

Fitoremediasi Logam Berat pada Limbah Cair Elektroplating Menggunakan Tanaman Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) dan Alang-Alang (*Imperata cylindrica*)

Anidah H Triwulandari*, Firra Rosariawari

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: anidahnida11@gmail.com

Diterima: 16 Mei 2025

Disetujui: 21 Mei 2025

Abstract

The electroplating industry produces liquid waste containing dissolved heavy metals, such as copper and nickel. If this waste is not managed properly, it has the potential to cause environmental pollution. One method that can be used to address this issue, particularly with regard to the heavy metal parameters Cu and Ni, is phytoremediation. Phytoremediation utilises plants to remove pollutants from the environment. Plants that can absorb heavy metals in this way include napier grass (*Pennisetum purpureum*) and speargrass (*Imperata cylindrica*). This study aims to determine the ability of these two plant species to absorb and remove heavy metals (Cu and Ni) from electroplating waste. The research was conducted using a batch system with variations in sampling time on days 7, 14, 21, 28 and 35. Napier grass produced the best results on day 21, with reduction efficiencies of 85.7% for Cu and 82.5% for Ni. Meanwhile, speargrass produced the most optimal results on day 35, reducing Cu by 89.2% and Ni by 87.3%. Based on these results, speargrass proved to be more effective than napier grass in reducing the levels of the heavy metals copper (Cu) and nickel (Ni) in electroplating waste.

Keywords: *speargrass, phytoremediation, electroplating industry, napier grass*

Abstrak

Industri elektroplating menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat terlarut seperti tembaga (Cu) dan nikel (Ni). Apabila kandungan logam tersebut tidak dikelola dengan baik, maka berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mengatasi limbah cair tersebut, khususnya untuk parameter logam berat Cu dan Ni adalah metode fitoremediasi. Fitoremediasi adalah metode yang memanfaatkan tanaman dalam proses menyisihkan polutan. Tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dalam proses ini antara lain rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan alang-alang (*Imperata cylindrica*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kedua jenis tanaman tersebut dalam menyisihkan dan menyerap logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating. Penelitian dilakukan dengan sistem batch dan variasi waktu pengambilan sampel pada hari ke-7, 14, 21, 28, dan 35. Hasil terbaik untuk rumput gajah diperoleh pada hari ke-21 dengan efisiensi penurunan Cu sebesar 85,7% dan Ni sebesar 82,5%. Sementara itu, alang-alang menunjukkan hasil paling optimal pada hari ke-35 dengan persentase penurunan Cu sebesar 89,2% dan Ni sebesar 87,3%. Berdasarkan hasil tersebut, alang-alang terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating dibandingkan dengan rumput gajah.

Kata Kunci: *alang-alang, fitoremediasi, industri elektroplating, rumput gajah*

1. Pendahuluan

Industri elektroplating merupakan sektor industri yang mengaplikasikan teknik elektrokimia atau elektrolisis dalam proses produksinya. Kegiatan elektroplating menghasilkan berbagai jenis limbah, termasuk emisi gas, limbah padat, serta limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan mengandung logam berat terlarut seperti nikel, tembaga, kromium, dan unsur logam berat lainnya. Apabila kandungan logam berat dalam limbah tersebut tidak diolah sesuai standar yang ditetapkan, maka dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Paparan logam berat secara berlebihan dapat berdampak buruk bagi kesehatan, di antaranya menimbulkan gangguan imunologi, masalah pernapasan, kelainan pada kulit dan sistem endokrin, gangguan perilaku, serta stres oksidatif yang dipicu oleh pembentukan spesies oksigen reaktif [1].

Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni) merupakan unsur logam berat yang dihasilkan dari proses elektroplating. Tembaga (Cu) berperan penting dalam proses metabolisme tubuh apabila dikonsumsi dalam jumlah kecil. Namun, jika terakumulasi dalam kadar tinggi, tembaga dapat menimbulkan efek toksik seperti

keracunan, mual, muntah, serta kerusakan pada hati dan ginjal [2]. Nikel (Ni) tergolong logam dengan tingkat toksisitas yang rendah. Namun, apabila terdapat dalam konsentrasi tinggi di ekosistem perairan, logam ini dapat terakumulasi secara alami dalam tubuh organisme akuatik. Paparan logam berat seperti nikel berisiko menimbulkan gangguan fisiologis pada ikan dan berdampak terhadap kesehatan manusia jika masuk ke dalam tubuh, seperti gangguan fungsi ginjal, paru-paru, serta peningkatan risiko kanker [3].

Terdapat berbagai metode yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri pelapisan logam, namun sebagian besar metode tersebut cenderung mahal dan kurang efisien karena berpotensi menghasilkan polutan sekunder. Salah satu alternatif yang sederhana, ekonomis, serta ramah lingkungan untuk menghilangkan zat pencemar adalah melalui fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu teknik bioremediasi yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi pencemaran logam berat dengan memanfaatkan tanaman. Tanaman memiliki kemampuan untuk mengakumulasi zat pencemar, termasuk logam berat, melalui berbagai mekanisme seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, fitodegradasi, rizodegradasi, dan rizofiltrasi [4].

Beberapa jenis tanaman yang berpotensi digunakan dalam proses fitoremediasi logam berat antara lain rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan alang-alang (*Imperata cylindrica*). Rumput gajah memiliki kandungan selulosa sebesar 48,055%, di mana gugus fungsi seperti hidroksil dan karboksil dalam struktur selulosa mampu berinteraksi dengan ion logam [5]. Sementara itu, alang-alang memiliki kandungan selulosa lebih dari 40% serta mengandung polisakarida sebagai komponen utama penyusun dinding sel dan protein yang berperan sebagai gugus fungsi pengikat ion logam. [6]. Indikator keberhasilan fitoremediasi dapat ditentukan melalui akumulasi logam berat yang terserap dalam tanaman rumput gajah dan alang-alang. Sehingga penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kemampuan tanaman dalam menyisihkan dan menyerap logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating dengan membandingkan kedua tanaman.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fitoremediasi untuk menyisihkan logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating. Dalam penelitian ini menggunakan reaktor dari bak plastik ukuran 38 cm x 25 cm x 21 cm dengan volume air 10 L dan dilakukan dengan sistem *batch*. Tanaman yang digunakan yaitu rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebanyak 9 batang tanaman dengan jarak tiap tanaman 7,5 cm. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke 7, 14, 21, 28, dan 35.

Uji Karakteristik Awal Limbah Elektroplating

Tahap persiapan dilakukan dengan pengujian karakteristik awal dari air limbah industri elektroplating. Uji awal limbah digunakan sebagai acuan dalam mengetahui efisiensi penurunan parameter logam berat Cu dan Ni pada air limbah industri elektroplating. Tujuan dari pengujian awal yaitu untuk mengetahui konsentrasi atau kadar logam berat Cu dan Ni awal pada air limbah sebelum dilakukan pengolahan agar dapat dibandingkan dengan konsentrasi akhir setelah dilakukan proses fitoremediasi.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Awal Limbah Elektroplating

Parameter	Hasil	Satuan
Tembaga (Cu)	1,30	mg/l
Nikel (Ni)	5,81	mg/l
pH	5,42	-
Suhu	31,2	°C

Sumber: DLH Jawa Timur (2025)

