

Pengelolaan Reklamasi Lahan Pascatambang Nikel di Sulawesi Tenggara Menggunakan Fitoremediasi (Studi Kasus: PT. X)

Asri Ramadhani Savitri, Ipung Fitri Purwanti

Program Studi Magister Manajemen Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jawa Timur

*Koresponden email: asri.r.ar@gmail.com, ipung_fp@its.ac.id

Diterima: 20 Januari 2025

Disetujui: 29 Januari 2025

Abstract

Law No. 3 of 2020 on Mineral and Coal Mining states that reclamation is an activity that must be carried out during mining operations in order to repair, restore and improve the quality of the environment and ecosystems so that they can function again according to their mission. Phytoremediation can serve as an alternative solution in reclamation activities that is cost effective, efficient and environmentally friendly. This research aims to determine the efficiency of nickel reduction using Sengon (*Paraserianthes falcataria*), while calculating and analysing the financial requirements and risk management involved. Nickel post-mining soil was placed in 25x25 cm polybags and four-month-old Sengon was planted. The plants were maintained with fertiliser and humic substances and watered daily. Nickel levels in the soil were measured using atomic absorption spectrophotometry (AAS). The results showed that reactor HOP0 (100% post-mining soil) successfully removed 72.5% of the nickel.

Keywords: *nickel, phytoremediation, sengon (paraserianthes falcataria), reclamation, post-mining land*

Abstrak

Pada Undang-undang No. 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara menjelaskan bahwa reklamasi merupakan kegiatan yang harus dilakukan selama tahapan usaha pertambangan untuk membenahi, memulihkan, dan memperbaiki kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai alokasinya. Fitoremediasi dapat dijadikan solusi alternatif dalam kegiatan reklamasi yang murah, efektif dan ramah lingkungan. Diharapkan penelitian ini dapat mengetahui efisiensi penurunan nikel menggunakan Sengon sehingga dapat menghitung dan menganalisis kebutuhan finansial dan manajemen risiko yang akan terjadi. Tanah pascatambang nikel dimasukkan ke polybag berukuran 25x25 cm, lalu ditanam Sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang berumur 4 bulan, perawatan dilakukan dengan pemberian pupuk dan bahan humat serta dilakukan penyiraman setiap harinya. Kemudian dilakukan uji kadar nikel dalam tanah melalui pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Hasil menunjukkan reaktor HOP0 (100% tanah pascatambang) berhasil menyisihkan nikel sebesar 72,5%.

Kata Kunci: *fitoremediasi, lahan pascatambang, nikel, reklamasi, sengon (paraserianthes falcataria)*

1. Pendahuluan

Berbagai aktivitas pertambangan dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Aktivitas pertambangan mempengaruhi setiap komponen ekosistem, dan efek ini dapat bervariasi dari sifat sementara hingga permanen, konstruktif hingga destruktif, dapat diperbaiki hingga tidak dapat diperbaiki, dan dapat dicabut kembali hingga tidak dapat dicabut kembali [14].

Lubang-lubang bekas penambangan serta pembukaan lapisan tanah yang subur pada saat penambangan dapat mengakibatkan daerah yang semula subur menjadi daerah yang tandus dan akan memerlukan waktu yang sangat lama untuk kembali ke dalam kondisi semula. Polusi dan degradasi lingkungan akan terjadi pada semua tahap dalam aktivitas pertambangan, mulai dari tahap prosesi mineral serta semua aktivitas yang menyertainya dalam seluruh tahap tersebut seperti penggunaan peralatan survei, bahan peledak, alat-alat berat, limbah mineral padat yang tidak dibutuhkan

Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar melalui proses penguraian 3 kontaminan menggunakan tumbuhan [8]. Fitoremediasi dinilai sebagai proses yang berkelanjutan dan murah, serta merupakan suatu alternatif baru yang berkembang dengan cepat sehingga sangat cocok untuk diterapkan. Tanaman Sengon (*P. falcataria*) digunakan sebagai media pertumbuhan dengan variasi bahan humat dan kompos sebagai pembantu dalam meningkatkan kualitas tanah bekas tambang nikel.

Pada penelitian sebelumnya, tanaman Sengon (*P. falcataria*) digunakan sebagai media pertumbuhan dengan variasi bahan humat dan kompos sebagai pembantu dalam membuat kualitas tanah bekas tambang

nikel meningkat [7] [8] [13]. Sedangkan pada penelitian kali ini jumlah bahan humat disesuaikan berdasarkan penelitian sebelumnya. Maka dari uraian di atas dilakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme fitoremediasi dan besarnya efektivitas tanam *Paraserianthes falcataria* dalam menyerap logam berat nikel pada lahan reklamasi pascatambang nikel.

2. Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan selama 60 hari (Oktober 2024 hingga Desember 2025). Media tanam diambil dari tanah tambang nikel PT. X di berlokasi Kecamatan Asera Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Haluoleo dan Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan ITS.



Gambar 1. Peta Lokasi Tambang PT.X

Pengambilan Sampel dan Prosedur Kerja

Pengambilan sampel dilakukan pada PT.X yang berlokasi di Konawe Utara. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode random sampling dan diambil pada bagian bedrock yang merupakan lapisan terbawah dari nikel laterit biasanya sudah tidak mengandung mineral ekonomis (Ahmad, 2006). Sampel diambil menggunakan sekop kemudian dimasukkan ke dalam karung yang telah disediakan.

