahulu

No	Penulis	Tema Penelitian	Hasil
1	Armadi Chairunnas, Dr. rer. nat. Andhika Puspito Nugroho, M.Si. (2016)	Reklamasi lahan pasca tambang nikel dengan tanaman kehutanan dan pupuk kandang	Hasilnya pupuk kandang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan penyerapan logam berat Ni dan Cr karena beberapa perlakuan dapat meningkatkan biomassa tanaman, tinggi tanaman, jumlah daun tanaman dan panjang akar tanaman
2	Husni Thamrin S., Agus S., Tristi Indah D. K., (2010)	Pengaruh pemberian kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> L.) dan dosis pupuk N, P, K pada pertumbuhan dan hasil padi sawah ( <i>Oryza sativa</i> L.)	Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian pupuk kompos kayu apu pada dosis NPK 100% meningkatkan pertumbuhan tanaman padi dibandingkan tanpa pemberian kayu apu, kayu apu tumbuh bersama padi atau kayu apu ditanam. Dosis NPK 100% dan
3	Pieyani Rosawanti (2019)	Kandungan unsur hara pada pupuk organik tumbuhan air lokal	Pupuk organik kompos dan pupuk cair eceng gondok, kayu apu dan

No	Penulis	Tema Penelitian	Hasil
			kiambang memiliki unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Kandungan nitrogen, phospos dan kalium pupuk tersebut telah memenuhi standar yang berlaku sesuai Kepmen Pertanian

Berdasarkan penelitian terdahulu, didapatkan bahwa pada proses reklamasi pasca tambang di pertambangan nikel dengan pupuk kandang berhasil menurunkan kadar logam Cr dan Ni. Melihat potensi itu, pada penelitian ini ditambahkan juga inokulasi mikroba untuk menstimulasi proses perbaikan kualitas lahan bekas tambang di Pertambangan Nikel. Pada penelitian lainya juga membuktikan bahwa tanama apu- apu memiliki kandungan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk melalui pengomposan. Pada penelitian ini, dilakukan proses pengomposan dengan 2 produk yaitu, Pupuk Organik Padat (POP) dan Pupuk Organik Cair (POC).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

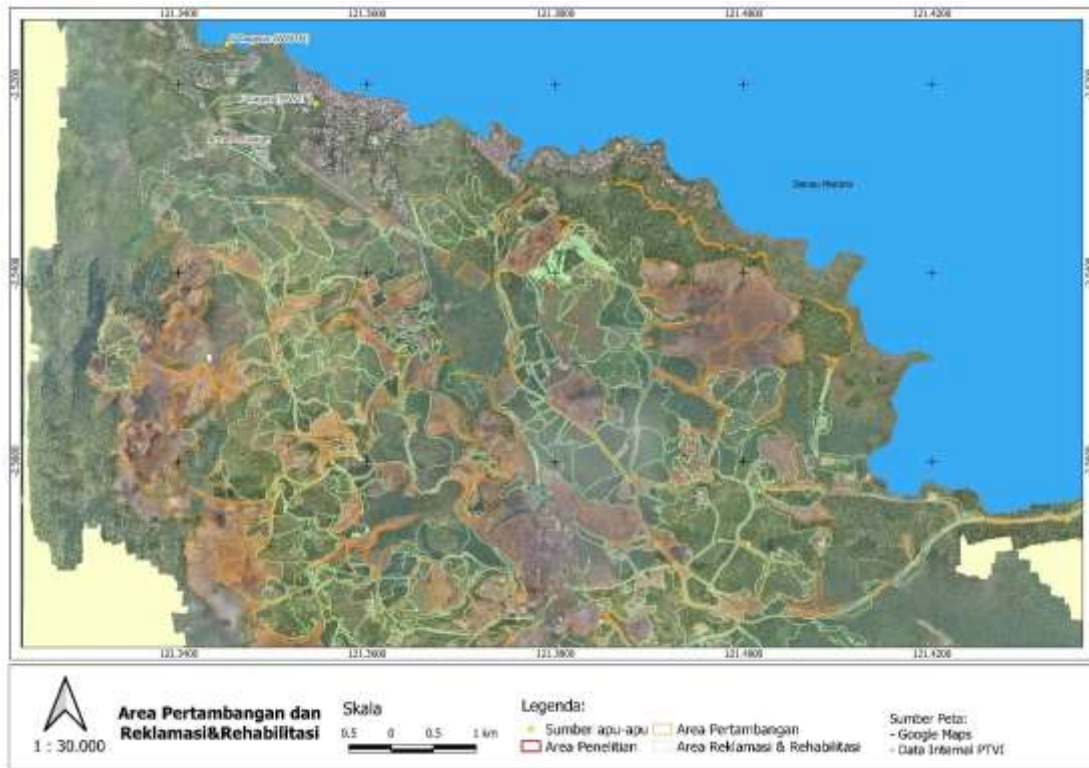
#### 3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di area pertambangan nikel PT Vale Indonesia yang terletak di site Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur Sulawesi Selatan. Peengomposan dilakukan di *Segregation Plant* sedangkan pengujian tanaman dilakukan di *Nursery* Taman Keaneragaman Hayati Sawerigading Wallacea ( $2^{\circ} 31' 32.89''$  S  $121^{\circ} 20' 47.28''$ )

Pengujian laboratorium pupuk organik cair, pupuk organik padat dan karakteristik tanah di laboratorium BBSJPPI Semarang sedangkan pengujian laboratorium tanah setelah treatment dilakukan di laboratorium *Process and Technology* PT Vale Indonesia. Untuk pengujian jaringan tumbuhan dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3 Area penelitian dan sumber tanaman apu-Apu di PT Vale Indonesia



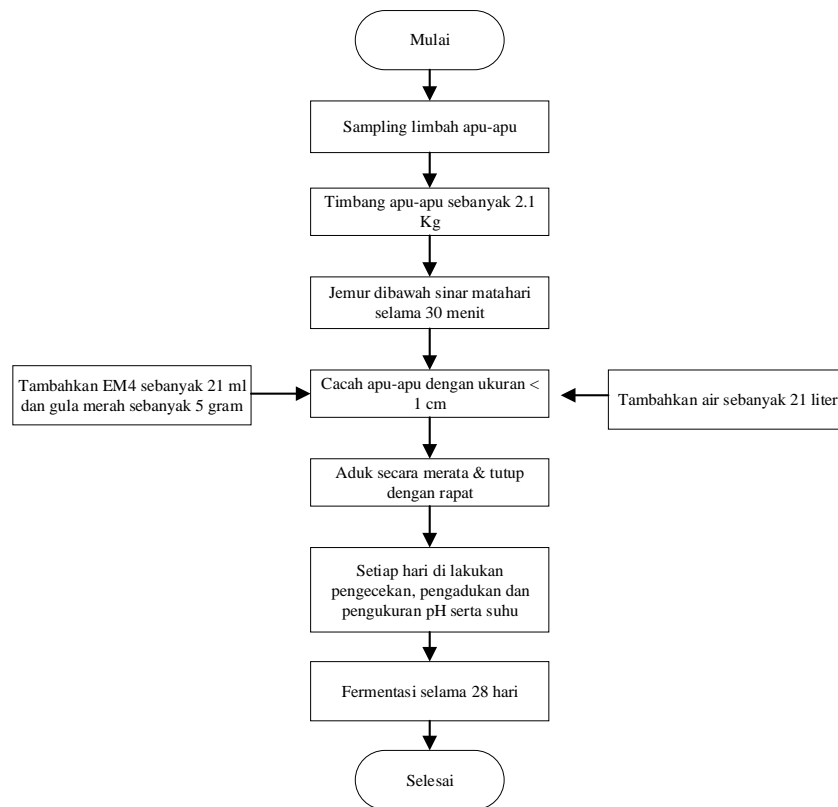
Gambar 4 Area penambangan dan reklamasi& rehabilitasi PT Vale Indonesia

### 3.2 Pembuatan Pupuk

Pengolahan limbah apu-apu dilakukan dengan memanfaatkan apu-apu menjadi pupuk organik melalui proses pengomposan. Prinsip dari pengomposan adalah menurunkan C/N bahan yang dikandung apu-apu hingga hampir sama dengan nisbah tanah (<20) dengan begitu nitrogen dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Indriani, 2002). Apu-apu diproses menjadi pupuk organik cair dan pupuk kompos padat :

#### 3.2.1 Pupuk Organik Cair

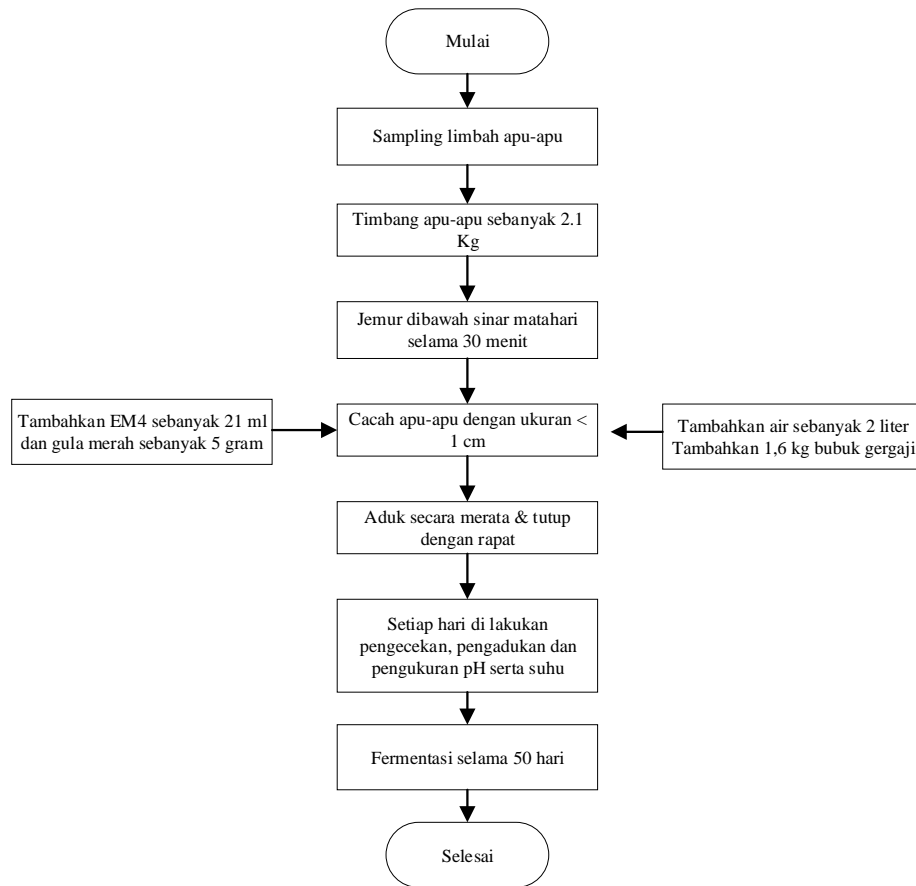
Seperti dalam penelitian sebelumnya (Pratiwi, dkk. 2020), Pembuatan pupuk organik cair dari apu-apu dimulai dengan membersihkan apu-apu sebanyak 2,1 kg, kemudian di jemur selama 30 menit untuk menurunkan kadar air yang ada. Setelah itu, dilakukan pencacahan dan penambahan sebanyak 21 ml EM4, 5-gram gula merah dan 3,2-liter air. Setelahnya, diaduk menjadi homogen dan dimasukkan ke dalam wadah untuk disimpan selama 28 hari dan dilakukan pengecekan pH setiap hari Adapun alur pembuatan pupuk organik cair seperti pada diagram berikut:



Gambar 5 Metode pembuatan pupuk cair (POC) apu-apu

### 3.2.2 Pupuk Organik Padat

Pembuatan pupuk organik padat sama seperti pupuk organik cair, namun perlu di tambahkan 1,6 kg bubuk gergaji dengan perbandingan 5:4 serta penambahan air sebanyak 5 liter. Setelahnya, diaduk menjadi homogen dan dimasukkan ke dalam wadah untuk disimpan selama 50 hari dan dilakukan pengecekan pH setiap hari (Rosawanti, 2019) seperti pada diagram berikut:



Gambar 6 Metode pembuatan pupuk organik padat (POP) apu-apu

### 3.2.3 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan pada tanah awal, kompos cair (POC), kompos padat (POP), tanah akhir dan jaringan tumbuhan. Pengujian dilakukan laboratorium BBSPJPPI Semarang, laboratorium Process and Technology PT Vale Indoensia dan Lab Teknik Lingkungan UII adapun metode yang digunakan sebagai berikut:

### 3.2.4 Pengujian Tanah Overburden

Kualitas organik tanah sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk berkembang, kadar C organik merupakan indikatornya (Mirwan, 2015). Selain itu, logam juga dibutuhkan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis, dibagi menjadi dua jenis yaitu, logam esensial dan non esensial (Darmono, 1995).