Aklimatisasi

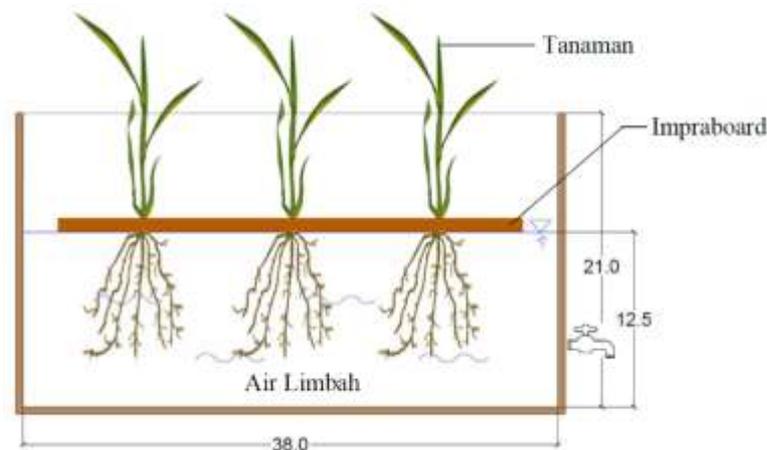
Tahap aklimatisasi untuk tanaman rumput gajah dan alang-alang menggunakan tanaman dengan ukuran yang sama tingginya, kemudian dimasukkan dalam reaktor aklimatisasi. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mendapatkan tanaman rumput gajah dan alang-alang yang sudah beradaptasi dengan kondisi lingkungan tempat percobaan. Tahap aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan menggunakan air PDAM/air bersih. Pemilihan tanaman rumput gajah dan alang-alang yang pertumbuhannya stabil yaitu dengan kriteria tanaman tidak menunjukkan perubahan signifikan, tumbuh subur, dan tidak layu.

Range Finding Test (RFT)

Tahap RFT dilakukan dengan variasi konsentrasi limbah elektroplating untuk mengetahui batas kritis konsentrasi. Tahap ini dilakukan sesuai dengan panduan USEPA Guidelines Part 850.4500 yang menyatakan bahwa RFT menggunakan variasi konsentrasi yang mengikuti deret geometrik. Konsentrasi yang digunakan pada tahapan RFT ini adalah konsentrasi 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. RFT dilakukan selama 4 hari atau 96 jam dan diamati tanaman yang tidak banyak mengalami perubahan. Apabila respons masih tidak terjadi, waktu pengujian dapat diperpanjang lagi hingga maksimal 14 hari. Setelah melakukan proses RFT, diperoleh hasil konsentrasi optimum limbah yang dapat diterima tanaman yaitu 20%.

Penelitian Utama

Setelah proses aklimatisasi dan RFT selesai, kemudian dilakukan proses fitoremediasi. Pertama mempersiapkan konsentrasi air limbah elektroplating sesuai dari hasil tahap RFT. Mempersiapkan reaktor dan menambahkan masing-masing reaktor dengan air limbah sesuai kadar yang telah ditentukan. Memasukkan tanaman rumput gajah dan alang-alang ke dalam reaktor dengan jumlah tanaman yaitu 9 batang tanaman untuk setiap reaktor. Kemudian, dilakukan proses fitoremediasi dengan mengamati tanaman dan lama waktu kontak. Melakukan sampling pada hari ke 7, 14, 21, 28 dan ke-35.



Gambar 1. Desain Reaktor Fitoremediasi
 Sumber: Analisis Penulis (2025)

Pengujian sampel air limbah dilakukan di laboratorium Dinas Lingkungan Hidup untuk menentukan kadar logam berat Cu dan Ni. Sedangkan untuk mengetahui logam berat Cu dan Ni yang terserap pada tanaman rumput gajah dan alang-alang dilakukan pengujian di laboratorium gizi Universitas Airlangga. Penyisihan kadar logam berat Cu dan Ni pada air limbah dianalisis menggunakan perhitungan persentase penyisihan yang didasarkan pada konsentrasi awal pencemar sebelum diolah dan konsentrasi akhir pencemar setelah diolah yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