Media tanah yang sudah diambil kemudian dimasukkan ke dalam polybag berukuran 25x25 cm dan setiap polybag yang berisi 2 kg media tanah dan kompos. Setelah media tanam siap, bibit Sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang didapat dari dinas kehutanan kemudian ditanam lalu diberi perlakuan bahan humat 1,25 ml pada masing-masing polybag dan pupuk NPK sebanyak setengah sendok atau 0,03 kg per polybag. Penyiraman dilakukan setiap hari agar kadar air didalam polybag tetap terjaga.

Rancangan penelitian

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dengan perlakuan perbandingan antara tanah pascatambang dan kompos yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 40:60. *Range finding test* tidak dilakukan mengacu pada percobaan [7]. Berikut rancangan tanah pascatambang dan kompos yang diaplikasikan pada kompos adalah tanah pascatambang tanpa kompos 100:0 (H0P0), perbandingan 75:25 tanah pascatambang dan kompos (H1P1), perbandingan 60:40 tanah pascatambang dan kompos (H2P2), perbandingan 50:50 tanah pascatambang dan topsoil (H3P3).

Tabel 1. Matriks Perlakuan

Perlakuan	Tanah pascatambang	Kompos
H0P0 (100:0)	2 kg	0
H1P1 (75:25)	1,5 kg	0,5 kg
H2P2 (60:40)	1, 2 kg	0,8 kg
H3P3 (50:50)	1 kg	1 kg

Dilakukan pengukuran suhu, pH dan kelembaban tanah pada setiap minggu nya. Pemanenan dilakukan 60 hari setelah tanam. Pengamatan yang dilakukan berupa berat kering batang, berat kering akar serta kadar nikel di dalam akar, batang dan daun. Pengukuran konsentrasi logam nikel pada tanah dipantau pada hari ke- 0, 14, 30 dan 60 serta pada tumbuhan (akar, batang dan daun) ada hari ke- 0 dan 60.

1. Uji Konsentrasi Logam Berat Nikel (Ni)

Pada penelitian ini parameter yang diuji adalah konsentrasi logam berat nikel (Ni) pada tanah pascatambang, pengukuran kadar menggunakan metode AAS (SNI 6989.18:2009). Sebelum dilakukan pengukuran kandungan logam berat yang ada di dalam jaringan tumbuhan serta sedimen dengan menggunakan instrument AAS, terlebih dahulu dilakukan ekstraksi (proses pemisahan kandungan logam berat dengan jaringan tumbuhan). Metode ekstraksi logam berat yang digunakan mengacu pada Standard Method (2012) yaitu dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Larutkan $\pm 0,1$ g sampel kering lalu tambahkan dengan 10 ml HNO_3 pekat atau aqua regia kedalam beaker berisi sampel kering.
2. Panaskan *beaker* pada pelat panas (*hotplate*) pada suhu sekitar 90-100°C selama beberapa jam hingga larutan hampir mendidih, dan logam terlarut dalam asam.
3. Setelah proses ekstraksi selesai, biarkan larutan mendingin.
4. Setelah tanah dilarutkan, larutan disaring melalui kertas saring untuk memisahkan residu padatan. Filtrat yang mengandung ion nikel dikumpulkan untuk analisis lebih lanjut.
5. Filtrat hasil ekstraksi biasanya diencerkan dengan air de-ionisasi atau air destilasi hingga volume tertentu (misalnya 50 mL)
6. Larutan hasil ekstraksi dengan aqua regia dapat dibaca konsentrasi aluminium pada alat AAS.

2. Analisis Konsentrasi Logam Berat Nikel (Ni)

Pada penelitian ini parameter yang diuji adalah konsentrasi logam berat nikel (Ni) pada tanah pascatambang, pengukuran kadar menggunakan metode AAS (SNI 6989.18:2009). Sebelum dilakukan pengukuran kandungan logam berat yang ada di dalam jaringan tumbuhan serta sedimen dengan menggunakan instrument AAS, terlebih dahulu dilakukan ekstraksi (proses pemisahan kandungan logam berat dengan jaringan tumbuhan).

a. Perhitungan Nilai Biokonsentrasi (BCF)

BCF (*Bioconcentration Factor*) digunakan sebagai indikator untuk menunjukkan seberapa banyak logam berat yang terkonsentrasi dalam tubuh makhluk hidup. BCF dapat dihitung dengan membandingkan konsentrasi logam dalam tubuh organisme dengan konsentrasi logam di lingkungan sekitarnya [5] Perhitungan bioakumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$BCF \text{ Tanaman} = \frac{C \text{ tumbuhan}}{C \text{ Logam berat}}$$

Keterangan:

- BCF = Nilai *Bioconcentration factor*
 C tumbuhan = Konsentrasi logam berat pada tumbuhan
 C sedimen = Konsentrasi logam berat pada sedimen

b. Perhitungan Nilai *Translocation Factor* (TF)