Maka perlu dilakukan pengujian kualitas overburden untuk dibandingkan sebelum dan sesudah perlakuan, dengan parameter dan metode pengujian seperti pada tabel berikut:

Tabel 3 Parameter dan metode pengujian tanah overburden

Parameter	Satuan	Metode
C Organik	%	AOAC 967.05,2000
Rasio C/N	-	Perhitungan
Kadar Air	%	SNI 7763:2018 butir 6.3
Kadar Abu	%	SNI 7763 : 2018 butir 6.5
Kadar Nitrogen (N)	%	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	SNI 7763 : 2018 butir 6.7
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	AOAC 983.02,2000
Jumlah N, P, K	%	Perhitungan
pH	-	AOAC 994.18,2000
Bahan Ikutan (Plastik, kaca dll)	%	AOAC 973.03,2000
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 6.7
Kadmium (Cd)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
Kromium (Cr)	mg/Kg	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
Nikel (Ni)	mg/Kg	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
Besi (Fe)	mg/Kg	AOAC 19th, 980.01, 2012, ch. 2, p.35
Seng (Zn)	mg/Kg	AOAC 19th, 975.02, 2012, ch. 2, p.40

### 3.2.5 Pengujian Pupuk Organik Cair

Pengujian parameter pupuk organik cair merujuk pada Peraturan Menteri Pertanian Nomor No 70 tahun 2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah dengan parameter dan metode seperti pada tabel berikut:

Tabel 4 Parameter dan metode pengujian pupuk organik cair (POC)

Parameter	Satuan	Metode
C Organik	%	walkley-black metode
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	SNI 2803 : 2012 butir 6.3
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	SNI 2803 : 2012 butir 6.4.2
Kadar Nitrogen N	%	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
Jumlah kadar N, P, K	%	Perhitungan
pH	-	SNI 6989.11:2019
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 butir 6.7
Kadmium (Cd)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
Kromium (Cr)	mg/Kg	SNI 7763 : 2018 butir 6.8.2
Nikel (Ni)	mg/Kg	SNI 7763 : 2018 butir 6.8.2

### 3.2.6 Pengujian Pupuk Organik Padat

Pengujian parameter pupuk organik cair merujuk pada Peraturan Menteri Pertanian Nomor No 70 tahun 2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah dengan parameter dan metode seperti pada tabel berikut:

Tabel 5 Parameter dan metode pengujian pupuk organik padat (POP)

Parameter	Satuan	Metode
C Organik	%	AOAC 967.05,2000
Rasio C/N	-	Perhitungan
Kadar Air	%	SNI 7763:2018 butir 6.3
Kadar Abu	%	SNI 7763 : 2018 butir 6.5
Kadar Nitrogen (N)	%	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	SNI 7763 : 2018 butir 6.7
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	AOAC 983.02,2000
Jumlah N, P, K	%	Perhitungan
pH	-	AOAC 994.18,2000
Bahan Ikutan (Plastik, kaca dll)	%	AOAC 973.03,2000
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 6.7
Kadmium (Cd)	mg/Kg	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
Kromium (Cr)	mg/Kg	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
Nikel (Ni)	mg/Kg	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
Besi (Fe)	mg/Kg	AOAC 19th, 980.01, 2012, ch. 2, p.35
Seng (Zn)	mg/Kg	AOAC 19th, 975.02, 2012, ch. 2, p.40

### 3.3 Pengujian Pupuk pada Tanaman

Pengujian skala nursery ini dilakukan dengan menggunakan tanaman Sengon Butoh (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*) dengan media berupa tanah *overburden* yang ditambah pupuk apu-apu cair (POC) dan padat (POP) yang diperkaya dengan mikroorganisme endofit PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) dan mikoriza dalam mendukung peningkatan ketersediaan unsur hara, meningkatkan kemampuan penyerapan air, serta memperbaiki struktur tanah dengan perlakuan seperti dibawah:

#### 3.3.1 Persiapan Persemaian

Persiapan persemaian dilakukan diarea Nursery PT Vale Indonesia. Penelitian ini menggunakan bibit dengan pola teknik generatif yakni benih sengon butoh. Tahapan dalam proses persemaian dimulai dari perendaman benih sengon butoh selama 2 hari. Kemudian memilih benih yang tidak terendam. Tahapan selanjutnya dikeringkan dibawah matahari selama 7 hari. kemudian, benih sengon butoh ditabur

di bedengan selama 7 hari. Setelah tumbuh pucuk, benih sengan butoh dipindahkan *germination house* menggunakan media eksisting nursery PT Vale Indonesia.

### 3.3.2 Persiapan Media Tanam

Media tanam dalam penelitian ini menggunakan tanah overburden yang diambil dari area disposan konde north area pertambangan nikel di PT Vale Indonesia. Tanah overburden pertama dilakukan pengayakan menggunakan *waring mesh* untuk memisahkan batuan dengan tanah. tanah overburden memiliki karakteristik tanah lempungan sehingga untuk meningkatkan nilai porositas tanah, dilakukan penambahan pasir dengan perbandingan 1:4.

### 3.3.3 Pembuatan Inokulum Mikroba

Inokulum mikroba merupakan proses pengayaan mikroorganisme sebelum digunakan pada tahap persemaian. Adapun metode inokulum PGPR dan Mikoriza seperti berikut:

a. PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Persiapan inokulum PGPR dimulai dengan langkah pemindahan mikroorganisme utama ke media yang segar. Proses pemindahan mikroorganisme ini dilakukan dalam fasilitas laminar air flow dengan menggunakan media NA (Nutrient Agar) yang telah disterilkan. Setelah itu, mikroorganisme utama diambil dan ditempatkan ke dalam piring petri yang berisi media NA. Begitu mikroorganisme utama telah dipindahkan ke media NA, piring tersebut dibungkus dengan kertas dan dibiarkan dalam inkubasi selama satu hari. Selanjutnya, mikroorganisme yang telah dipilih diambil dari media NA dan dimasukkan ke dalam larutan media NaCl sebagai media pembawa, kemudian dihomogenkan menggunakan shaker pada kecepatan 130 rpm selama 24 jam (Wulandari et al, 2014).

b. Arbuskular Mikoriza

Persiapan untuk inokulum fungal arbuscular mikoriza dilakukan dengan menanam benih sorgum dan menggunakan zeolit sebagai tempat tumbuh. Benih sorgum ditanam dalam zeolit, dan setelah dua minggu berlalu, inokulum arbuscular mikoriza ditambahkan. Selama tahap ini, benih disiram secara teratur setiap dua hari, dan setelah dua bulan, tanaman sorgum siap dipanen sedangkan media zeolit disimpan dalam kantong plastik ziplock untuk menghindari kontaminasi (Wulandari et al, 2014).

### 3.3.4 Penanaman di Persemaian dan Inokulasi Mikroba

Tanah yang telah dipersiapkan sebelumnya selanjutnya akan dilakukan persemaian bibit kayu sengon butoh, namun sebelum dilakukan penanaman bibit ditambahkan perlakuan penambahan POC, POP, PGPR dan Mikoriza dengan variasi sebanyak 7 perlakuan dengan perlakuan tiga ulangan setiap perlakuan. Adapun variasi perlakuan sebagai berikut:

Tabel 6 Variasi perlakuan pada penelitian pemanfaatan apu-apu (*pistia statiotes*) untuk rehabilitasi tambang nikel skala persemaian

Kode	Overburden (gr)	POC Apu- Apu (ml)	POP Apu- Apu (gr)	PGPR (ml)	MikorizOa (gr)
AC0	300				
AA2	300	30			
AB2	300	15		20	
AC2	300	15			20
BA2	300		30		
BB2	300		15	20	
BC2	300		15		20

Tanaman yang ada didalam media kemudian diberikan pada naungan screen nursery PT Vale Indonesia selama 12 minggu dimana dalam nursery menggunakan penyiraman secara otomatis dan dilakukan pengambilan data berupa tinggi tanaman serta diameter setiap satu minggu sekali seperti yang tertera dalam berikut:

Tabel 7 Parameter dan metode pegujian pertumbuhan tanaman

Parameter	Metode	Frekuensi
Diameter Tanaman	Digital Caliper	Setiap 7 hari
Tinggi Tanaman	Mistar	Setiap 7 hari

### 3.3.5 Pemanenan

Tahapan ini proses pemanenan dilakukan setelah 3 bulan penanaman di area nursery PT Vale Indonesia. Pada pemanenan ini akan diambil tanaman dan tanah. masing-masing operlakukan dilakukan pengemasan dengan menggunakan plastik vakum sebelum dikirim ke laboratorium untuk pengujian lanjutan.

### 3.3.6 Analisis Serapan Logam

Hasil tanaman yang telah dipanen kemudian dilakukan pencucian pada air yang mengalir hingga bersih, kemudian dilakukan pemotongan pada jaringan atas (batang dan daun) dan jaringan bawah (akar). Kedua jaringan tersebut kemudian dilakukan penimbangan dan dicatat sebagai timbangan basah (Hb). Tanaman yang telah ditimbang kemudian dimasukan dalam oven 105°C selama 10 jam untuk menghilangkan kadar air dalam jaringan. Setelah itu jaringan atas dan jaringan bawah dilakukan penimbangan dan dicatat sebagai timbangan kering (Hk).

Tanaman yang telah dikeringkan kemudian dilakukan pengujian laboratorium kualitas lingkungan FTSP UII. Dimana uji logam berat dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Absorpsi Atom (AAS). Pertama, melakukan teknik destruksi dengan melarutkan jaringan dalam larutan HNO<sub>3</sub> dan HClO<sub>4</sub> serta air suling dan kemudian disaring kemudian filtrat dibaca melalui AAS.

### 3.4 Pengujian Karakteristik Tanah Akhir

Setelah penelitian skala lapangan selesai, sampel tanah dan jaringan tumbuhan akan dilakukan pengujian laboratorium di laboratorium *Process and Technology* PT Vale Indonesia Tbk. Untuk pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan dengan parameter uji sebagai berikut :

Tabel 8 Parameter dan metode pengujian sampel tanah dan jaringan tumbuhan

Parameter	Satuan	Metode
C Organik	%	AOAC 967.05,2000
pH		AOAC 994.18,2000
Kadmium (Cd)	mg/L	SNI 2803 : 2012
Kromium (Cr)	mg/L	SNI 7763 : 2018
Nikel (Ni)	mg/L	SNI 7763 : 2018
Seng (Zn)	mg/L	AOAC 19th, 980.02, 2012,
Besi (Fe)	mg/L	AOAC 19th, 980.01, 2012,

### 3.5 Karakteristik Serapan Logam Pada Jaringan Tanaman

Serapan logam pada jaringan tanaman dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis logam, struktur tanaman, konsentrasi logam di tanah, pH tanah, dan mekanisme adaptasi tanaman dalam mengatur penyerapan dan akumulasi logam (Zhao, F.J., et al., 2017).

### 3.5.1. Perhitungan Faktor Transport

Nilai pada faktor transport (TF) digunakan untuk mengetahui jumlah logam berat yang ditransformasikan dari akar menuju daun. Dimana apabila nilai  $TF > 1$  artinya menggunakan mekanisme fitoekstraksi, namun jika  $TF < 1$  maka artinya adalah mekanisme fitostabilisasi.

$$Tf = \frac{\text{Konsentrasi logam dalam jaringan atas (batang dan daun) } (\frac{mg}{kg})}{\text{Konsentrasi logam dalam jaringan bawah (akar tanaman) } (\frac{mg}{kg})}$$

### 3.5.2. Perhitungan Biokonsentrasi

Penyerapan logam pada biomassa tanaman uji sengon terjadi akibat proses fitoremediasi. Fitoremediasi terjadi karena kemampuan tanaman uji dalam menyerap logam-logam berat bersifat sebagai fitoakumulator (Udiharti, 1992).

Prinsip biofitoremediasi dibagi dalam tiga kategori berdasarkan nilai biokonsentrasi (BCF) yang diperoleh yaitu sebagai *metal akumulator* ( $BCF > 1$ ), sebagai *metal excluder* ( $BCF < 1$ ) dan *metal indicator* ( $BCF$  mendekati satu (Sari *et al.*, 2017)). Adapun perhitungan dengan menggunakan rumus:

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi logam dalam akar + konsentrasi batang tanaman } (\frac{mg}{kg})}{\text{Konsentrasi logam dalam tanah } (\frac{mg}{kg})}$$

## 3.6 Analisis Komparasi Biaya Operasional

Analisis komparasi biaya dilakukan dengan menggunakan metode *Cost Comparison Analysis*. Analisis ini sering digunakan dalam pengambilan keputusan yang melibatkan pemilihan antara beberapa solusi atau strategi operasional (Chong & Zolkepli, 2017). Pada penelitian ini didasarkan pada biaya operasional yang digunakan oleh PT Vale Indonesia dalam pengelolaan nursery seperti biaya media tanam, biaya germination house, biaya perawatan tanaman. Kemudian akan dilakukan perbandingan antara biaya eksisting dengan biaya percobaan.

## **BAB IV**

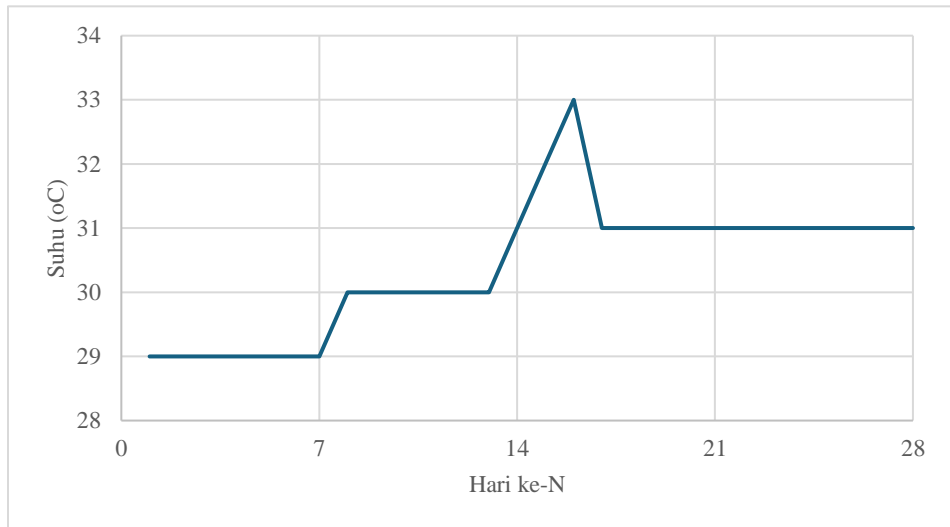
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Kompos Apu-Apu**

Mikroorganisme di dalam kompos menggunakan oksigen untuk menguraikan bahan organik menjadi CO<sub>2</sub> + uap air + panas. Kenaikan suhu menandai aktivitas yang tinggi dalam kompos, setelahnya akan mengalami penurunan suhu dan masuk pada fase pematangan (Isroi, 2005). Dekomposisi nitrogen menjadi amonia oleh mikroorganisme pada proses dekomposisi ditandai dengan kenaikan tingkat keasaman (Nuraini, 2009). Amonia merupakan senyawa kimia yang bersifat basa, kenaikan pH terjadi akibat meningkatnya proses reaksi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan pH, suhu dan C Organik untuk menilai keberhasilan proses dekomposisi tanaman apu-apu oleh mikroorganisme. Proses dekomposisi akan dilakukan menjadi dua produk, yaitu Pupuk Organik Cair (POC) dan Pupuk Organik Padat (POP).