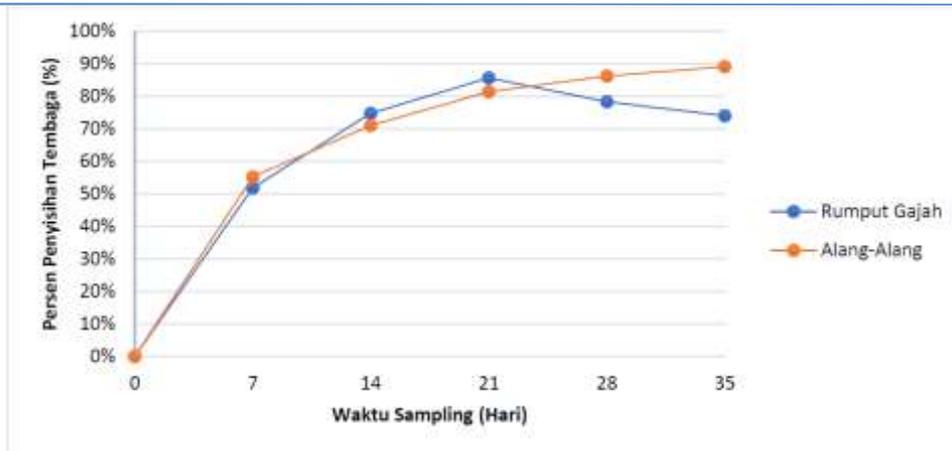
Keterangan : C_o = Konsentrasi awal
 C_e = Konsentrasi akhir

Kemudian dapat dilakukan analisis perbandingan tanaman yang lebih efektif dalam menyisihkan kadar logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating.

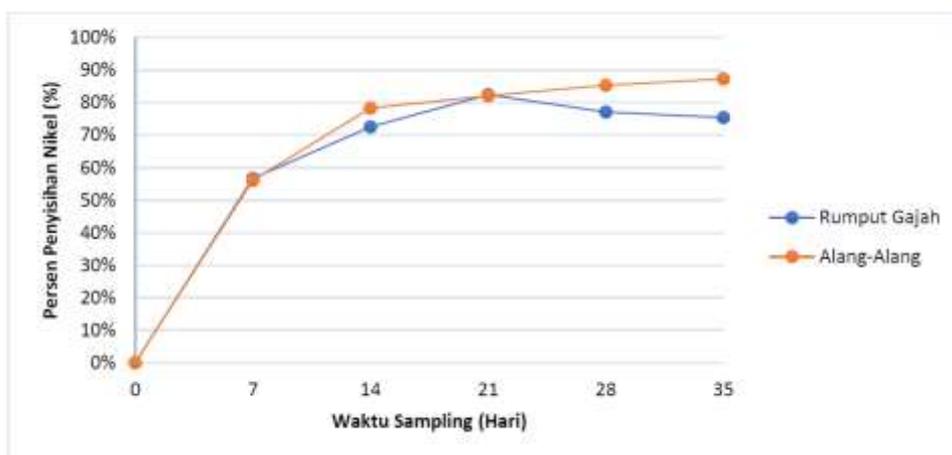
3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni) pada Limbah Elektroplating

Berdasarkan hasil penelitian dengan variasi jenis tanaman dan waktu sampling pada setiap bak reaktor. Waktu sampling sangat berpengaruh terhadap penyisihan kadar logam berat tembaga (Cu) dan nikel (Ni) yang terdapat dalam air limbah elektroplating. Berdasarkan hasil uji laboratorium didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 2. Persen Penyisihan Logam Berat Tembaga (Cu)
 Sumber: Analisis Penulis (2025)



Gambar 3. Persen Penyisihan Logam Berat Nikel (Ni)
 Sumber: Analisis Penulis (2025)

Berdasarkan **Gambar 2** dan **3**, hasil analisa logam berat Cu dan Ni setelah dilakukan proses pemaparan menggunakan tanaman rumput gajah dan alang-alang selama 35 hari dapat dilihat waktu yang paling baik untuk menurunkan kandungan logam berat Cu dan Ni berbeda tiap tanaman. Penyisihan kadar logam berat Cu dan Ni menggunakan tanaman alang-alang terus meningkat seiring bertambahnya variasi waktu sampling hingga hari ke-35. Pada tanaman alang-alang dapat dilihat bahwa waktu sampling yang paling baik untuk menyisihkan kadar logam berat Cu dan Ni adalah pada waktu sampling hari ke-35 sebesar 89,2% atau dari 1,30 mg/l menjadi 0,141 mg/l untuk logam berat Cu dan 87,3% atau dari 5,81 mg/l menjadi 0,738 mg/l untuk logam berat Ni.