Nilai translokasi faktor dapat didefinisikan sebagai rasio akumulasi logam berat pada daun dibandingkan dengan konsentrasi pada akar [2]. Nilai TF (*Translocation Factor*) menjelaskan tentang kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan zat pencemar logam dari akar ke bagian

jaringan tumbuhan yang lain. Nilai $TF > 1$ menunjukkan bahwa tumbuhan sangat efektif dalam mentranslokasikan logam berat dari akar ke bagian tumbuhan (batang dan daun) [16]. Nilai faktor translokasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$TF = \frac{C_{daun}}{C_{akar}}$$

Keterangan:

TF = Nilai *Translocation factor*
 C daun = Konsentrasi logam berat pada daun
 C akar = Konsentrasi logam berat pada akar

3. Analisis Data Statistik

Berdasarkan penelitian [6] data observasi konsentrasi logam berat Nikel dianalisis dengan *one way* ANOVA pada tingkat kepercayaan 95% menggunakan perangkat lunak SPSS 27.0. Analisa data statistik menggunakan ANOVA dengan nilai $P < 0,05$ untuk menjelaskan rata-rata variasi konsentrasi logam berat Nikel yang terkandung dalam tumbuhan Sengon (*Paraserianthes falcataria*). Selanjutnya dilakukan *Duncan Multiple test* (DMRT) yang dipakai untuk menjelaskan adanya perbedaan rata-rata yang ada dilakukan pada $\alpha = 0,05$. Regresi antar parameter juga dianalisis untuk memahami korelasi antar parameter.

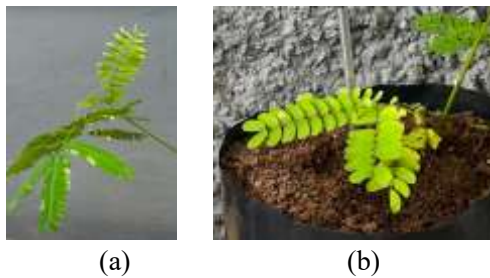
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Pertumbuhan Tumbuhan Sengon (*Paraserianthes falcataria*)

Tanaman Sengon merupakan tanaman cepat tumbuh yang mudah dibudidayakan dan beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Pertumbuhan tanaman ini menjadi indikator penting untuk menilai efek toksisitas logam berat seperti nikel.

a. Daun

Daun Sengon berperan utama dalam fotosintesis. Pengamatan menunjukkan daun mengalami penguningan dan gugur pada minggu pertama akibat toksisitas nikel di tanah. Konsentrasi nikel >100 mg/kg dapat menyebabkan klorosis (penurunan kadar klorofil) dan nekrosis (kerusakan permanen sel). Hal ini memengaruhi produktivitas dan kesehatan tanaman. Efek dari toksik nikel dapat menyebabkan klorosis dan nekrosis [15].

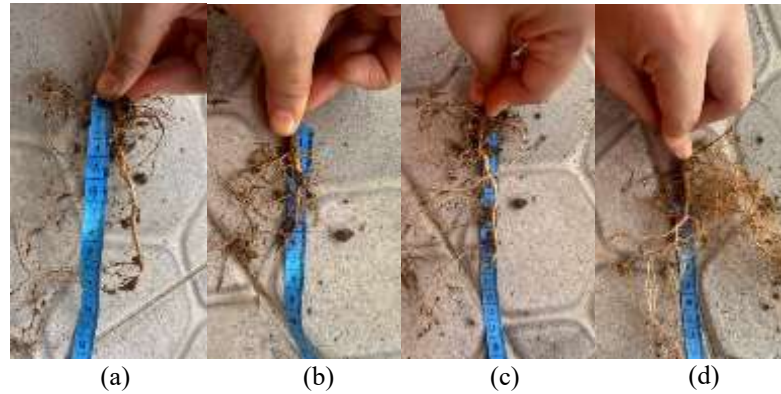


Gambar 2. Nekrosis (a) dan Klorosis (b) pada Daun

b. Akar

Pengaruh nikel (Ni) dapat mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman. Tanaman Sengon yang dapat beradaptasi dengan segala jenis tanah. Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan akar paling berkembang pada H0P0. Konsentrasi nikel yang berlebihan dapat menyebabkan berbagai perubahan fisiologis dan metabolik seperti inhibisi pertumbuhan akar, gangguan

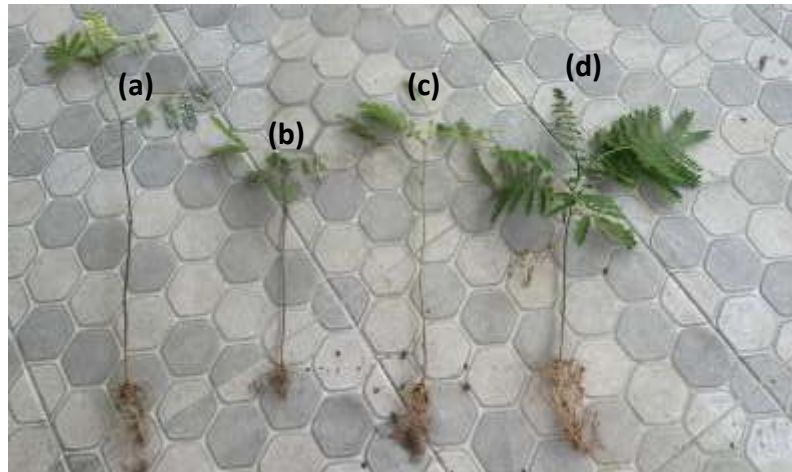
penyerapan dan translokasi air serta unsur hara mineral. Dalam inhibisi pertumbuhan akar terjadi karena akumulasi nikel di jaringan akar menghambat aktivitas enzim penting yang diperlukan untuk pembelahan dan pemanjangan sel akibatnya akar menjadi lebih pendek [15].