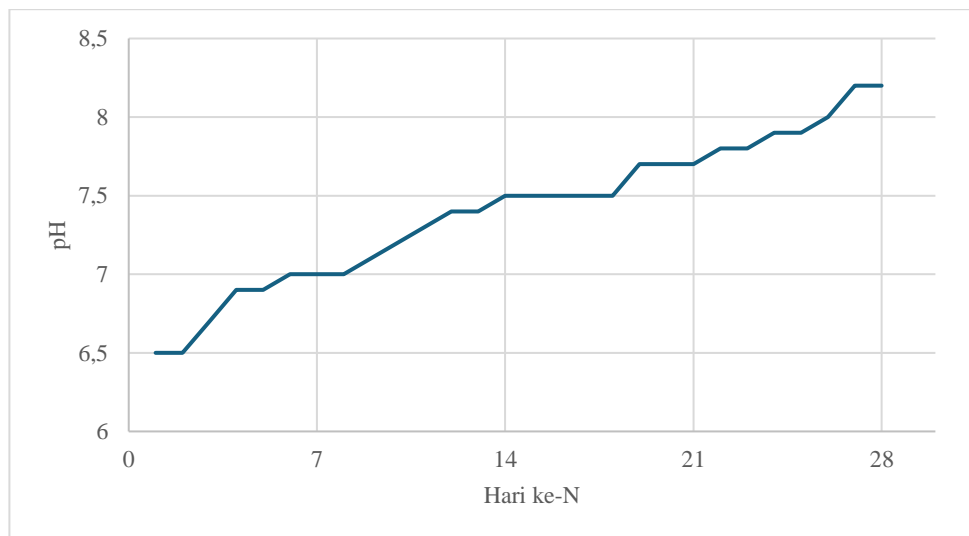
##### **a. Pupuk Organik Cair**

Pada gambar 7 dibawah menunjukkan adanya kenaikan suhu sejak hari ke- 1 hingga hari ke-14. Pada hari ke-14 terjadi kenaikan suhu yang signifikan di nilai 33°C menunjukkan adanya pertumbuhan mikroorganisme yang tinggi dan proses penguraian materi organik semakin banyak. Pada hari ke-17 terjadi penurunan suhu menjadi 31°C disebabkan oleh berkurangnya sumber energi pada kompos. Penurunan suhu setelah mencapai titik puncak menandakan bahwa kompos telah masuk pada fase pematangan (Dewilda, 2017). Pada hari ke -21 terjadi proses pematangan berlangsung pada Pupuk Organik Cair (POC) hingga hari ke-28.



Gambar 7 Perubahan suhu pada pembuatan pupuk organik cair (POC) dengan bahan apu-apu

Sedangkan pada proses pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) yang dilakukan pengamatan selama 28 hari. Menunjukkan adanya peningkatan nilai pH sejak hari ke-1 hingga hari ke-28. Menunjukkan bahwa tingginya aktivitas mikroorganisme pada POC. Kenaikan ini membuktikan tingginya kandungan organik pada tanaman apu-apu yang telah didekomposisi oleh mikroba. kadar Nitrogen pada kompos diurai oleh mikroba menjadi ammonia yang bersifat basa (Nuraini, 2009).



Gambar 8 Perubahan nilai pH pada pembuatan pupuk organik cair (POC) dengan bahan apu-apu

Setelah dilakukan pengamatan selama 28 hari, dan dinyatakan telah matang. Berikut hasil pengujian kandungan POC sebelum diaplikasikan ke tanah seperti pada tabel 9.

Tabel 9 Hasil uji karakteristik dan kandungan pupuk organik cair (POC) dari tanaman apu-apu

Parameter	Satuan	Hasil	Standar PERMENTAN 70 Tahun 2011
C Organik	%	0,071	Min 6
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,096	3 - 6
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	0,195	3 - 6
Kadar Nitrogen N	%	0,021	3 - 6
Jumlah kadar N, P, K	%	0,312	-
pH	-	8,34	4,0 - 9,0
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	< 0,010	-
Kadmium (Cd)	mg/Kg	< 0,040	-
Kromium (Cr)	mg/Kg	< 0,240	-
Nikel (Ni)	mg/Kg	< 0,440	-

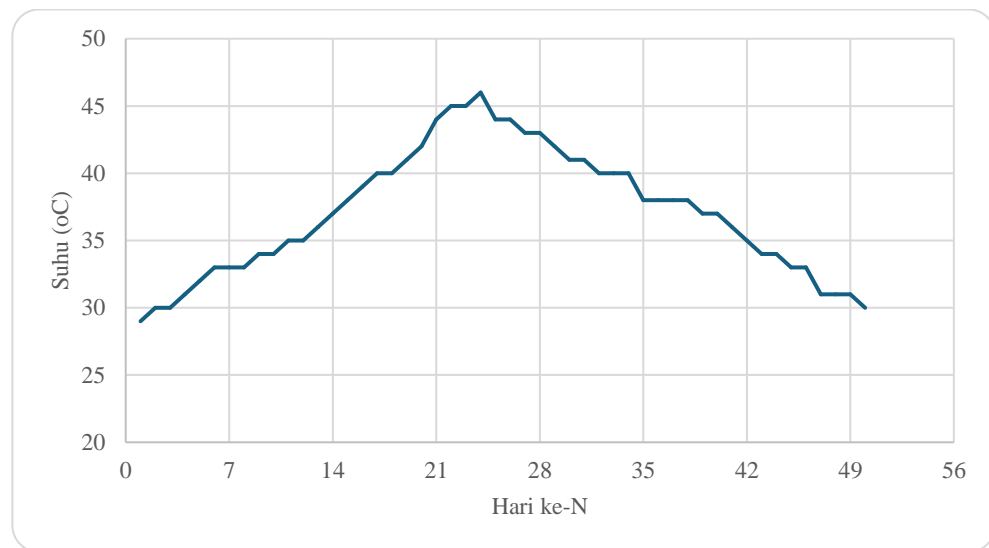
Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, pupuk organik cair (POC) dari tanaman apu-apu ini masih belum memenuhi standar pupuk organik cair berdasarkan Lampiran I.2 Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70 Tahun 2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah. hasil pengujian C organik sebesar 0,071% sedangkan dalam standar adalah minimal 6% selain itu, komponen N, P dan K juga dibawah standar pupuk organik cair. Hal tersebut juga diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pratiwi, 2020) dimana hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai karbon (C) sebesar 4,5% Nitrogen (N) sebesar 0,06%, Nilai fosfor (P) sebesar 0,09% serta nilai potasium (K) sebesar 0,06%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan nilai C, N, P dan K pada memiliki kemiripan dimana masih dibawah standar permentan nomor 70 tahun 2011.

Namun demikian, berdasarkan hasil analisis logam tidak ada yang menunjukkan tendensi tinggi hal ini dikarenakan pada proses pengomposan pH terendah berada di rentang nilai 6 - 8 dan tidak cukup asam untuk terjadi proses *leaching* pada logam yang ada di apu-apu. Proses *leaching* logam berat biasanya berlangsung pada tingkat pH yang lebih rendah, sekitar pH 4 hingga

5, di mana logam-logam tersebut lebih mudah larut dalam bentuk ion (Alloway, 1995).

b. Pupuk Organik Padat

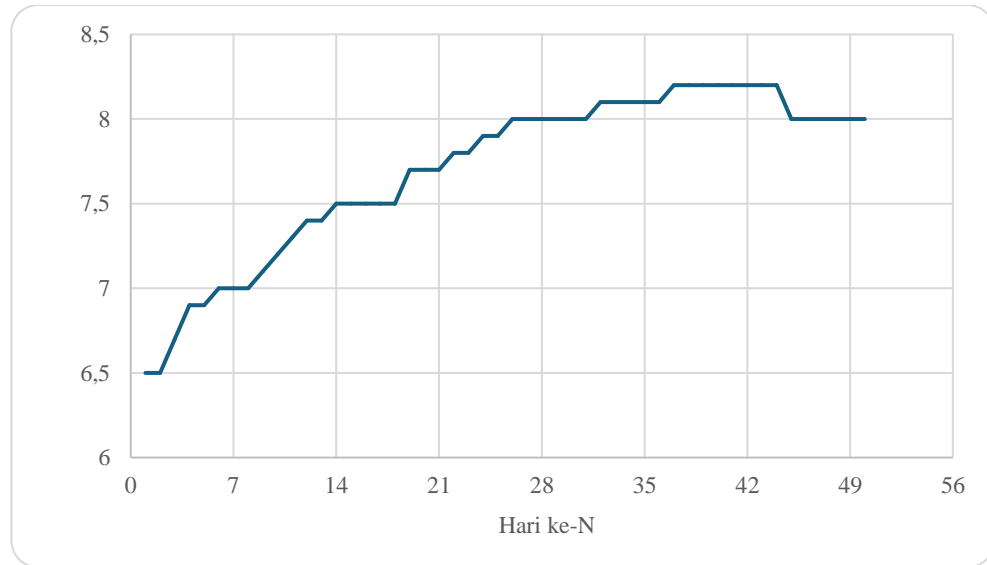
Proses dekomposisi bahan organik pada aktivitas metabolisme mikroorganisme menghasilkan panas dari hasil penggunaan oksigen (Sayara *et al*, 2020), Pada gambar 9, menunjukkan kenaikan suhu pada proses pembuatan Pupuk Organik Padat (POP), Sejak hari ke-1 suhu beranjak naik dan puncaknya pada hari ke-24 di suhu 46°C pada fase ini mikrobakteri melakukan penguraian bahan organik dan turun kembali ke suhu awal 30°C, Setelah fase termofilik selesai, suhu pada bahan kompos akan perlahan menurun hingga mencapai fase pematangan (Antunes *et al*, 2016), Penurunan suhu pada hari ke-25 hingga hari ke-50 menunjukkan proses pematangan pada POP,



Gambar 9 Perubahan suhu pada pembuatan pupuk organik padat (POP) dengan bahan apu-apu

Pada proses dekomposisi bahan organik, pH menjadi indikator untuk kematangan kompos, Pada gambar 10 memperlihatkan adanya kenaikan pH sejak hari ke-1 hingga hari ke-44, Kenaikan pH terjadi karena proses pemecahan nitrogen menjadi amonia dan gas nitrogen oleh mikrobakteria (Isroi, 2008), Peningkatan pH pada pembuatan kompos disebabkan oleh produksi amonia yang bersifat basa selama proses dekomposisi bahan organik, terutama ketika bahan kaya nitrogen digunakan dalam jumlah berlebihan (Rynk, 1992). Setelah hari ke-44 terjadi pergantian proses dari termofilik ke mesofilik, Pergantian ini mengakibatkan penurunan nilai pH, pada grafik

dibawah hari ke-45 sampai hari ke-50, Fase ini merupakan fase pematangan dengan pH akhir POP di nilai 8 seperti pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10 Perubahan nilai pH pada pembuatan pupuk organik padat (POP) dengan bahan apu-apu

Proses pembuatan Pupuk Organik Padat dilakukan selama 50 hari dan dinyatakan matang. Berikut hasil pengujian untuk mengukur kandungan POP sebelum diimplementasikan ke tanah.

Tabel 10 Hasil uji karakteristik dan kandungan pupuk organik padat (POP) dari tanaman apu-apu

Parameter	Satuan	Hasil	Standar PERMENTAN 70 Tahun 2011
C Organik	%	19,08	Min 15
Rasio C/N	-	4,603	15 - 25
Kadar Air	%	85,26	15 - 25
Kadar Abu	%	18,2	-
Kadar Nitrogen (N)	%	4,146	-
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	2,892	-
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	3,88	-
Jumlah N, P, K	%	10,92	Min 4
pH	-	8,65	4 - 9

Parameter	Satuan	Hasil	Standar PERMENTAN 70 Tahun 2011
Bahan Ikutan (Plastik, kaca dll)	%	12,17	Maks 2
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	0,495	Maks 10
Kadmium (Cd)	mg/Kg	<0,271	Maks 2
Kromium (Cr)	mg/Kg	86,84	-
Nikel (Ni)	mg/Kg	540,8	-
Besi (Fe)	mg/Kg	14050	Maks 9000
Seng (Zn)	mg/Kg	318,8	Maks 5000

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada tabel 10 diketahui jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70 Tahun 2011 dalam lampiran I.1 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah maka nilai dari C/N rasio tidak memenuhi standar pembenh tanah hal tersebut dikarenakan terjadi karena mengandung lebih banyak nitrogen dibandingkan karbon, yang cenderung menghasilkan proses dekomposisi yang cepat, tetapi dapat menyebabkan bau amonia karena kelebihan nitrogen yang tidak seimbang. Kompos dengan C/N rendah juga bisa disebabkan karena kompos terlalu basah dikarenakan kandungan air pada apu-apu sangat tinggi. Selain itu, kandungan Besi pada kompos juga tinggi hal ini dikarenakan apu-apu sebelumnya digunakan sebagai bioremediasi pada air limbah dengan karakteristik Fe yang tinggi sehingga terabsorpsi kebadan tanaman.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Suwahyono, 2011) bahwa kandungan kompos POC antara lain N (1,60%), P (0,49%), K (2,04%) dan kandungan lain seperti Mg (1,82%) serta Ca (3,95%) yang berfungsi sebagai metabolisme bagi tanaman. Maka, berdasarkan hasil penelitian sebelumnya bahwa kandungan pada pupuk apu-apu yang dibuat ini masih memiliki kandungan organik yang bagus bagi tanaman.

Hasil pengujian kandungan pupuk organik padat (POP) dan pupuk organik cair (POC) menjadi justifikasi awal untuk menilai kemampuan kedua pupuk ini sebagai bahan pembenh tanah kritis *overburden* dari pertambangan PT Vale Indonesia, Dinilai dari nilai C Organik yang terkandung, POP menunjukkan tendensi yang lebih bagus dibandingkan dengan POC, dengan nilai C Organik POP 19,80% berbanding POC 0,071%.

#### 4.2. Komposisi perbaikan tanah uji

Objek perbaikan tanah pada penelitian ini adalah *overburden* dari sisa kegiatan pertambangan, tanah *overburden* ini diambil di area *disposal Konde North* di area pertambangan Pt Vale Indonesia. tanah *overburden* merupakan tanah dengan kandungan nikel rendah namun memiliki logam pengikut. Hasil pengujian laboratorium karakteristik *overburden* dapat dilihat pada tabel 11 sebagai berikut:

Tabel 11 Hasil pengujian laboratorium karakteristik *overburden*

Parameter	Satuan	Hasil
C Organik	%	4,663
Rasio C/N	-	10,12
Kadar Air	%	65,46
Kadar Abu	%	26,5
Kadar Nitrogen (N)	%	0,628
P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,256
K sebagai K <sub>2</sub> O	%	0,012
Jumlah N, P, K	%	0,898
pH	-	6,01
Bahan Ikutan (Plastik, kaca dll)	%	3,004
Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	2,359
Kadmium (Cd)	mg/Kg	<0,054
Kromium (Cr)	mg/Kg	1736
Nikel (Ni)	mg/Kg	1098
Besi (Fe)	mg/Kg	88433

Berdasarkan Tabel 11 diketahui bahwa tanah *overburden* bekas tambang nikel memiliki karakteristik tanah yang kritis dengan kandungan C organik rendah sebesar 4,66% dengan nilai NPK hanya sebesar 0,89% yang artinya kandungan unsur hara dalam tanah sangat minim sehingga perlu penambahan bahan organik yang tinggi untuk memperbaiki tanah *overburden* bekas tambang nikel.