Pada tanaman rumput gajah waktu sampling yang paling baik untuk menyisihkan kadar logam berat Cu dan Ni adalah pada waktu sampling hari ke-21 sebesar 85,7% atau dari 1,30 mg/l menjadi 0,186 mg/l untuk logam berat Cu dan 82,5% atau dari 5,81 mg/l menjadi 1,019 mg/l untuk logam berat Ni. Pada tanaman rumput gajah kadar Cu dan Ni mengalami kenaikan pada hari ke-28 dan hari ke-35. Peningkatan kadar Cu dan Ni pada air limbah disebabkan karena tanaman rumput gajah mengalami kejenuhan sehingga dapat melepaskan kembali logam berat yang telah diserap setelah melewati waktu titik jenuh dan mengakibatkan daya serap yang dihasilkan semakin kecil setiap harinya [7]. Titik jenuh adalah batas waktu maksimum yang dapat ditolerir tanaman dalam menyerap logam berat, sehingga menyebabkan kadar logam berat pada air limbah meningkat karena tanaman melepaskan kembali ion logam yang telah diserap melalui proses eksudat akar [8].

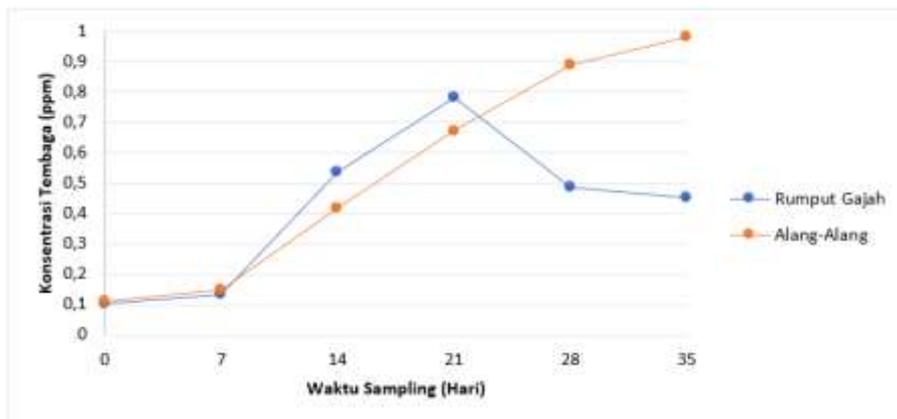
Berdasarkan hasil analisis data, diketahui bahwa waktu tinggal memiliki peran yang signifikan dalam menurunkan konsentrasi Cu dan Ni yang terdapat dalam limbah elektroplating. Wood mengemukakan bahwa efisiensi proses penghilangan kontaminan dalam air limbah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi awal serta durasi waktu retensi dalam sistem lahan basah. Waktu kontak yang cukup memungkinkan terjadinya interaksi optimal antara mikroorganisme dan air limbah [9]. Efisiensi penyisihan logam berat Cu dan Ni pada tanaman alang-alang mengalami peningkatan seiring waktu. Sedangkan, pada tanaman rumput

gajah hasil paling optimum yaitu pada hari ke-21. Peningkatan logam Cu dan Ni pada tanaman rumput gajah diakibatkan mikroorganisme mengalami titik jenuh dan terjadi kematian sehingga logam berat sulit untuk diurai yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai Cu dan Ni. Peningkatan nilai Cu dan Ni dapat disebabkan oleh keberadaan akar tanaman yang menyebar dan menutupi permukaan perairan, sehingga menghambat masuknya cahaya dan membatasi proses fotosintesis oleh organisme. Tanaman rumput gajah merupakan jenis tanaman darat yang mampu mengapung di atas permukaan air, sehingga oksigen yang dihasilkan melalui proses fotosintesis cenderung dilepaskan ke atmosfer. Selain itu, sebagian biomassa tanaman tersebut mengalami kematian selama masa pengamatan yang kemudian berkontribusi terhadap akumulasi logam berat di dalam air, sehingga meningkatkan kadar Cu dan Ni [7].