Gambar 3. Pertumbuhan Akar (a) H3P3, (b) H2P2, (c) H1P1, (d) H0P0
 Sumber: Wasefa *et al.*, 2022

c. Batang

Logam berat menghambat pembelahan dan pemanjangan sel batang, memperlambat pertumbuhan. Produksi *reactive oxygen species* (ROS) akibat logam berat merusak membran sel batang dan menurunkan kualitas tanaman. Batang yang menunjukkan perubahan warna menjadi indikator adanya stres fisiologis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa logam berat dalam konsentrasi tinggi di tanah dapat menyebabkan penghambatan enzim, gangguan fotosintesis, perubahan struktur sel dan penurunan penyerapan hara [15].

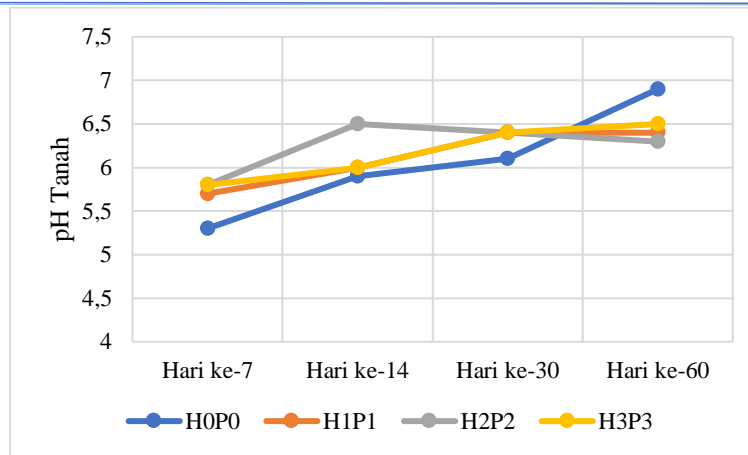


Gambar 4. Pertumbuhan Batang (a) H3P3, (b) H2P2, (c) H1P1, (d) H0P0

3.2 Analisis pH Tanah

Tingkat keasaman tanah (*pH tanah*) sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman, karena berpengaruh pada ketersediaan unsur hara dan aktivitas mikroorganisme tanah. Pada lahan bekas tambang nikel, pH tanah cenderung menurun dari 6,2 menjadi 5,3, yang menunjukkan peningkatan keasaman dan potensi keracunan nikel [10].

Pengukuran menunjukkan bahwa pH tanah berkisar antara 5,3 hingga 6,9, dengan kenaikan pH pada semua reaktor setiap minggunya akibat penambahan bahan organik seperti kompos yang melepaskan basa saat terdekomposisi. Idealnya, tanaman tumbuh subur pada pH 6,2–7,5 [4].



Gambar 5. Hasil Pengukuran pH Tanah

Keterangan:

H0P0 : 100% tanah reklamasi

H1P1 : 75% tanah reklamasi + 25% kompos

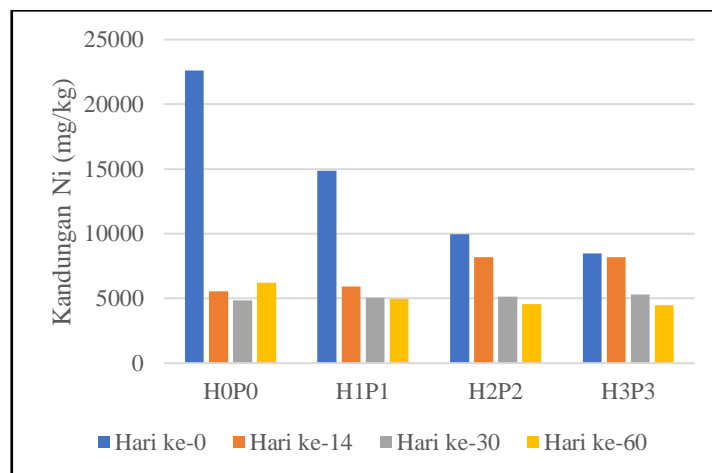
H2P2 : 60% tanah reklamasi + 40% kompos

H3P3 : 50% tanah reklamasi + 50% kompos

Tanah dengan pH rendah atau bersifat asam menghambat penyerapan unsur hara, menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Kondisi ini mengakibatkan tanaman sulit menyerap nutrisi optimal, sehingga berdampak negatif pada pertumbuhan dan produktivitasnya [4].