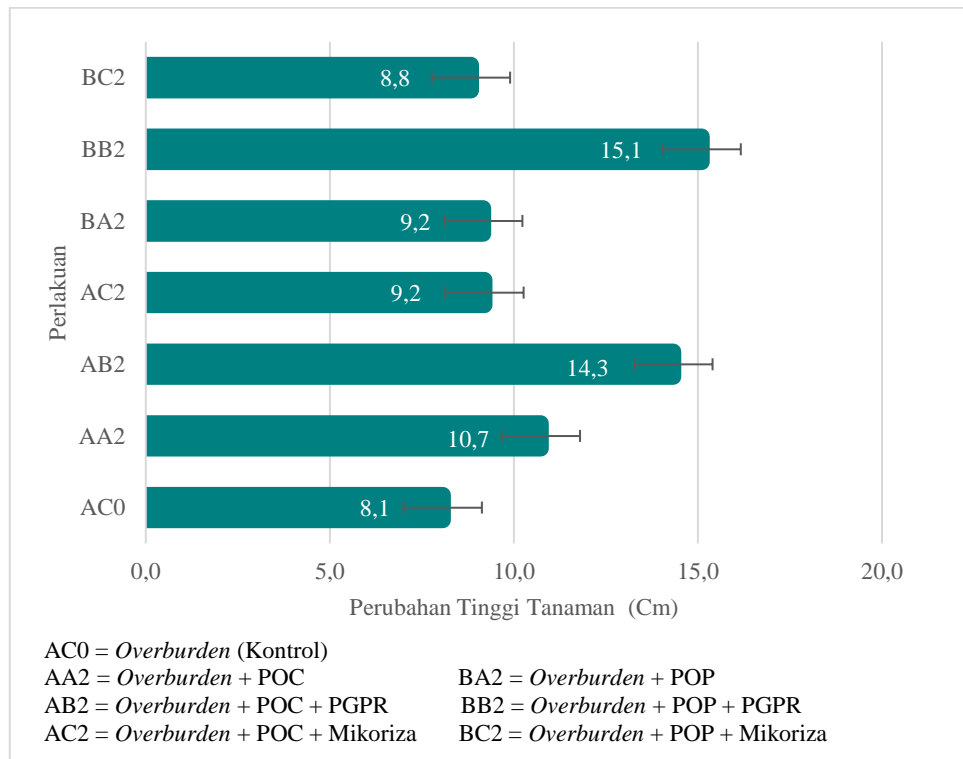
Selain itu, kandungan logam berat juga sangat tinggi. Kandungan logam berat ini erat kaitannya dengan logam pengikut dalam ekstraksi bijih nikel. Adapun kandungan logam yang tinggi adalah Fe, Ni, Cr dan As. Tingginya kandungan Cr dan Fe pada tanah uji membutuhkan perlakuan lebih dengan bantuan inokulasi PGPR dan Mikoriza.

#### 4.3. Hasil Parameter Tanaman Skala Persemaian

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman sengon butoh, tanaman ini dipilih karena memiliki kemampuan untuk tumbuh dan adaptif terhadap tanah kritis. Sehingga memberikan umpan balik positif terhadap sifat-sifat tanah, memulihkan kesuburan dan memperbaiki iklim mikro tanah (Sukariyan, 2021). Selain itu, tanaman sengon memiliki karakteristik mampu berasosiasi dengan bakteri tanah sehingga dapat meningkatkan iklim simbiosis mikroorganisme pada lahan berkas tambang (De Lajudie et al., 1994). Pada penelitian ini, dilakukan inokulasi PGPR dan Mikoriza dengan beberapa perlakuan di skala persemaian dengan parameter tumbuhan berupa tinggi tanaman dan diameter tanaman dipantau selama 12 minggu.

Berdasarkan data lapangan, hasil pertumbuhan tinggi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan secara keseluruhan memberikan tendensi yang lebih baik dibandingkan dengan tidak sama sekali. Hal ini membuktikan bahwa adanya mekanisme distribusi unsur hara yang bersumber dari pupuk organik baik padat maupun cair yang diberikan. Perubahan pertumbuhan tinggi tanaman pada kontrol dengan tidak menggunakan jenis pupuk apapun (AC0) sebesar 8,1 cm. Sedangkan pada perlakuan lain pertumbuhan menunjukkan hasil yang lebih baik dari kontrol.

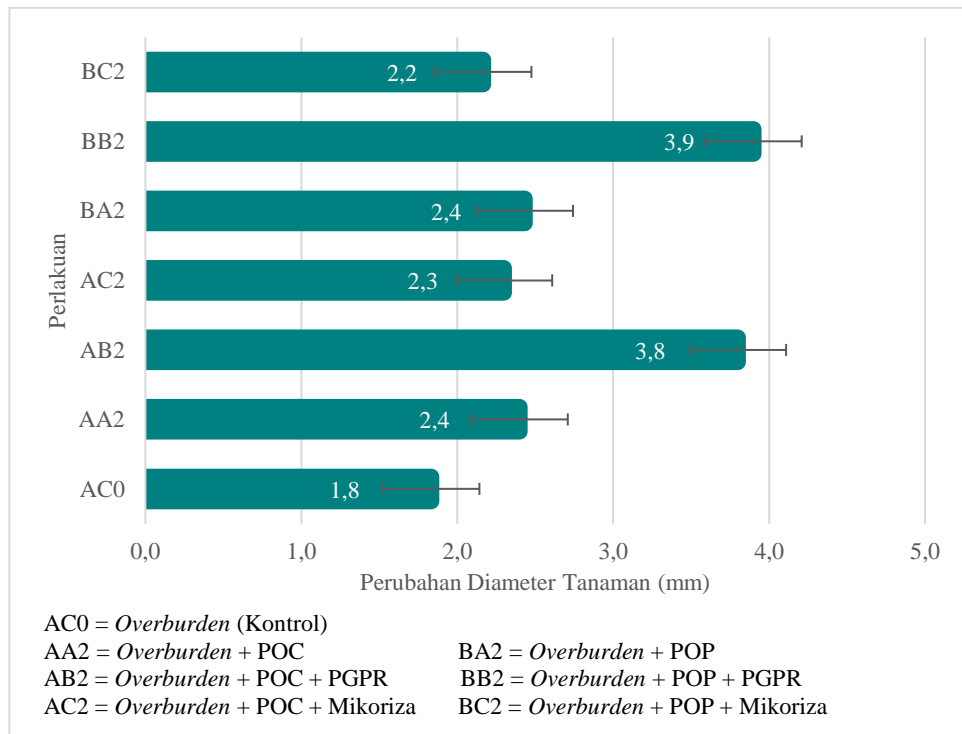
Hasil perubahan tinggi pada Perlakuan AA2 sebesar 10,2 cm, AB2 sebesar 14,3 cm, AC2 sebesar 9,2 cm, BA2 sebesar 9,2 cm, BB2 sebesar 15,1 cm, BC2 sebesar 8,8 cm. Perlakuan dengan inokulasi PGPR dan Mikoriza memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman. Berdasarkan hasil dibawah, simbiosis PGPR dengan tanaman sengon lebih baik dibandingkan dengan mikoriza. Komposisi mikoriza terbaik yaitu pada perlakuan AC1 dengan hasil 9,2 cm berbanding dengan komposisi PGPR pada AB2 14,3 cm dan BB2 sebesar 15,1 cm. Inokulasi bakteri PGPR pada tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan dapat menstimulasi mekanisme mikoriza sebagai biofertilizer, penghancur racun racun dan antipatogen bagi tanaman (Nakkeeran *et al*, 2005).



Gambar 11 Perubahan nilai tinggi tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Pada gambar 11, disimpulkan bahwa perlakuan BB2 merupakan Pupuk Organik Padat (POP) sebanyak 15ml dengan inokulasi bakteri PGPR 20ml memberikan dampak paling baik dengan perubahan nilai tinggi 15,1 cm. Hal ini disebabkan oleh kemampuan bakteri PGPR yang mampu mengkolonisasi akar tanaman dan mensintesis metabolit yang meningkatkan pertumbuhan tanaman (Khalid *et al.*, 2004), Bakteri PGPR menghasilkan fitohormon berupa IAA (*Indole Acetice Acid*), giberelin dan sitokinin (Karmila *et al.*, 2023), Hormon IAA berguna dalam perpanjangan sel di daerah meristem apical (Marom *et al.*, 2017) dan giberelin dapat merangsang perpanjangan sel di seluruh batang (Wicaksono *et al.*, 2016),

Selain tinggi tanaman, percobaan ini juga melakukan pengukuran pada diameter tanaman yang diamati selama 12 minggu. Hasilnya memberikan tendensi yang serupa dengan aspek tinggi tanaman. Hampir semua memberikan tendensi yang baik dibandingkan dengan kontrol (AC0). Baik PGPR maupun mikoriza memberikan dampak yang baik dalam distribusi unsur hara ke tanaman uji. Dua teratas yaitu AB2 (POC 15ml + PGPR 20ml) sebesar 3,8 cm dan BB2 (POP15ml + PGPR 20ml) sebesar 3,9 cm.



Gambar 12 Perubahan nilai diameter tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Hormon sitokinin dapat mencegah penuaan pada sel-sel kambiun, sehingga meningkatkan aktivitas pembelahan sel dan pembentukan jaringan jaringan secara terus-menerus secara simultan menambah diameter batang (Ernita *et al.*, 2023), PGPR juga mendorong pertumbuhan diameter tanaman melalui mekanisme fiksasi nitrogen (Ardakani *et al.*, 2010) pelarutan nutrisi dan pelarutan nutrisi lainnya (Hayat *et al.*, 2010).

#### 4.4. Hasil Pembahasan Biofitoremediasi

Biofitoremediasi merupakan gabungan antara bioremediasi dan fitoremediasi untuk menurunkan polutan dalam tanah. Tanaman digunakan untuk menyerap, mengubah, atau mengisolasi polutan, seperti logam berat, pestisida, atau bahan kimia berbahaya lainnya. Proses ini melibatkan kemampuan alami tanaman untuk memfilter dan membersihkan polutan melalui akar, daun, dan jaringan lainnya (Cunningham & Berti, 2000). Bioremediasi berfungsi untuk menguraikan polutan organik dan mengurangi kontaminasi logam berat dengan memanfaatkan mikroorganisme, yang menjadikannya sebagai metode yang ramah lingkungan dan ekonomis untuk membersihkan lingkungan yang tercemar (Vidali, 2001).

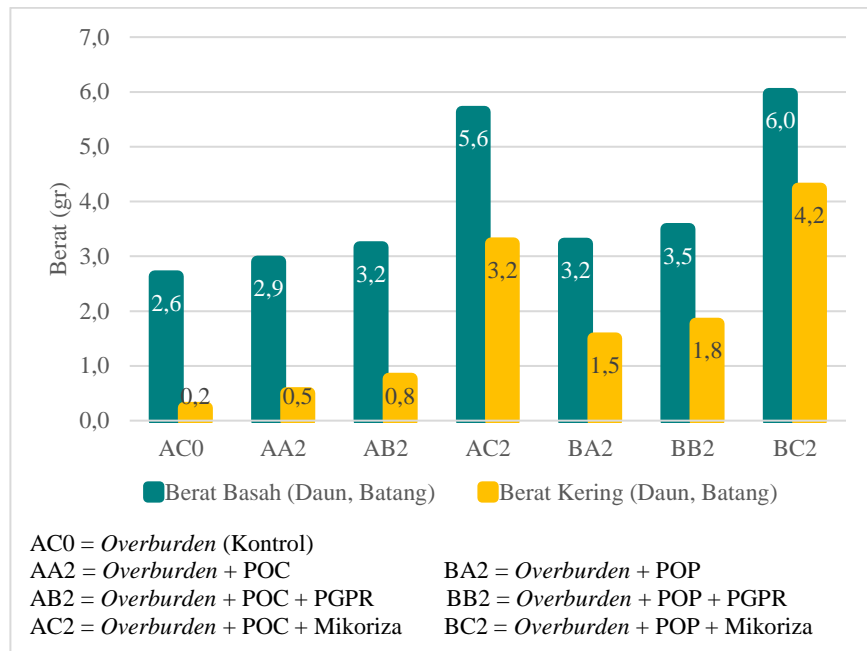
#### **4.4.1 Hasil Pembahasan Biomassa tanaman dan tanah**

Biomassa tanaman merupakan indikator untuk menentukan keberhasilan akumulasi status nutrisi pada tanaman begitu pula dengan tanah. Pada penelitian ini, akan dilakukan pengamatan pada biomassa tanaman, C Organik tanah dan pH tanah setelah perlakuan. Hasil analisisnya sebagai berikut

##### **a. Biomassa tanaman**

Pada gambar 13 grafik dibawah dapat dilihat bahwa berat basah dan berat kering semua perlakuan menunjukkan hasil diatas kontrol (AC0). Artinya tanaman uji sengon dapat tumbuh lebih baik dengan menggunakan pupuk padat maupun pupuk cair. Terlebih lagi dengan adanya perlakuan inokulasi PGPR maupun Mikoriza. Dua perlakuan terbaik yaitu, BC2 ( POP 15ml + Mikoriza 20ml) sebesar 6 cm dan AC2 ( POC 15ml + Mikoriza) sebesar 5,6 cm . Sejalan dengan penelitian (Roy *et al.*, 2006) mengatakan mikoriza peranannya dalam distribusi fosfor dan menstimulus proses pada tumbuhan pada pembelasan sel, pembentukan albumin, daun, batang, bunga dan biji.