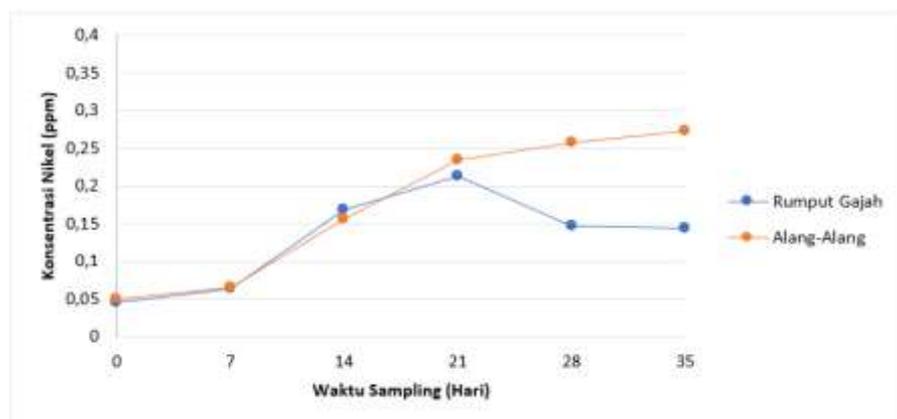
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kemampuan dua jenis tanaman yaitu tanaman rumput gajah dan tanaman alang-alang dalam menyisihkan kadar logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating. Hasil menunjukkan bahwa tanaman alang-alang memiliki persen penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan rumput gajah. Persentase penyisihan kadar logam berat Cu dan Ni pada alang-alang mencapai nilai tertinggi yaitu masing-masing sebesar 89,2% dan 87,3%, menunjukkan bahwa tanaman ini lebih efektif dalam proses fitoremediasi untuk menyisihkan logam berat Cu dan Ni.

Analisis Kemampuan Tanaman Rumput Gajah dan Alang-Alang dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)

Setiap jenis tumbuhan memiliki potensi untuk menyerap unsur logam, meskipun kapasitas penyerapan tersebut berbeda-beda tergantung pada spesiesnya. Beberapa tumbuhan dari berbagai famili menunjukkan sifat hipertoleran, yaitu kemampuan untuk mengakumulasi logam berat dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar maupun bagian tajuk tanaman, sehingga digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator [10]. Untuk mengetahui jenis tanaman yang lebih baik pada proses penelitian ini, maka dapat dilihat dari kandungan logam berat Cu dan Ni yang dapat diserap oleh tanaman. Perbandingan kemampuan tanaman dalam penurunan kandungan logam berat dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. Kemampuan Tanaman Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu)
 Sumber: Analisis Penulis (2025)



Gambar 5. Kemampuan Tanaman Menyerap Logam Berat Nikel (Ni)
 Sumber: Analisis Penulis (2025)

Berdasarkan **Gambar 4** dan **5**, dapat dilihat bahwa baik tanaman rumput gajah maupun tanaman alang-alang dapat menyerap kandungan logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating. Hasil analisa menunjukkan bahwa serapan logam berat Cu dan Ni pada tanaman alang-alang paling tinggi yaitu pada waktu sampling hari ke-35 dengan akumulasi penyerapan logam berat Cu sebesar 0,984 ppm dan logam berat Ni sebesar 0,272 ppm. Sedangkan pada tanaman rumput gajah, menunjukkan bahwa serapan logam berat Cu dan Ni paling tinggi yaitu pada waktu sampling hari ke-21 dengan akumulasi penyerapan logam berat Cu sebesar 0,783 ppm dan logam berat Ni sebesar 0,214 ppm. Perbedaan kemampuan tanaman dalam menurunkan kadar logam berat Cu dan Ni pada limbah elektroplating menunjukkan bahwa alang-alang memiliki kemampuan penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan rumput gajah. Variasi kemampuan ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik masing-masing tanaman serta perbedaan jenis dan konsentrasi logam berat yang terdapat dalam limbah elektroplating [11].