3.3 Analisis Kandungan Logam Berat Nikel Pada Tanah

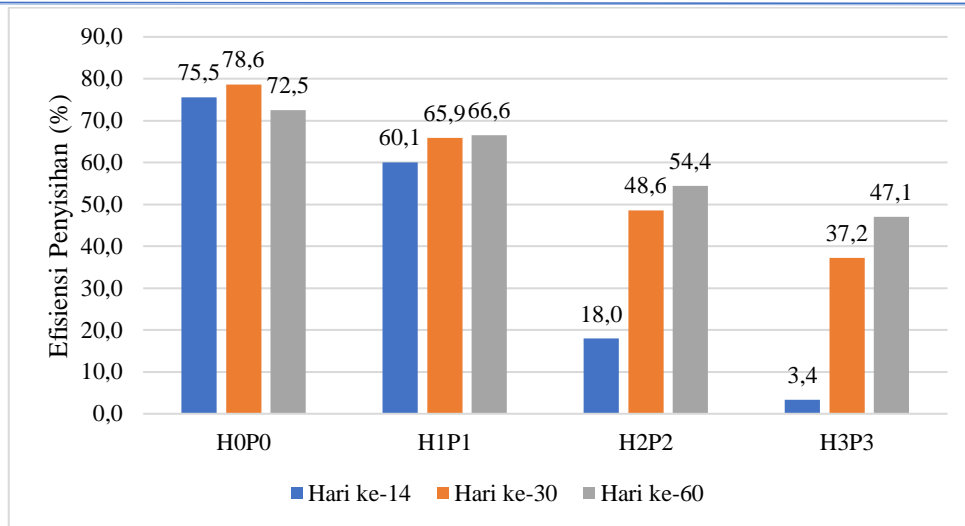
Penurunan logam berat nikel pada tanah dilakukan pada hari ke-0, 14, 30, dan 60. Hasil uji kandungan Ni pada tanah ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Kandungan Nikel Pada Tanah

Pada **Gambar 4** kandungan Ni tertinggi pada hari ke-0 pada masing-masing reaktor dengan reaktor H0P0 memiliki kandungan tertinggi senilai 22630 mg/kg. Kemudian dilakukan penanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dengan komposisi kompos yang telah ditentukan. Kemudian pada hari ke-60 reaktor dengan kandungan nikel paling rendah berada pada reaktor H3P3 dengan kandungan senilai 4483,5 mg/kg.

Berdasarkan hasil pengujian maka didapat efisiensi penyisihan Nikel menggunakan tanaman Sengon dalam media tanah. Efisiensi penyisihan Nikel yang terjadi pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Efisiensi Penyisihan Nikel

Pemberian kompos dan bahan humat pada tanah pascatambang nikel dapat memperbaiki sifat kimia tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman sengon. Pengaplikasian kompos dan bahan humat meningkatkan kandungan nitrogen total, fosfor, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, dan kation basa tanah yang dipertukarkan (Ca, Mg, K dan Na) yang akhirnya dapat mendukung pertumbuhan sengon [7].

H0P0 memiliki efisiensi penyerapan tertinggi karena pada tanah yang 100% tercemar nikel, konsentrasi nikel lebih tinggi, sehingga tanaman sengon memiliki lebih banyak nikel yang tersedia untuk diserap. Pemberian bahan humat dan pupuk NPK dapat meningkatkan ketersediaan nikel dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Pupuk NPK menyediakan unsur hara yang mendukung pertumbuhan tanaman, sementara bahan humat dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara, termasuk nikel [7].

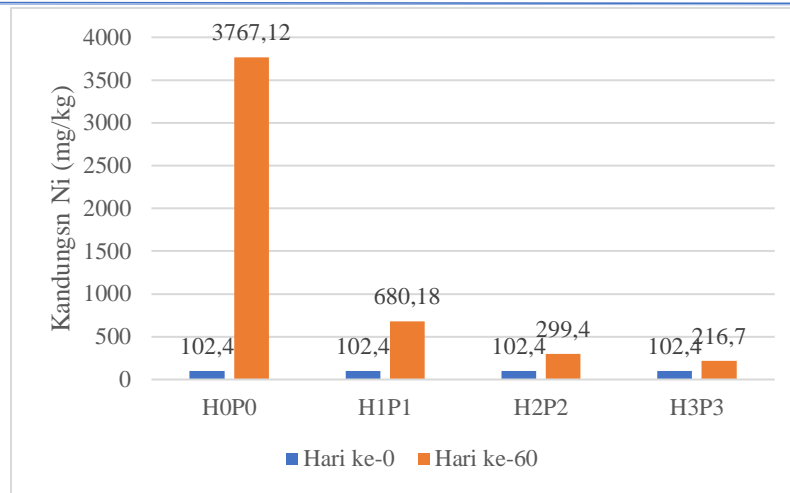
Pemberian bahan humat dan pupuk NPK dapat meningkatkan ketersediaan nikel dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Pupuk NPK menyediakan unsur hara yang mendukung pertumbuhan tanaman, sementara bahan humat dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara, termasuk nikel [7].