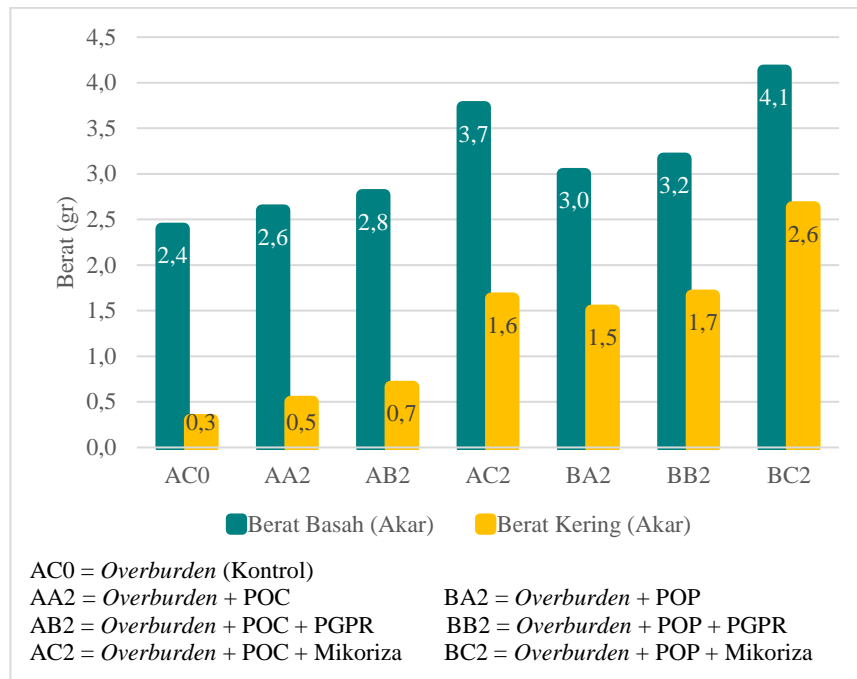
Berat biomassa jaringan atas ini mewakili kualitas batang dan daun dalam masa pertumbuhan tanaman sengon. Pengaruh mikoriza baik dengan campuran POP maupun POC memberikan tendesi yang terbaik diantara seluruh perlakuan. Mikoriza sangat penting untuk perkembangan tumbuhan, terutama pada proses penyerapan dan distribusi fosfor dalam kondisi tanah kekurangan fosfor dan terkontaminasi logam berat (Arriaga *et al.*, 2005). Kemampuan distribusi ini yang menjadikan inokulasi mikoriza sebagai perlakuan terbaik dalam stimulasi biomassa jaringan atas tumbuhan.



Gambar 13 Nilai biomassa jaringan atas tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Secara metabolisme melalui simbiosisnya sendiri, PGPR dan Mikoriza memiliki perbedaan dalam mengantarkan unsur hara. PGPR memiliki kemampuan yang baik dalam fiksasi N dan mikoriza memiliki kemampuan yang baik dalam penyerapan P untuk tanaman (Khan, 2005). Kondisi tanah uji yang kekurangan senyawa P membuat kinerja mikoriza yang memiliki kemampuan penyerapan P sangat signifikan. Fosfor berfungsi memperkuat batang dan memperkaya perkembangan akar (Hardjowigeno, 1987).

Hal ini serupa dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 14 grafik dibawah perlakuan terbaik adalah mikoriza dengan hasil BC2 ( POP 15ml + Mikoriza 20ml) sebesar 4,1 cm dan AC2 (POC 15ml + Mikoriza) sebesar 3,7 cm. Hasil tersebut menggambarkan perlakuan dengan mikoriza dengan penambahan POP merupakan pilihan terbaik. Unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman terpenuhi seluruhnya. Terlebih lagi, unsur P yang optimal memberikan kualitas akar yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol maupun perlakuan yang lain.



Gambar 14 Nilai biomassa jaringan bawah tumbuhan tanaman sengon butoh pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

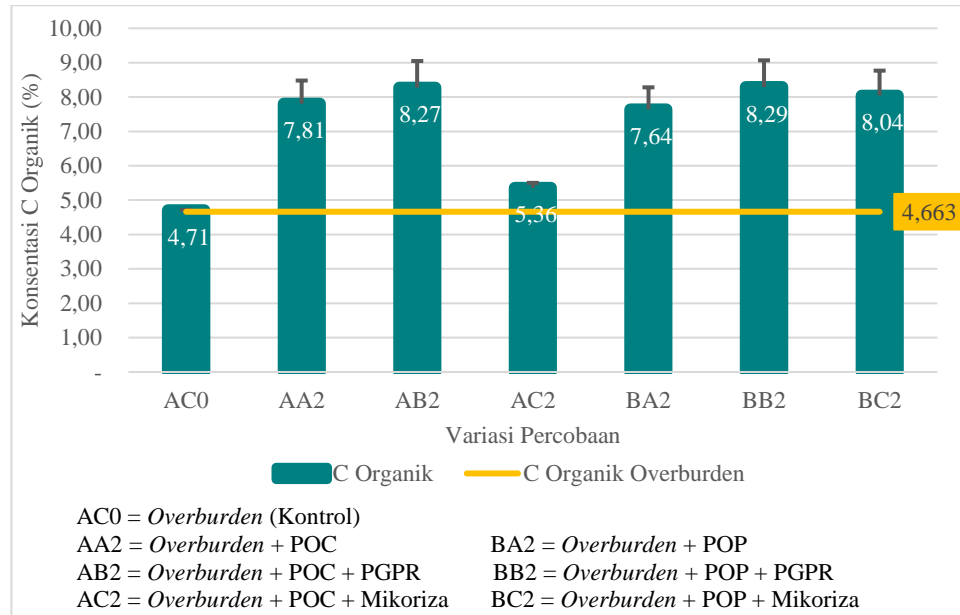
Berbeda dengan hasil pengujian tinggi diameter dimana hasil optimum pada pengujian tinggi dan diameter adalah perlakuan AB2 (*Overburden* + POC + PGPR) dan BB2 (*Overburden* + POP + PGPR) namun pada pengujian biomassa hasil optimum adalah pada perlakuan AC2 (*Overburden* + POC + Mikoriza) dan BC2 (*Overburden* + POP + Mikoriza) hasil pada proses penimbangan terlihat bahwa pada AB2 dan BB2 dahan kompong dan mudah rapuh saat kondisi kering, Sedangkan pada AC2 dan BC2 batang padat dan susah untuk dipatahkan.

#### b. C organik

Karbon organik (C organik) adalah kunci bagi kesuburan tanah kerana memberikan nutrisi penting bagi tumbuhan dan mikroba tanah. C organik merupakan elemen utama dalam perbaikan struktur tanah dengan meningkatkan aerasi tanah dan kemampuannya untuk menyimpan air, serta meningkatkan kapasitas tukar kation dalam tanah. C organik juga memfasilitasi aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam proses dekomposisi dan nitrifikasi, Kehilangan C organik yang cukup mengakibatkan tanah menjadi kurang subur dan cenderung mengalami penurunan dalam hasil pertanian.

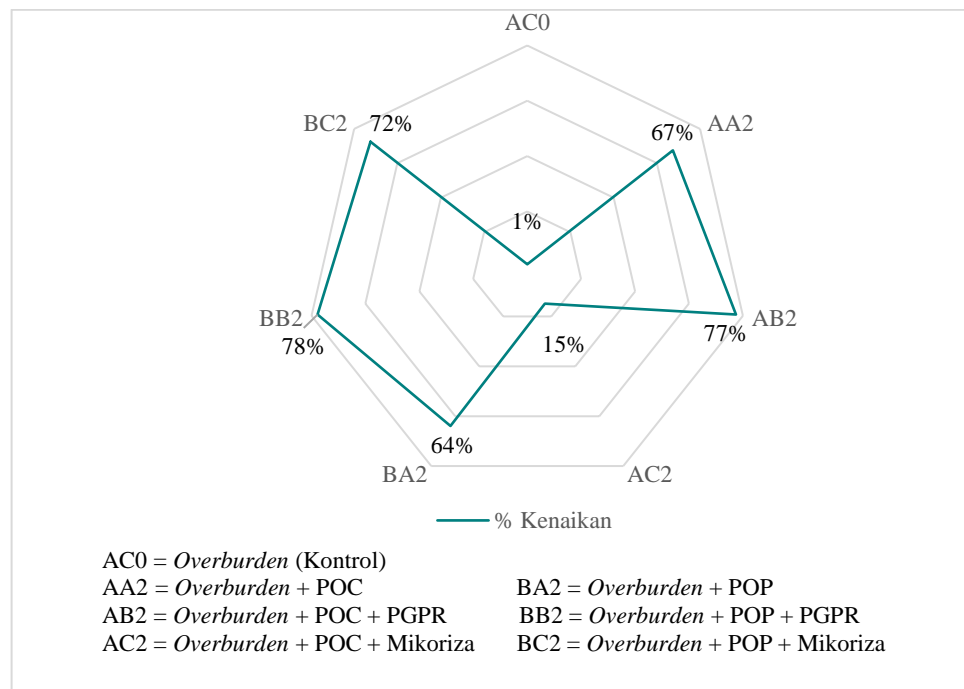
Pada gambar 15 dibawah dapat dilihat bahwa seluruh perlakuan pada tanah uji (*overburden*) mengalami kenaikan secara fluktuatif. Pada dasarnya

pemberian pupuk organik cair (POC) dan pupuk organik padat (POP) sudah dapat menaikkan unsur organik pada tanah. perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 15 dibawah.



Gambar 15 Perubahan kandungan C organik tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

*Baseline* pada hasil pengujian ini adalah tanah *overdurden* dengan konsentasi C organik sebesar 4,66% kemudian, pada perlakuan dengan penambahan POC (AA2) konsentrasi menjadi 4,71%, pada penambahan POP (BA2) konsentasi menjadi 7,64% kenaikan paling signifikan terdapat pada perlakuan PGPR (AB2 dan BB2) yaitu masing-masing sebesar 8,27% dan 8,29% sedangkan dengan penambahan mikoriza (AC2 dan BC2) sebesar 5,36% dan 8,04% hal ini sejalan dengan penelitian (Maiti and Ghose, 2005) menyatakan bahwa mikroorganisme dapat menaikkan nilai C organik melalui metabolisme pada proses dekomposisi kompos tumbuhan. Pada gambar 16 dapat dilihat presentase kenaikan C organik dari masing-masing perlakuan

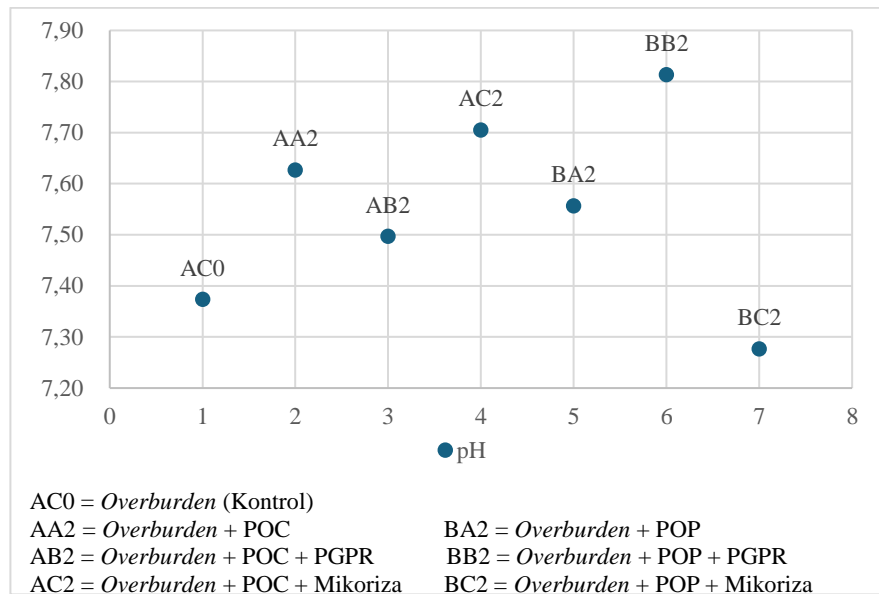


Gambar 16 Persentase Perubahan C organik tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Berdasarkan gambar 16 kenaikan paling signifikan terdapat pada perlakuan PGPR (AB2 dan BB2) dengan kenaikan sebesar 77% dan 78% sedangkan yang paling kecil adalah perlakuan AC2 dengan kenaikan hanya sebesar 15%.

### c. pH

pH pada tanah dapat menjadi sebuah indikator ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroba dan pertumbuhan tanaman, tanah dengan pH terlalu asam atau basa dapat mengurangi unsur hara penting serta mengganggu aktivitas kehidupan mikroba dan berdampak buruk terhadap pertumbuhan tanaman. Sebagian besar tanaman tumbuh pada pH netral (6-8), meskipun ada beberapa tanaman yang menyukai pH asam atau basa. Penyesuaian pH dapat dilakukan dengan penambahan bahan kimia seperti kapur atau bahan asam sesuai kebutuhan (Brady & Weil, 2010). Pada gambar 17 disampaikan nilai pH akhir setelah penelitian.



Gambar 17 Nilai pH akhir pada tanah setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Pada gambar 17 menunjukkan bahwa mayoritas perlakuan dapat meningkatkan pH tanah. Jika dibandingkan dengan kontrol AC0, perlakuan AC1 dengan Pupuk Organik Cair (POC) + Inokulasi mikoriza paling baik dalam hal menaikkan nilai pH sebesar 7,9 kemudian BB2 sebesar 7,81. Kemampuan mikoriza dalam bergerak secara bebas di dalam tanah dengan hifa yang dia miliki memberikan keuntungan tersendiri bagi mikoriza. Sehingga memberikan dampak positif dalam menurunkan pH tanah melalui proses pembentukan ammonia dari nitrogen dalam tanah (Nuraini, 2009)

#### 4.4.2 Hasil Analisis dan Pembahasan Serapan Logam pada Tanaman

##### a. Logam Kromium (Cr)

Penyerapan logam Cr pada biomassa tanaman uji sengon terjadi akibat proses fitoremediasi. Fitoremediasi terjadi karena kemampuan tanaman uji dalam menyerap logam-logam berat bersifat sebagai fitoakumulator (Udiharti, 1992). Kemampuan tanaman sengon dalam melakukan degradasi logam berat Cr pada tanah diperkuat dayanya dengan inokulasi bakteri PGPR dan Mikoriza.

Pada tabel 13 terjadi dua peristiwa berdasarkan nilai biokonsentrasi yang didapatkan pada pengujian di jaringan tanaman setelah perlakuan. Prinsip biofitoremediasi dibagi dalam tiga kategori berdasarkan nilai biokonsentrasi (BCF) yang diperoleh yaitu sebagai *metal excluder* ( $BCF > 1$ ), sebagai *metal excluder* ( $BCF < 1$ ) dan *metal indicator* ( $BCF$  mendekati satu (Sari *et al.*, 2017)

Pencampuran Pupuk Organik Cair (POC) dengan *overburden* menunjukkan hasil yang didefinisikan sebagai kelompok *metal excluder* yang berarti kemampuan daya akumulator rendah. Pada perlakuan AC0; AA2; AB2 dan AC2 disimpulkan tidak memiliki tendensi dalam peranannya sebagai agen biofitoremediasi.

Pencampuran Pupuk Organik Padat (POP) dengan *overburden* menunjukkan hasil sebagai kelompok *metal accumulator* dengan kemampuan daya akumulator yang tinggi. Proses fitoekstraksi melibatkan penyerapan logam berat oleh akar dan disalurkan menuju jaringan atas tanaman (Greipsson, 2011).