Tanaman cenderung mengaktifkan mekanisme detoksifikasi yang lebih kuat terhadap nikel, seperti pengikatan oleh fitokelatin dan pengurangan dalam vakuola, yang memperlambat distribusi sistemik dalam tubuh tanaman [12]. Akibatnya, akumulasi Ni dalam jaringan tanaman cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Cu. Selain itu, Cu merupakan mikronutrien esensial yang berperan dalam berbagai proses metabolisme tanaman seperti respirasi dan fotosintesis, dengan kisaran ambang batas normal dalam jaringan tanaman berkisar antara 4–15 ppm. Sebaliknya, Ni juga termasuk unsur hara esensial, namun jumlah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan normal sangat kecil, dengan kisaran konsentrasi yang disarankan dalam jaringan tanaman sebesar 0,1–1 ppm [13]. Oleh karena itu, tanaman memiliki sistem transportasi khusus yang lebih efisien untuk Cu, sementara sistem transportasi untuk Ni cenderung kurang aktif karena kebutuhannya yang lebih rendah [14].

Alang-alang (*Imperata cylindrica*), dengan sistem perakaran serabut yang luas dan menyebar, memiliki kemampuan menjangkau area tercemar yang lebih besar, sehingga meningkatkan kontak dengan logam berat yang terdapat di air. Meskipun batangnya ramping dan ukurannya tidak sebesar rumput gajah, struktur batang dan daunnya memungkinkan proses transpor air dan logam berat dari akar ke jaringan bagian atas berlangsung lebih efektif [15]. Oleh karena itu, alang-alang menunjukkan kemampuan yang tinggi dalam menyerap logam berat seperti Cu dan Ni. Sebaliknya, rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) juga memiliki sistem akar serabut, namun sebagian besar akar-akarnya bersifat dangkal dan kurang menyebar, sehingga kontak dengan kontaminan logam berat menjadi terbatas. Selain itu, struktur daun dan batangnya yang lebih tebal menyebabkan proses transpor logam dari akar ke bagian atas tanaman menjadi lebih lambat dan kurang efisien dalam mengakumulasi logam. Rumput gajah juga termasuk dalam kelompok tanaman gramineae yang umumnya lebih sensitif terhadap paparan logam berat. Hambatan pertumbuhan akibat logam berat sangat dipengaruhi oleh tingkat toleransi fisiologis tanaman, dimana semakin rendah toleransinya, semakin besar pula dampak negatif terhadap pertumbuhannya [11].

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman meliputi penyerapan logam berat melalui akar, pemindahan logam dari akar ke bagian tanaman lainnya, serta pengendapan logam berat di bagian-bagian sel tertentu. Dalam proses penyerapan logam berat, tanaman membentuk enzim reduktase pada membran akar yang berfungsi untuk mereduksi logam-logam tersebut. Dari akar, logam berat kemudian dipindahkan melalui jaringan transportasi (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya. Untuk meningkatkan efisiensi transportasi, logam-logam tersebut terikat oleh molekul chelat (molekul pengikat). Selain itu, logam berat terakumulasi di seluruh bagian tanaman, terutama di akar, batang, dan daun. [11].

4. Kesimpulan

Kadar logam berat Cu dan Ni dalam limbah elektroplating menggunakan tanaman rumput gajah dapat menurunkan kadar logam Cu sebesar 85,7% dan logam Ni sebesar 82,5%, dengan penyisihan paling efektif pada waktu pengambilan sampel hari ke-21. Sementara itu, tanaman alang-alang dapat mengurangi kadar logam Cu sebesar 89,2% dan logam Ni sebesar 87,3%, dengan penyisihan paling efektif pada waktu pengambilan sampel hari ke-35. Penyerapan logam Cu dan Ni tertinggi menggunakan tanaman rumput gajah terjadi pada hari ke-21 dengan akumulasi penyerapan logam Cu sebesar 0,783 ppm dan logam Ni sebesar 0,214 ppm. Sedangkan penyerapan logam Cu dan Ni menggunakan tanaman alang-alang tertinggi pada waktu pengambilan sampel hari ke-35, dengan akumulasi penyerapan logam Cu sebesar 0,984 ppm dan logam Ni sebesar 0,272 ppm. Berdasarkan analisis, tanaman alang-alang (*Imperata cylindrica*) lebih efektif dalam menghilangkan dan menyerap kadar logam berat Cu dan Ni dalam limbah elektroplating dibandingkan dengan tanaman rumput gajah (*Pennisetum purpureum*). Hal ini disebabkan oleh sistem akar tanaman alang-alang yang kuat, toleransi tinggi terhadap kontaminasi logam, dan kemampuan yang lebih baik dalam menyerap logam.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan jurnal ini. Terutama kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya, serta kepada Program Studi Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur atas fasilitas yang telah diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan dan keluarga atas doa dan motivasi yang tak henti-hentinya.