Bahan humat dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus unsur hara. Mikroorganisme ini dapat mempengaruhi ketersediaan dan mobilitas nikel dalam tanah, sehingga meningkatkan penyerapan oleh tanaman [7]. Penambahan kompos meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, yang dapat membentuk kompleks dengan logam berat. Kompleks dapat mengubah logam berat menjadi bentuk yang kurang larut dan kurang tersedia bagi tanaman, sehingga mengurangi penyerapan logam berat oleh tanaman

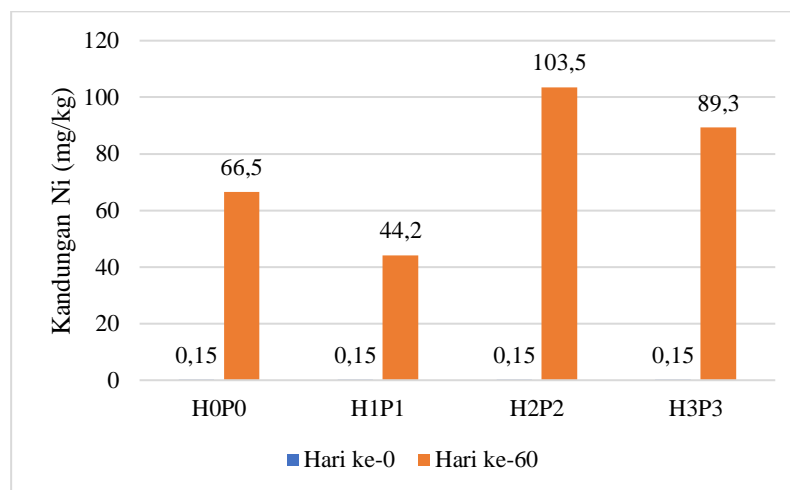
3.4 Analisis Kandungan Logam berat Nikel Pada Tumbuhan

Proses awal logam berat akan diserap dari tanah melalui akar tanaman. Ion Nikel (Ni^{2+}) memasuki akar melalui saluran ion atau protein transporter yang terdapat pada membrane sel akar. Kemudian setelah diserap oleh akar, Nikel akan ditranslokasikan ke bagian atas tanaman melalui aliran transpirasi jaringan *xylem*. Nikel kemudian terakumulasi diberbagai bagian tanaman, terutama pada akar, batang, dan daun. Penyimpanan ini dapat terjadi dalam bentuk kompleks dengan senyawa organik dalam vakuola sel untuk mengurangi toksisitas [3].

Dari **Gambar 8** pada awal penelitian kandungan Nikel di akar sebesar 102,4 mg/kg setelah diberi perlakuan pemberian kompos, bahan humat, dan pupuk NPK penyerapan Nikel tertinggi terdapat pada H0P0 sebesar 3767,12 mg/kg sedangkan terkecil pada H3P3 sebesar 216,7 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses fitoekstraksi pada penelitian kali ini. Tingginya kandungan logam di tanah akan menyebabkan logam lebih banyak diserap oleh akar tanaman. Akumulasi logam berat yang tinggi pada akar menunjukkan bahwa tanaman tersebut dapat melakukan pengangkutan logam berat ke bagian tumbuhan lain, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sistem fotosintesis tumbuhan. Penambahan kompos ke dalam tanah pascatambang dapat meningkatkan kandungan bahan organik yang dapat membentuk kompleks dengan logam berat, sehingga mengurangi ketersediaan logam yang dapat diserap oleh Sengon. Penambahan kompos dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada fraksi yang tersedia bagi tanaman yang berarti bahwa jumlah logam berat dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman berkurang [12].

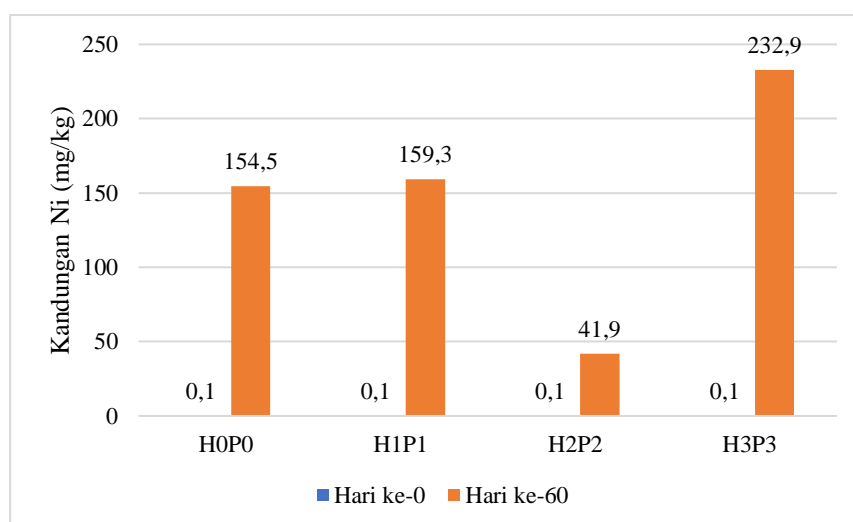


Gambar 8. Kandungan Logam Berat Nikel Pada Akar



Gambar 9. Kandungan Logam Berat Nikel Pada Batang

Berdasarkan **Gambar 9**, logam berat Nikel berhasil diserap dengan jumlah tertinggi pada H2P2 dengan kandungan sebanyak 103,5 mg/kg dan terendah pada H1P1 dengan kandungan sebanyak 44,2 mg/kg. Batang tanaman biasanya berfungsi sebagai saluran transportasi untuk logam berat diserap melalui akar dan terkadang sebagai tempat penyimpanan logam tersebut. Logam berat seperti Nikel dapat di translokasikan dari akar ke batang dalam konsentrasi yang lebih rendah dibanding dengan akar [3].