Merujuk pada hasil pengukuran tinggi dan diameter tanaman pada sub-bab 4.3 perlakuan pada kode BB2 menunjukkan hasil pertumbuhan terbaik. Menjelaskan bahwa proses metabolik PGPR menyerap logam berat beracun dari tanah dan berhasil mengkonversinya menjadi sumber energi untuk tumbuh (Yaqoob *et al*, 2019)

Tabel 12 Karakter logam berat Cr di jaringan tanaman setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian (n=3)

Kode	BCF	TF	Kesimpulan	Kategori
AC0	0.0027	0.38323	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AA2	0.0020	0.00299	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AB2	0.0012	0.00493	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AC2	0.0009	0.00693	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
BA2	0.0024	1.01163	Bcf < 1 ,tf > 1	Akumulator, fitoekstraksi
BB2	0.0021	1.48900	Bcf < 1 ,tf > 1	Akumulator, fitoekstraksi
BC2	0.0008	2.18657	Bcf < 1 ,tf > 1	Akumulator, fitoekstraksi

##### b. Logam Besi (Fe)

Pada dasarnya tanaman membutuhkan unsur Fe sebagai pembentukan klorofil, pembawa elektron di dalam enzim-enzim dan sebagai agen pada fiksasi nitrogen. Tanaman

membutuhkan maksimal 100ppm unsur Fe akan tetapi tidak akan diabsorpsi dengan jumlah besar oleh tanaman (Suhariyono & Menry, 2005). Dapat dilihat pada tabel 14 terdapat akumulasi logam Fe pada jaringan akar dan batang cukup besar pada kisaran 7-17 ppm.

Konsentrasi Fe yang sangat tinggi pada tanah laterit dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penambahan POC dan POP dengan *overburden* diharapkan dapat menambahkan unsur hara makro. Selain itu, PGPR dan Mikoriza ditambahkan untuk meningkatkan tingkat metabolisme pada prinsip biofitoremediasi. Hasil pada tabel dibawah menunjukkan bahwa POC dikategorikan sebagai *metal excluder* yang artinya daya akumulator rendah. Sedangkan pada perlakuan POP dengan inokulasi PGPR dan Mikoriza dikategorikan sebagai *metal indicator* yang artinya daya akumulator dalam tingkat sedang. Pada sub-bab 4.3 BB2 perlakuan pada kode BB2 menunjukkan hasil pertumbuhan diameter dan tinggi terbaik. Menunjukkan bahwa simbiosis antara tanaman uji dan PGPR memberikan tendensi paling baik dibandingkan semua perlakuan

Tabel 13 Karakter logam berat Fe di jaringan tanaman setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian (n=3)

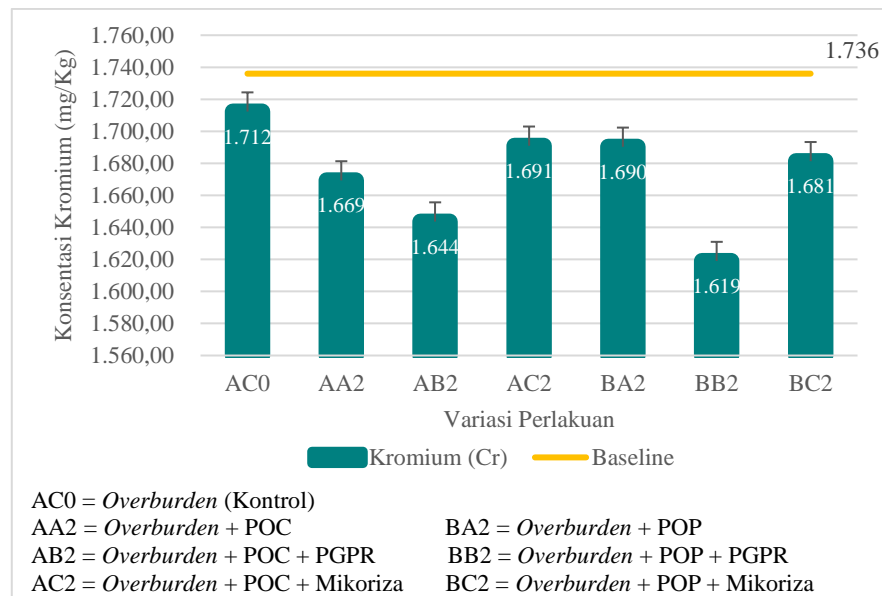
Kode	BCF	TF	Kesimpulan	Kategori
AC0	0.0003	0.40100	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AA2	0.0001	0.18938	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AB2	0.0001	0.45637	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
AC2	0.0003	0.27616	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
BA2	0.0002	0.54906	Bcf < 1 ,tf < 1	Excluder, fitostabilisasi
BB2	0.0003	0.96317	Bcf ~ 1 ,tf > 1	Indicator, fitoekstraksi
BC2	0.0004	1.09137	Bcf ~ 1 ,tf > 1	Indicator, fitoekstraksi

#### 4.4.3 Hasil Analisis dan Pembahasan Logam pada Tanah uji

Kondisi geologi lapisan batuan ultramafic yang ditemukan pada lahan pertambangan nikel mengandung tinggi kadar logam kromium dan besi, Logam berat tersebut bersifat non esensial yang bersifat racun kepada pertumbuhan tanaman. Perlakuan inokulasi PGPR dan Mikoriza bersifat dapat mendegradasi kandungan logam berat (Sheng, 2006) seperti Cr dan Fe dapat ditunjukkan sebagai berikut:

##### a. Logam Kromium (Cr)

Kandungan logam kromium (Cr) dalam tanah merupakan batuan pengikat dalam proses ekstraksi biji nikel. Logam kromium dalam tanah juga menjadi masalah utama dalam air karena kromium dalam tanah laterit mudah terjadi oksidasi dan membentuk Kromium Hexavalen yang bersifat karsinogenik didalam air.

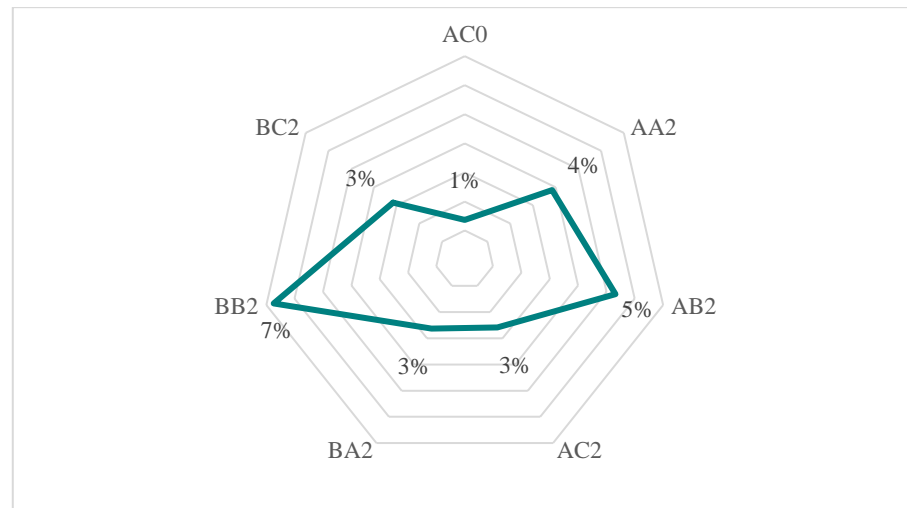


Gambar 18 Nilai perubahan kandungan Kromium (Cr) setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Berdasarkan gambar 18 sebagai data awal adalah konsentrasi kromium pada *overburden* kemudian jika kita bandingkan dengan kontrol (AC0) penurunan konsentrasi kromium sebesar 23,67 mg/Kg dan merupakan penurunan terkecil dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada penambahan POC (AA2) konsentrasi berkurang sebesar 66,67 mg/Kg, sedangkan pada penambahan POP (BA2) konsentrasi berkurang sebesar 45,67 mg/Kg, pada perlakuan AB2 dan BB2 menjadi titik optimum dengan penurunan sebesar 92

mg/Kg dan 117 mg/Kg, sedangkan pada perlakuan AC2 dan BC2 terjadi pengurangan sebesar 45 mg/Kg dan 54,6 mg/Kg.

Pada sub-bab 4.1 dilakukan pengujian kadar % NPK masing-masing POC dan POP. Kadar % POC sebesar 0,312 % berbanding dengan POP sebesar 10,92 % memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Korelasinya adalah kemampuan maksimal tanaman uji untuk mempertahankan metabolismenya.



Gambar 19 Persentase penurunan logam kromium setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

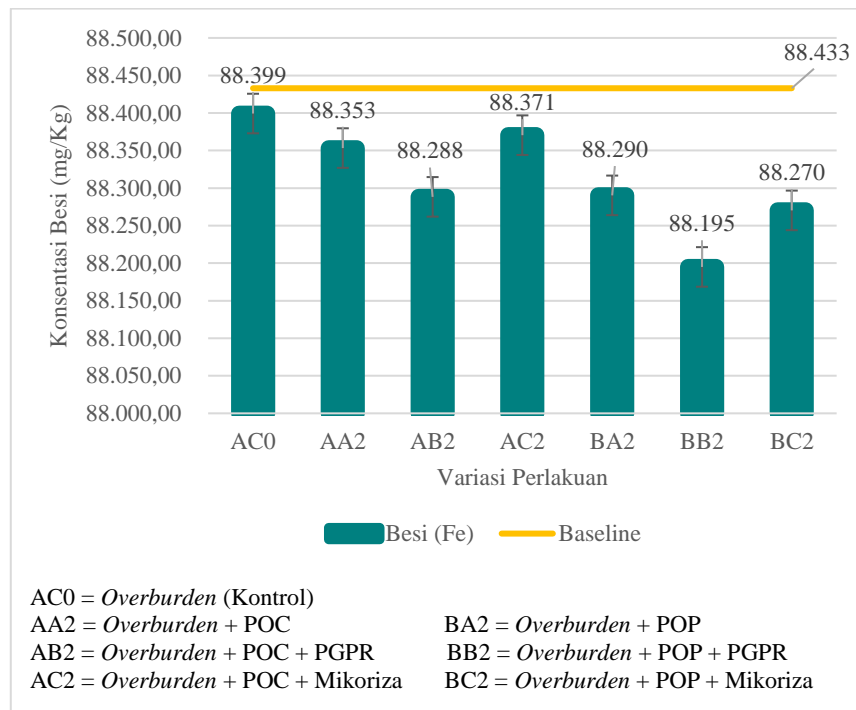
Pada gambar 19 menunjukkan persen penurunan kandungan logam berat kromium (%). Berdasarkan grafik dibawah, perlakuan Pupuk Organik Padat (POP) + inokulasi PGPR 20ml menunjukkan hasil paling signifikan, yaitu sebesar 7% berdasarkan baseline, Disusul oleh perlakuan Pupuk Organik Cair (POC) + inokulasi PGPR 20ml sebesar 5%, Menyimpulkan bahwa PGPR memberikan peranan paling signifikan dalam mendegradasi logam berat Kromium (Cr). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Khairunnisa, 2024) dalam penelitiannya mereka menggunakan PGPR dan tanaman *Acaulospora sp* untuk mereduksi timbal (Pb) hasil menunjukkan bahwa optimalisasi PGPR ini mampu membantu tanaman dalam menyerap logam berat dan mendistribusikan logam kebadantanaman melalui jaringan atas dan bawah.

Selain itu dalam penelitian yang dilakukan oleh (Yunita,dkk, 2023) dalam penggunaan mikoriza dan tanaman bayam terlihat bahwa tendensi penurunan logam hanya terjadi kecil dan terdistribusi di akar saja tidak merata ke jaringan atas. Kemampuan PGPR dalam degradasi logam Cr tidak terlepas dari kondisi unsur hara makro yang tersedia pada tanah uji. Perlakuan jenis

pupuk organi cair (POC) dan pupuk organik padat (POP) memberikan kontribusi pada proses fitoekstraksi logam berat.

b. Logam Besi (Fe)

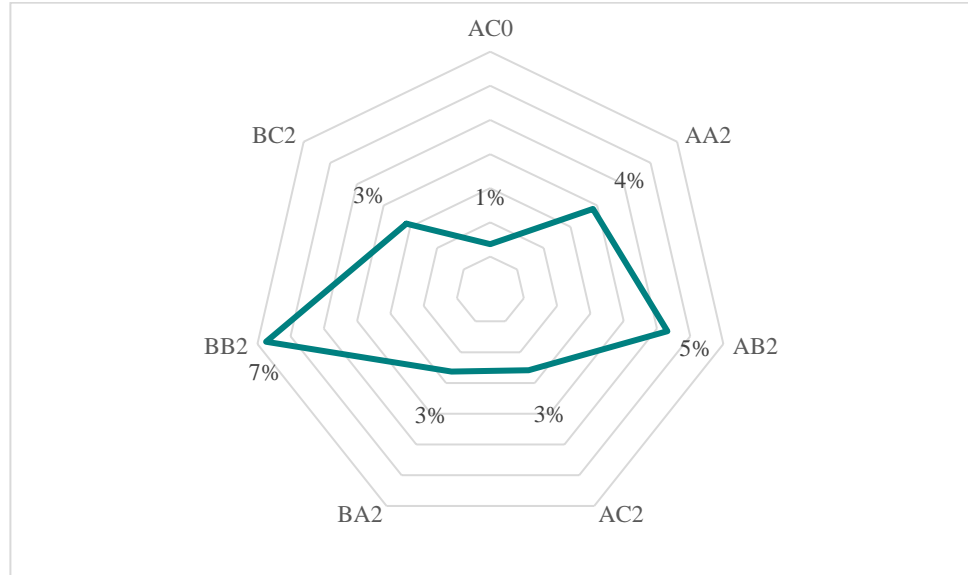
Logam besi meupakan sebuah unsur mikronutrien yang sangat penting bagi tanaman, walaupun diperlukan dalam jumlah kecil, besi memiliki peran krusial dalam tanaman terutama pada proses fisiologis tanaman seperti sintesis klorofil, transport electron dalam foto sintesis serta membantu dalam metabolisme nitrogen dalam tubuh tumbuhan. Namun demikian, kebanyakan besi dalam tanaman juga bisa merusak jaringan, terjadi stress oksidatif dan gangguan penyerapan unsur hara lain. Grafik 20 menggambarkan konsentasi besi pada tanah uji setelah perlakuan.



Gambar 20 Nilai perubahan kandungan Besi (Fe) setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Berdasarkan gambar 20 sebagai data awal adalah konsentrasi besi pada *overburden* kemudian jika kita bandingkan dengan kontrol (AC0) penurunan konsentrasi kromium sebesar 33,67 mg/Kg dan merupakan penurunan terkecil dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada penambahan POC (AA2) konsentrasi berkurang sebesar 79,67 mg/Kg, sedangkan pada penambahan POP (BA2) konsentrasi berkurang sebesar 142,67 mg/Kg, pada perlakuan AB2 dan

BB2 menjadi titik optimum dengan penurunan sebesar 144,7 mg/Kg dan 238 mg/Kg, sedangkan pada perlakuan AC2 dan BC2 terjadi pengurangan sebesar 62,5 mg/Kg dan 162,6 mg/Kg.