6. Referensi

- [1] F. Kurniawan, “Overview Metode Fitoremediasi Terhadap Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Menggunakan Jenis Tumbuhan Air,” *ReTII*, pp. 247–254, 2022.
- [2] A. Suci, “Penentuan Kandungan Logam Berat Cu dan Zn Pada Sampel Air Limbah Kelapa Sawit dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry),” 2021.
- [3] M. Aris, T. A. Ibrahim, and L. Nasir, “Kontaminasi Logam Nikel (Ni) Pada Struktur Jaringan Ikan,” *e-Journal Budid. Perair.*, vol. 9, no. 1, pp. 64–72, 2020.
- [4] A. P. Nugroho, E. S. B. Butar, E. A. Priantoro, L. Sriwuryandari, Z. B. Pratiwi, and T. Sembiring, “Phytoremediation of electroplating wastewater by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.),” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 14482, 2021.
- [5] Y. Andriani, “Pembuatan Adsorben dari Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*) untuk Menurunkan Kadar Logam Kadmium (Cd) dalam Limbah Cair Sebagai Sumber Belajar Siswa Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Pekanbaru,” Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2017.
- [6] T. Astuti, “Pemanfaatan Akar Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Magnesium dalam Air Sadah dan Aplikasinya pada Materi Kimia Unsur di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Pekanbaru,” Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2017.
- [7] A. Asril, “Fitoremediasi air Limbah Penatu Menggunakan Tanaman Rumput Gajah (*Pennisetum pupureum*),” Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, 2022.
- [8] F. A. Fauziah, E. Mulyadi, and F. Rosariawari, “Penyisihan Logam Terlarut Cr pada Limbah Batik Secara Fitoremediasi dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air,” pp. 9–15, 2020.
- [9] S. Supradata, “Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus Alternifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands),” Universitas Diponegoro, 2005.
- [10] N. Hidayati, “Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator Phytoremediation and Potency of Hyperaccumulator Plants,” *Pus. Penelit. Biol. Lemb. Ilmu Pengetah. Indones.*, vol. 12, no. 1, pp. 35–40, 2005.
- [11] R. I. Hapsari and S. U. Lestari, “Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah Yang Tercemar dengan Tanaman Biduri (*Calotropis gegantea*) dan Rumput Gajah (*Panicum maximum*),” *J. Hijau Cendekia*, vol. 2, no. 1, pp. 9–14, 2017.
- [12] T. Amari, T. Ghnaya, and C. Abdelly, “Nickel, Cadmium and Lead Phytotoxicity and Potential of Halophytic Plants in Heavy Metal Extraction,” *South African J. Bot.*, vol. 111, pp. 99–110, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011>.
- [13] P. C. Nagajyoti, K. D. Lee, and T. V. M. Sreekanth, “Heavy Metals, Occurrence and Toxicity for Plants: A Review,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 8, no. 3, pp. 199–216, 2010, doi: 10.1007/s10311-010-0297-8.
- [14] U. Ejaz *et al.*, “Detoxifying The Heavy Metals: A Multipronged Study of Tolerance Strategies Against Heavy Metals Toxicity in Plants,” *Front. Plant Sci.*, vol. 14, no. 05, pp. 1–17, 2023, doi: 10.3389/fpls.2023.1154571.
- [15] B. Li *et al.*, “Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Imperata cylindrica* at Lead-zinc Mining Area,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 199, no. 4, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/199/4/042050.