Gambar 10. Kandungan Logam Berat Nikel Pada Daun

Pada **Gambar 10**, H3P3 mampu menyerap nikel sebanyak 232,9 mg/kg sedangkan H2P2 hanya mampu menyerap nikel sebanyak 41,9 mg/kg. Kandungan logam berat pada daun tanaman merupakan salah satu indikator dari mekanisme akumulasi logam berat yang terjadi setelah logam berat tersebut diserap oleh akar dan ditranslokasikan ke bagian atas tanaman. Daun menjadi tempat penyimpanan utama bagi logam berat yang telah ditranslokasikan dari akar melalui batang dan sistem vaskular lainnya.

3.5 Faktor Bioakumulator Tumbuhan

Kemampuan Penyerapan logam berat pada tanaman dapat ditentukan dengan menghitung faktor biokonsentrasi (BCF) dan factor translokasi (TF). Faktor biokonsentrasi dan translokasi adalah nilai yang dapat digunakan untuk menentukan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat. Tanaman yang memiliki nilai faktor biokonsentrasi dan nilai faktor translokasi >1 dapat digunakan sebagai bioakumulator. Tanaman yang memiliki nilai faktor biokonsentrasi >1 dan faktor translokasi 1 dapat digunakan sebagai fitoekstraksi [11].

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai BCF dan TF

Reaktor	Kandungan Nikel Pada Media (mg/kg)	Kandungan Nikel pada Tumbuhan (mg/kg)			Nilai BCF	Nilai TF
		Akar	Batang	Daun		
H0P0	6215,5	3767,12	66,5	154,5	0,642	0,041
H1P1	4962,6	680,18	44,2	159,3	0,178	0,234
H2P2	4545,1	299,4	103,5	41,9	0,098	0,140
H3P3	4483,5	216,7	89,3	232,9	0,120	1,075

Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 2** tumbuhan Sengon (*Paraserianthes falcataria*) memiliki nilai BCF < 1 menyatakan bahwa tumbuhan Sengon merupakan ekskluder, yaitu tumbuhan yang mencegah zat pencemar logam berat memasuki bagian tumbuhan lain namun konsentrasi logam berat di sekitar perakaran masih tinggi. Sedangkan nilai TF menjelaskan tentang kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan zat pencemar logam dari akar ke bagian jaringan tumbuhan yang lain. Nilai TF > 1 menunjukkan bahwa tumbuhan sangat efektif dalam mentranslokasikan logam berat dari akar ke bagian tumbuhan (batang dan daun) [16]. Pada perhitungan nilai TF hanya H3P3 yang mempunyai nilai TF > 1, Dimana artinya sengon dengan perlakuan 50% tanah tambang dan 50% kompos dapat mentranslokasikan logam berat pada jaringan tumbuhan.

3.6 Uji Statistik

Untuk mengetahui adanya perbedaan penurunan kadar logam berat dengan variasi yang digunakan, maka dilakukan Analisa statistic menggunakan uji *One way anova*. Analisis data menggunakan *one way anova* (Analisis Varian Satu Arah) adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata di antara tiga atau lebih kelompok independent berdasarkan satu faktor atau variable independent. Metode ini membantu menentukan ada tidaknya perbedaan signifikan antara rata-rata kelompok yang diuji [11].

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas

Tests of Normality							
REAKTOR	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
PENGUJIAN H0P0	.412	4	.	.691	4	.009	
H1P1	.394	4	.	.701	4	.012	
H2P2	.262	4	.	.909	4	.475	
H3P3	.283	4	.	.853	4	.236	

a. Lilliefors Significance Correction

Sebelum melakukan uji *One way anova* dilakukan uji normalitas data sebagai syarat asumsi pengujian. Pada SPSS 27.0 pengujian normalitas menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk*. Dari **Tabel 3** diketahui bahwa nilai Sig > 5 yang artinya data yang ada berdistribusi normal. Selanjutnya dapat dilakukan uji homogenitas.

Tabel 4. Hasil Uji Homogenitas

Tests of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
PENGUJIAN	Based on Mean	2.878	3	12	.080
	Based on Median	.307	3	12	.820
	Based on Median and with adjusted df	.307	3	4.752	.820
	Based on trimmed mean	2.163	3	12	.146

Pengujian homogenitas dilakukan untuk mengetahui persamaan varian yang ada pada data valid atau tidak. Pada SPSS 27.0 pengujian homogenitas dilakukan dengan pengujian *Levene*. Berdasarkan **Tabel 4** hasil uji homogenitas didapatkan sebesar 0,146 dimana apabila nilai sig > 0,05 dapat disimpulkan bahwa varian data yang diujikan adalah homogen atau sama. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One way anova* terpenuhi.

Tabel 5. Hasil Uji *One Way Anova*

ANOVA					
PENGUJIAN	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24617033.3	3	8205677.76	.307	.820
Within Groups	320791112	12	26732592.7		
Total	345408145	15			

Uji *Anova* digunakan untuk menentukan apakah rata-rata keempat sampel sebanding atau berbeda. Berdasarkan [12] ketentuan yang digunakan dalam mengambil keputusan dalam uji *One way Anova* jika nilai signifikansi (Sig) > 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil pengujian yang dilakukan adalah sama atau tidak ada perbedaan secara signifikan.