Gambar 21 Persentase penurunan logam besi setelah perlakuan pada pengujian skala persemaian di nursery PT Vale Indonesia (n=3)

Pada gambar 21 menunjukkan persen penurunan kandungan logam besi (Fe) (%), Berdasarkan grafik dibawah, perlakuan Pupuk Organik Padat (POP) + inokulasi PGPR 20 ml menunjukkan hasil paling signifikan, yaitu sebesar 0,27% berdasarkan baseline, PGPR dapat bersimbiosis dengan tanaman dan menyerap logam berat dari tanah, Kemampuan simbiosis PGPR dan tanaman sengon dalam proses biofitoremediasi sangat baik, Produksi hormon siderofor dan IAA membuat kondisi toleran terhadap kondisi logam berat yang dapat mengurangi efek buruk dari logam menjadi sumber energi (Hassan, 2017). Selain itu, dalam penelitian (Muthiah, dkk, 2023) menjelaskan bahwa siderofor yang dihasilkan oleh PGPR akan mengikat Fe<sup>3+</sup> dari mineral Fe sehingga meningkatkan ketersediaan Fe bagi tanaman dan memicu pertumbuhan sel baru pada jaringan akar. Oleh karena itu, pembentukan siderofot pada PGPR ini mampu meningkatkan serapan Fe pada jaringan tumbuhan.

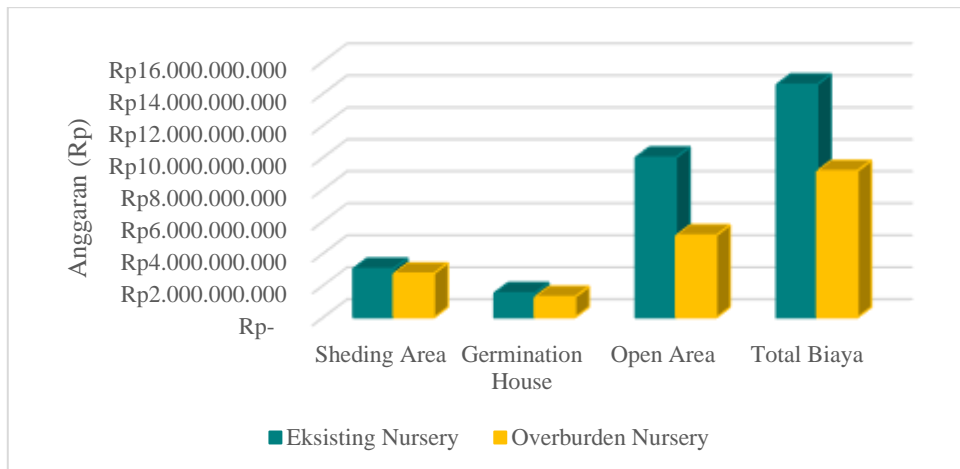
Grafik diatas juga menggambarkan tendensi BB2 sangat tinggi dibandingkan dengan jenis perlakuan yang lain. Simbiosis PGRP lebih optimal pada kondisi *overburden* dengan campuran pupuk organik padat (POP). Proses fitoekstraksi tanaman uji dan kemampuan PGPR sebagai *barrier* untuk

logam berat Fe beracun, sehingga terbentuk simbiosis yang baik di lapisan akar tanam uji.

#### 4.5. Analisis Komparasi Biaya Operasional

Pengelolaan nursery tentu saja memerlukan biaya yang tidak sedikit dimana komponen biaya antara lain biaya manpower, pembelian material agregat dan pembelian pupuk. Sedangkan terdapat potensi efisiensi yang mungkin bisa dilakukan dengan memanfaatkan material *overburden* sebagai bahan pengganti material agregat di area nursery.

Penggantian agregat dengan menggunakan bahan *overburden* tidak hanya menghemat biaya namun juga memperbaiki tanah bekas lahan nikel dengan skema biofitoremediasi. Adapun keunggulan menggunakan metode ini adalah tanaman tidak memerlukan aklimatisasi dengan kondisi lapangan, serta efisiensi biaya operasional nursery. Adapun besar penghematan seperti pada gambar 22 berikut.



Gambar 22 Nilai anggaran nursery PT Vale Indonesia

Berdasarkan gambar 22 diatas, diketahui bahwa anggaran biaya operasional nursery didasarkan pada pekerjaan di area Shedding area, Germination area dan Open Area sebelum didistribusikan ke area reklamasi PT Vale Indonesia. Pada Sheeding area penggunaan pasir, abu sekam dan kotoran hewan disubstitusi mnggunakan *overburden*, pasir, PGPR dan POP mampu menurunkan biaya sebesar 10%. kemudian pada area Germination, bahan tambahan berupa pupuk urea dan NPK digantikan menjadi POP Mampu mengurangi biaya operasional sebesar 15% sedangkan pada Open area penggantian pupuk tambahan dengan POC mampu menurunkan biaya sebesar 49% sehingga secara keseluruhan penurunan anggaran berdasarkan eksisting

dengan improvement overburden dan apu-apu mampu menurunkan biaya dari Rp14.555.600.000- menjadi Rp 9.161.560.400- atau sebesar 37% anggaran.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan:

1. Pemanfaatan limbah apu-apu sebagai Pupuk Organik Padat (POP) dengan penambahan inokulasi PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi dengan deviasi 15,1 cm dibanding kontrol dan diameter dengan deviasi 3,9 cm dibanding kontrol dengan tanaman uji jenis Sengon (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*).
2. Penggunaan POC + mikoriza sangat baik dalam melakukan perbaikan kualitas jaringan pada akar, batang dan daun dengan tanaman uji Sengon (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*).
3. Penggunaan POP + inokulasi PGPR secara signifikan menurunkan kadar logam berat pada tanah uji (*overburden*) dengan hasil penurunan 7% pada logam Cr dan 0,27 % pada logam Fe.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan:

1. Perlu dilakukan perlakuan berupa penggabungan Pupuk Organik Padat (POP) + PGPR + Mikoriza untuk melihat efektivitas pada pertumbuhan tanaman, kualitas jaringan tanaman dan serapan logam berat pada tanah kritis pertambangan nikel

## DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. 1995. Heavy metals in soils: Environmental pollution and health risks. Springer
- Ardakani, S,S., Heydari, A., Tayebi, L., Mohammadi, M., 2010, Promotion of cotton seed-lings growth characteristics by development and use of new bioformulations, *Int, J,Botany* 6 (2), 95-100, Available from: <https://doi.org/10.3923/ijb.2010.95.100>,
- Arisandi, D,J, 2006, Pengaruh keberadaan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada pertumbuhan dan hasil tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.), Skripsi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang
- Ashrafuzzaman, M., Hossen, F, A., M, Razi Ismail, Hoque, M, A., Islam, M, Z., Shahidullah, S, M., & Meon, S, (2009), Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth, *African Journal of Biotechnology*, 8(7), 1247–1252
- Arriagada, C.A., Herrera, M.A., and Ocampo, J.A. 2005. Contribution of arbuscular mycorrhiza and saprobe fungi to the tolerance of *Eucalyptus globules* to Pb. *Water, Air and Soil pollut.* 166, 31-47.
- Associates, L, 1971, Laterit and Lateritic Soils and Other Problem Soils of Africa: Development of Engineering Standards and Criteria for the Usage of Laterite, Lateritic Soils, and Other Problem Soils in Connection with the Construction of Roads, Highways, and Airfields,
- Bashan, Y., Puente, M,E., de-Bashan, L,E., Hernandez, J,P.,, 2008, Environmental uses of plant growth-promoting bacteria, *Plant-Microbe Interact*, 661 (2), 69-93,
- Brady, N. C., & Weil, R. R. 2010. *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson
- B, Jephcott, *Goden Dragon Capital: Nickel Industry Analysis* (2016) 1–15
- Cunningham, S. D., & Berti, W. R. 2000. Remediation of contaminated soils with green plants. *Proceedings of the International Symposium on Phytoremediation.*
- Constant, M, 2021, Extraction of microplastics from sediment matrices: Experimental comparative analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 420(126571), 1-7,
- Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, Ui-Press,

- Debell, D.S., Whittesell, C.D., Schubert, T.H, 1989, Using N<sub>2</sub>-fixing Albizia to increase growth of Eucalyptus plantations in Hawaii, *Forest Sci* 35: 64-75
- De Lajudie, P., A, Willems, B, Pot, D, Dewettinck, G, Maestrojuan, M, Neyra, M, D, Collins, B, Dreyfus, K, Kersters, M, Gillis, 1994, Polyphasic taxonomy of rhizobia: emendation of the genus *Sinorhizobium* and description of *Sinorhizobium meliloti* comb, nov., *Sinorhizobium saheli* sp, nov., and *Sinorhizobium teranga* sp, nov, *Int, J, Syst, Bacteriol*, 44: 715–733,
- Dewilda dan Listya, 2017, Pengaruh Komposisi Bahan Baku Kompos (Sampah Organik Pasar, Ampas Tahu, dan Rumen Sapi) terhadap Kualitas dan Kuantitas Kompos, *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 14 (1) : 52-61
- Finmeta, A, W., Mansur, I., Wulandari, A,S, 2018, Pemanfaatan fungi mikoriza arbuskula lokal dan tanaman inang *Desmodium* sp, Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Cendana (*Santalum album* linn.), *Jurnal Silvikultur Tropika*, 9(1):37–43,
- Frey-Klett, P., Burlinson, P., Deveau, A., Barret, M., Tarkka, M., Sarniguet, A., 2011, Bacterial-fungal interactions: hyphens between agricultural, clinical, environmental, and food microbiologists, *Microbiol, Mol, Biol, Rev*, 75 (4), 583609, Available from: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00020-11>,
- Greipsson, S., 2011. Phytoremediation. *Nature Education Knowledge* 3 (7)
- Glick, B, R, 2012, Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications, *Scientia Horticulturae*, 133, 70–79.
- Hardjowigeno S. 1987. Ilmu Tanah. Mediyatama Sarana Perkasa. 233
- Hassan, T,U,; Bano, A,; Naz, I, Alleviation of heavy metals toxicity by the application of plant growth promoting rhizobacteria and effects on wheat grown in saline sodic field, *Int, J, Phytoremediation* 2017, 19, 522–529
- Hassani, M., Durán, P., Hacquard, S., 2018, Microbial interactions within the plant holobiont, *Microbiome* 6 (1), 117, Available from: <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>,
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., Ahmed, I., 2010, Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review, *Ann, Microbiol*, 60 (4), 579-598, Available from: <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0117-1>,
- Heiranto T., 2017, Evaluasi Keberhasilan Penanaman Tanaman Sengon dan Trembesi pada Lahan Bekas Tambang
- Indriani, H,Y, 2002, Membuat Kompos Secara Kilat, Jakarta : Penebar Swadaya 40 -

50 hal,

- Irfan, S., Shardendu, 2009, Dynamic of nitrogen in subtropical wetland and its uptake and storage by *Pistia stratiotes*, *J, Environmental Biol*, 30:977- 981,
- Isroi, 2005, *Bioteknologi Mikroba Untuk Pertanian Organik*, Lembaga Riset Perkebunan Indonesia, [http://www.ipart.com/art\\_perkebunan](http://www.ipart.com/art_perkebunan),
- Karmila, Mustafa, M., & Mustafa, R. (2023), The Effect of Gibberellin Acid and PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) from Bamboo Roots on Growth and Results Two Varieties Cucumber Plants (*Cucumis sativus* L.), *Perbal : Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(2), 172–183
- Kaz´mierczak, U., Lorenc, M, W., and Strzałkowski, P., 2017, The Analysis of the Existing Terminology Related to a Post-Mining Land Use: a Proposal for New classification, *Environ Earth Sci*, 76: 693
- Khalid, A., Arshad, M., Zahir, Z,A., 2004, Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat, *J, Appl, Microbiol*, 96 (3), 473480, Available from: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x>,
- Khairunnisa, Afifah. (2024) Potendi AMF, PGPR dan *Achroma Bicolor* Rowlee pada serapan Pb dan Nilai Phdi tanah TPA Piyungan. Yogyakarta, Universitas Islam Indonesia.
- Lone, M,I., He, Z, L., Stoffella, P, J., and Yang, X, 2008, Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progress and perspectives, *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* 9(3), 210-220,
- Majid, F,Z, 1986, *Aquatic Weed: Utility and Development*, Agro Botanical Publishers, India,
- Mamonto, Hermansyah, 2013, Uji Potensi Apu-Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Dalam Penurunan Kadar Sianida (Cn) Pada Limbah Cair Penambangan Emas, <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NSUo9iULWAIJ:kim,ung,ac,id/index,php/KIMFIKK/article/download/2745/2721+&cd=4&hl=id&ct=clnk&gl=id>,
- Marom, N., Rizal, F., & Bintoro, M, 2017, Uji Efektivitas Saat Pemberian dan Konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) terhadap Produksi dan Mutu Benih Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.), *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2), 174–184, <https://doi.org/10.25047/agriprima.v1i2.43>
- Mishra, S,K.; Khan, M,H.; Misra, S.; Dixit, V,K.; Khare, P.; Srivastava, S.; Chauhan, P,S, 2017. Characterisation of *Pseudomonas* spp, and *Ochrobactrum* sp, isolated from volcanic soil, *Antonie Van Leeuwenhoek*, 110,253–270