4. Kesimpulan

Toksisitas nikel pada konsentrasi tinggi di tanah menghambat pertumbuhan daun, akar, dan batang melalui gangguan metabolisme, fotosintesis, enzim, dan penyerapan hara. Sengon dapat menjadi indikator potensial untuk mengukur efek toksisitas logam berat di tanah. Efisiensi penyisihan Nikel menggunakan tanaman Sengon pada reaktor HOP0 sebesar 72,5%, HIP1 sebesar 66,6%, H2P2 sebesar 54,4%, H3P3 sebesar 47,1%. Efisiensi penyisihan Nikel terbesar terdapat pada reaktor HOP0 dengan perbandingan 100% tanah pascatambang sebesar 72,5%. Berdasarkan hasil dari BCF menunjukkan bahwa tanaman Sengon merupakan ekskluder. Sengon dapat digunakan sebagai media dalam kegiatan reklamasi lahan pascatambang nikel, sengon dapat berkontribusi dalam perbaikan kualitas tanah. Setelah masa panen, lahan yang telah diremediasi dapat dimanfaatkan Kembali untuk pertanian atau kehutanan.

5. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut mengenai kualitas tanah yang ada di Lokasi pascatambang sehingga dapat menentukan usia Sengon yang dapat digunakan pada lahan pascatambang nikel. Harus dilakukan perencanaan yang matang, pemantauan yang berkelanjutan, dan dukungan dari berbagai pihak dalam melakukan kegiatan fitoremediasi menggunakan sengon.

6. Daftar Pustaka

- [1] Ahmad, W. (2006). Laterite: Mine Geology at PT. International Nickel Indonesia. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- [2] Alzahrani, Y., Hakeem, K.R., Zhang, L., (2019). Assisting phytoremediation of heavy metals using chemical amendments. *Plants*. 8 (9), 295.

- [3] Chen, C., Huang, D., & Liu, J. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water*, 37(4-5), 304-313.
- [4] Rachmawati, Arini Yunia, and Tatik Wardiyati. (2018). "Pengaruh pH tanah dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan warna bunga hortensia (*Hydrangea macrophylla*)."
PLANTROPICA: Journal of Agricultural Science 2.1.: 23-29.
- [5] Ghosh, M., dan Singh, S.P., (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metal and Utilization of Its By Product, *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(2):1-18.
- [6] Hamim, Lutfiani, Saprudin, D., Hutagalung, P. N. A., Hadisunarso, Setyaningsih, L., & Putra, H. F. (2021). Gold mine wastewater induced morpho-physiological alteration of four biodiesel producing species. *HAYATI Journal of Biosciences*, 28(1), 63–72. <https://doi.org/10.4308/hjb.28.1.63>
- [7] Zinati, G. M., Li, Y. C., & Bryan, H. H. (2001). Utilization of compost increases organic carbon and its humin, humic and fulvic acid fractions in calcareous soil. *Compost Science & Utilization*, 9(2), 156-162.
- [8] Ikbali, I., & Iskandar, I. (2016). Penggunaan Bahan Humat Dan Kompos Untuk Meningkatkan Kualitas Tanah Bekas Tambang Nikel Sebagai Media Pertumbuhan Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 6(1), 53-53
- [9] Mangkoedihardjo, S., dan Samudro, G. (2010). Fitoteknologi Terapan. Graha Ilmu: Yogyakarta
- [10] Allo, M. K. (2016). Kondisi sifat fisik dan kimia tanah pada bekas tambang nikel serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan trengguli dan mahoni. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 207-217.
- [11] Noverita, D. T. (2017). Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF) of Heavy Metals in Mangrove Trees of Blanakan Fish Farm. *Makara Journal of Science*, 77-81.
- [12] Dewi, S. S., Ermina, R., Kasih, V. A., Hefiana, F., Sunarmo, A., & Widianingsih, R. (2023). Analisis Penerapan Metode One Way Anova Menggunakan Alat Statistik Spss. *Jurnal Riset Akuntansi Soedirman*, 2(2), 121-132
- [13] Ikbali, I., & Budi, S. W. (2016). Peningkatan Kualitas Tanah Bekas Tambang Nikel Untuk Meida Pertumbuhan Tanaman Revegetasi Melalui Pemanfaatan Bahan Humat dan Kompos. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 7(3), 153-158.
- [14] Vinayagam, S., Sathishkumar, K., Ayyamperumal, R., Natarajan, P. M., Ahmad, I., Saeed, M., Alabdallah, N. M., & Sundaram, T. (2024). Distribution and transport of contaminants in soil through mining processes and its environmental impact and health hazard assessment: A review of the prospective solution. In *Environmental Research* (Vol. 240). Academic Press Inc. [hPps://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117473](https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117473)
- [15] Begum, W., Rai, S., Banerjee, S., Bhattacharjee, S., Mondal, M. H., Bhattarai, A., & Saha, B. (2022). A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. *RSC advances*, 12(15), 9139-9153.
- [16] Zaeni, A., Ambardini, S., Sartinah, A., Ramadhani, A.N., Sartini., Amin, A., Patiung, G.W., Susilowati, P.E. (2021), "Studi Bioakumulasi Logam Krom (Cr), Seng (Zn) dan Nikel (Ni) pada Tumbuhan Obat Binahong (*Anredera cordifolia* (Ten) Steenis), Akta Kimindo, Vol. 6, hal. 12 – 27.