- Mulyanto, B., Suwardi, 2006, Prospek zeolit sebagai bahan penjerap dalam remediasi lahan bekas tambang, Seminar Nasional PKRLT Fakultas Pertanian UGM, Sabtu 11 Feb 2006, Yogyakarta,
- Mustapha, M,U,; Halimoon, N, 2015, Screening and isolation of heavy metal tolerant bacteria in industrial effluent, *Procedia Environ, Sci*, 30, 33–37,
- Muthiah, Atiqah. Linda Advinda, Azwir A, Irma L, Siska Alicia (2023) *Pseudomonas Fluotrsces* sebagai Plant Growth Promoting Rhizobakteria (PGPR), *Serambi biologi*, Vol 8 (01), 67-73
- Nakkeeran, S., Fernando, W,G., Siddiqui, Z,A., 2005, Plant growth promoting rhizobacteria formulations and its scope in commercialization for the management of pests and diseases, *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, Springer, Dordrecht, pp, 257-296,
- Nurjaman, F., Astuti, W., Bahfie, F., Suharno, B., (2020), Study of selective reduction in lateritic nickel ore: Saprolite versus limonite,
- Nuraini, 2009, Pembuatan Kompos Jerami Menggunakan Mikroba Perombak Bahan Organik, *Buletin Teknik Pertanian* 14:1 hal
- Onoja, S., Nel, H, A., Abdallah, M,A,-E., & Harrad, S, (2022), Microplastics in freshwater sediments: Analytical methods, temporal trends, and risk of associated organophosphate esters as exemplar plastics additives, *Environmental Research*, 203(111830), dst,
- Pratiwi, Ambar, Nurohmi, Arni I, 2020, *Effectiveness of Apu-Apu Liquid Fertilizer (Pistia stratotes L) On Ipomea Reptans Poir Growth*, *Jurnal Riset Biologi dan Aplikasinya*, 2 (2),
- Proborini, M, W.,Darmayasa, I, B,G., Yusup D,S., Subagio, J,N, (2020), Cendawan Mikroriza Arbuskular (CMA) *Gigaspora sp* Sebagai Pupuk Hayati pada Pembibitan Mete (*Anacardium occidentale L.*), *Jurnal Mikologi Indonesia*, 4(2):193-200
- PT Vale Indonesia, 2025, Reklamasi Lahan Pasca Tambang, Februari 2025, <https://vale.com/in/indonesia/esg/reklamasi-pascatambang> 555555
- Puspitasari, D., & Irawanto, R, (2016), Fitoremediasi Limbah Domestik Dengan Tumbuhan Akuatik Mengapung Di Kebun Raya Purwodadi, 11,
- Rini, M,V., Pertiwi, K,D., Saputra, H, (2017), Seleksi Lima Isolate Fungi Mikoriza Arbuskular Untuk Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) di pembibitan, *Jurnal Agrotek Tropika*, 5(3):138–143,

- Romero, E., E, Benitez and R, Nogales 2005, Suitability Of wastes From Olive Oil Industry For Initial Reclamation of a pb/zn Mine Tailing, *Water, Air, and Soil Pollution* 165: 153–165
- Roy RN, Finck A. Blair GJ, dan Tandon HIS. 2006. *Plant nutrition for food security: A guide for integrated*
- Rosawanti, Pienyani, 2019, Kandungan Unsur Hara Pada Pupuk Organik Tumbuhan Air Lokal, *Jurnal Daun*, 6(2); 140-148
- Rossiana, Nia & Doni, Febri & Syamsuri, Rizky Riscahya Pratama & Pratiwi, Farulian, 2023, Aplikasi Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence - AI) dalam Biofitoremediasi Limbah Organik,
- Rynk, R. 1992. *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.
- Santoro, L., Putzolu, F., Mondillo, N., Boni, M., Herrington, R., 2022, Trace element geochemistry of iron-(oxy)-hydroxides in Ni(Co)-laterites: Review, new data and implications for ore forming processes, *Ore Geol, Rev*, 140, 104501,
- Sari, E.M, A. Hanifah., and F. K. Ganis. (2017). Potensi Tanaman Azolla (*Azolla pinnata*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II), Ion Kadmium (II) Dan Ion Kromium (II). *Jurnal. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Riau, Riau*.
- Setiadi, Y, 2006, *Bahan Kuliah Ekologi Restorasi, Program Studi Ilmu Pengetahuan Kehutanan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB*,
- Shaw, J, N., 2001, Iron and aluminum oxide characterization for highly-weathered Alabama Ultisols, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1-2,
- Sheng, X,F,; Xia, J,J, Improvement of rape (*Brassica napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria, *Chemosphere* 2006, 64, 1036–1042,
- Sheoran, V., Sheoran, A, S., and Poonia, P., 2010, *Soil Reclamation of Abandoned Mine Land By Revegetation: A Review*, *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2):1-20,
- Smith, S, E., & Read, D, J, (2008), *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.), Academic Press.
- Suhariyono, G., & Menry, Y. (2005). Analisis karakteristik unsur-unsur dalam tanah di berbagai lokasi dengan menggunakan xrf. *Ppi-Pdiptn* 2005, 197–206.
- Suwahyono, U. (2011). *Petunjuk Praktis Penggunaan Pupuk Organik Secara Efektif dan Efisien*. Penebar Swadaya. Jakarta
- Tiwari, S,; Lata, C, Heavy metal stress, signaling, and tolerance due to plant-associated microbes: An overview, *Front, Plant Sci*, 2018, 9, 452

- Utami, L, D., , N., & Rahayu, U, (2017), Kemampuan Tanaman Apu- Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Nikel (Ni) Limbah Cair, *Gema Lingkungan Kesehatan*, 15(1), <https://doi.org/10.36568/Kesling,V15i1,576>
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M,L., Touraine, B., Moe`nne-Loccoz, Y., Muller,D., et al., 2013, Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning, *Front, Plant, Sci*, 4, 356, Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>,
- Vidali, M. 2001. Bioremediation: An overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), 1163-1172.
- Wicaksono, F, Y, · T, Nurmala · A,W, Irwan · A,S,U, Putri, 2016, Pengaruh pemberian gibberellin dan sitokinin pada konsentrasi yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil gandum (*Triticumaestivum L.*) di dataran medium Jatinangor, *Jurnal Kultivasi Vol*, 15(1)
- Yaqoob, A., Nasim, F., Sumreen, A., Munawar, N., Zia, M., Choudhary, M., Ashraf, M., 2019. Current scenario of phytoremediation: progresses and limitations. *Int. J. Biosci.* 14, 191–206
- Yunita, Ety, Dasumiyati, Azizah W, Izral Irda. (2023) Akumulasi Logam Timbal Pada Tanaman Bayam dengan Aplikasi Pupuk Mikotiza. *Al-Kauniah Jurnal Biologi*, 6 (2), 444-455.
- Zhao, F.J., et al. 2017. "Soil Contamination and Phytoremediation of Heavy Metals: A Review." *Environmental Pollution*, 228, 743-757.

# Lampiran

**LAPORAN HASIL UJI**  
**REPORT OF ANALYSIS**

**Nomor Contoh**  
**Sample Number** : 37061.2024/AK2.7585

**Jenis Contoh**  
**Material** : Tanah

**Cap**  
**merk** :

**Kode**  
**Code** :

**Parameter**  
**Parameters** : -

**Asal Contoh**  
**Sample's Origin** : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Dibuat Untuk**  
**Executed** : Irfa Darajat  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Tgl. Pengambilan Contoh**  
**Sample Taken on** : -

**Tgl. Penerimaan Contoh**  
**Sample Received on** : 26/08/2024

**Kemasan Contoh**  
**Sample Packaging** : Plastik

Nomor Contoh : 37061.2024/AK2.7585  
Kode Contoh :  
Asal Contoh : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dibuat Untuk : Irfa Darajat  
Tanggal Diterima : 26/08/2024

### HASIL PENGUJIAN


No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	C Organik	%	4,663	AOAC 967.05,2000
2	Rasio C/N	-	10,12	Perhitungan
3	Kadar Abu	%	65,46	SNI 7763 : 2018 butir 6.5
4	Kadar Air	%	26,50	SNI 7763:2018 butir 6.3
5	pH	-	6,01	AOAC 994.18,2000
6	Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	2,359	SNI 2803 : 2012 6.7
7	Kadmium (Cd)	mg/Kg	< 0,054	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
8	Kromium (Cr)	mg/Kg	1736	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
9	Nikel (Ni)	mg/Kg	1098	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
10	Bahan Ikutan (Plastik,kaca, kerikil)	%	3,004	AOAC 973.03,2000
11	Kadar Nitrogen (N)	%	0,628	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
12	P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,258	SNI 7763 : 2018 butir 6.7
13	K sebagai K <sub>2</sub> O	%	0,012	AOAC 983.02,2000
14	Jumlah kadar N, P, K	%	0,898	Perhitungan
15	Besi (Fe)	mg/Kg	88433	AOAC 19th, 980.01, 2012, ch. 2, p.35
16	Seng (Zn)	mg/Kg	77,78	AOAC 19th, 975.02, 2012, ch. 2, p.40

Semua persyaratan di atas kecuali kadar air, dihitung atas dasar berat kering.

#### KETERANGAN :

1. Contoh dikirim
2. Parameter uji sesuai permintaan pengirim contoh
3. Pengirim contoh bertanggungjawab atas kebenaran prosedur pengambilan dan penanganan contoh sebelum diterima Laboratorium Pengujian.

Semarang, 12 September 2024

	Ditandatangani secara elektronik oleh : Ketua Tim Kerja Pengujian dan Kalibrasi  Cholid Syahroni, S.Si, M.Si
---	---

- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE.
- Dilarang mengutip/mencopy dan/atau mempublikasikan sebagian laporan ini tanpa seijin BBSPJPPI.
- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
- Permintaan revisi dapat dilayani maksimal dua minggu setelah LHU ini diterima.

**LAPORAN HASIL UJI**  
**REPORT OF ANALYSIS**

**Nomor Contoh**  
**Sample Number** : 37058.2024/AK2.7582

**Jenis Contoh**  
**Material** : Pupuk Organik Cair

**Cap**  
**merk** :

**Kode**  
**Code** : Pupuk Apu - Apu

**Parameter**  
**Parameters** : -

**Asal Contoh**  
**Sample's Origin** : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Dibuat Untuk**  
**Executed** : Irfa Darajat  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Tgl. Pengambilan Contoh**  
**Sample Taken on** : -

**Tgl. Penerimaan Contoh**  
**Sample Received on** : 26/08/2024

**Kemasan Contoh**  
**Sample Packaging** : Botol Plastik

Nomor Contoh : 37058.2024/AK2.7582  
Kode Contoh : Pupuk Apu - Apu  
Asal Contoh : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dibuat Untuk : Irfa Darajat  
Tanggal Diterima : 26/08/2024


### HASIL PENGUJIAN

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,096	SNI 2803 : 2012 butir 6.3
2	C Organik	%	0,071	walkley-black metode
3	K sebagai K <sub>2</sub> O	%	0,195	SNI 2803 : 2012 butir 6.4.2
4	Cemaran Arsen (As)	mg/kg	< 0,010	SNI 2803 : 2012 butir 6.7
5	Kadmium (Cd)	mg/kg	< 0,040	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
6	Kromium (Cr)	mg/kg	< 0,240	SNI 7763 : 2018 butir 6.8.2
7	Nikel (Ni)	mg/kg	< 0,440	SNI 7763 : 2018 butir 6.8.2
8	Kadar Nitrogen (N)	%	0,021	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
9	pH	-	8,34	SNI 6989.11:2019
10	Jumlah kadar N, P, K	%	0,312	Perhitungan

#### KETERANGAN :

1. Contoh dikirim
2. Parameter uji sesuai permintaan pengirim contoh
3. Pengirim contoh bertanggungjawab atas kebenaran prosedur pengambilan dan penanganan contoh sebelum diterima Laboratorium Pengujian.

Semarang, 12 September 2024

 Ditandatangani secara elektronik oleh :  
Ketua Tim Kerja Pengujian dan Kalibrasi  
Cholid Syahroni, S.Si, M.Si

- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE.
- Dilarang mengutip/mencopy dan/atau mempublikasikan sebagian laporan ini tanpa seijin BBSPJPPI.
- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
- Permintaan revisi dapat dilayani maksimal dua minggu setelah LHU ini diterima.

**LAPORAN HASIL UJI**  
**REPORT OF ANALYSIS**

**Nomor Contoh**  
**Sample Number** : 37059.2024/AK2.7583

**Jenis Contoh**  
**Material** : Pupuk Organik Padat

**Cap**  
**merk** :

**Kode**  
**Code** : Kompos Apu Api Padat

**Parameter**  
**Parameters** : -

**Asal Contoh**  
**Sample's Origin** : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Dibuat Untuk**  
**Executed** : Irfa Darajat  
Dormitory Pontada No. 42A , Sorowako, Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92984

**Tgl. Pengambilan Contoh**  
**Sample Taken on** : -

**Tgl. Penerimaan Contoh**  
**Sample Received on** : 26/08/2024

**Kemasan Contoh**  
**Sample Packaging** : Plastik

Nomor Contoh : 37059.2024/AK2.7583  
Kode Contoh : Kompos Apu Api Padat  
Asal Contoh : PT Vale Indonesia, Luwu timur  
Dibuat Untuk : Irfa Darajat  
Tanggal Diterima : 26/08/2024

### HASIL PENGUJIAN


No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	C Organik	%	19,08	AOAC 967.05,2000
2	Rasio C/N	-	4,603	Perhitungan
3	Kadar Air	%	85,26	SNI 7763:2018 butir 6.3
4	Kadar Abu	%	18,20	SNI 7763 : 2018 butir 6.5
5	Cemaran Arsen (As)	mg/Kg	0,495	SNI 2803 : 2012 6.7
6	Kadmium (Cd)	mg/Kg	< 0,271	SNI 2803 : 2012 butir 6.6.2
7	Kromium (Cr)	mg/Kg	86,84	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
8	Nikel (Ni)	mg/Kg	540,8	SNI 7763:2018 butir 6.8.2
9	Kadar Nitrogen (N)	%	4,146	SNI 2803 : 2012 butir 6.2
10	P sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	2,892	SNI 7763 : 2018 butir 6.7
11	K sebagai K <sub>2</sub> O	%	3,880	AOAC 983.02,2000
12	Jumlah kadar N, P, K	%	10,92	Perhitungan
13	pH	-	8,65	AOAC 994.18,2000
14	Bahan Ikutan (Plastik,kaca, kerikil)	%	12,17	AOAC 973.03,2000
15	Besi (Fe)	mg/Kg	14050	AOAC 19th, 980.01, 2012, ch. 2, p.35
16	Seng (Zn)	mg/Kg	318,8	AOAC 19th, 975.02, 2012, ch. 2, p.40

Semua persyaratan di atas kecuali kadar air, dihitung atas dasar berat kering.

#### KETERANGAN :

1. Contoh dikirim
2. Parameter uji sesuai permintaan pengirim contoh
3. Pengirim contoh bertanggungjawab atas kebenaran prosedur pengambilan dan penanganan contoh sebelum diterima Laboratorium Pengujian.

Semarang, 12 September 2024

 Ditandatangani secara elektronik oleh :  
Ketua Tim Kerja Pengujian dan Kalibrasi  
Cholid Syahroni, S.Si, M.Si

- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE.
- Dilarang mengutip/mencopy dan/atau mempublikasikan sebagian laporan ini tanpa seijin BBSPJPPI.
- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
- Permintaan revisi dapat dilayani maksimal dua minggu setelah LHU ini diterima.