

Potensi Fitoremediasi Logam Berat oleh Tumbuhan Herba pada Area Bekas Penambangan Emas Skala Kecil Banyumas Indonesia

Eni Muryani^{1*}, Rika Ernawati^{1,2}, Dina Asrifah¹, dan Dhea Adalati Az-Zahra¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia;

*e-mail: eni.muryani@upnyk.ac.id

²Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Penambangan emas ilegal banyak menimbulkan dampak lingkungan, seperti yang terjadi di Desa Pancurendang, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Dampak yang muncul adalah pencemaran tanah oleh logam berat. Tumbuhan herba dapat dijadikan alternatif pemulihan pencemaran logam berat. Konsentrasi logam berat yang berada di jaringan tumbuhan dapat menjadi indikator tumbuhan yang berpotensi untuk menjadi fitoremediasi. Penelitian bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang berada di tanah dan tailing area bekas penambangan emas Desa Pancurendang; menguji konsentrasi logam yang terakumulasi pada tumbuhan herba; serta menghitung nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) dari tumbuhan herba yang ditemukan. Parameter logam berat yang digunakan adalah Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Ni, Cr, dan Fe. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Konsentrasi logam pada tanah dan tumbuhan herba diuji menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam pada tanah dan tailing berkisar 57 – 37.050.341 ppb. Konsentrasi logam berat pada 19 jenis tumbuhan herba yang diteliti berada pada rentang 72 – 60.304.198 ppb. *Ipomea aquatica* dan *Dryopteris* sp. merupakan tumbuhan herba yang memiliki nilai BCF>1 (tumbuhan hiperakumulator) untuk 8 jenis logam yang diuji. Temuan spesies tumbuhan hiperakumulator logam berat dalam studi ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam upaya fitoremediasi terhadap kontaminasi logam di lingkungan.

Kata kunci: Fitoremediasi, Logam Berat, Tailing, Tambang Emas, Tumbuhan Herba

ABSTRACT

Illegal gold mining has many environmental impacts, such as what happened in Pancurendang Village, Ajibarang District, Banyumas Regency, Central Java Province. One of the impacts is heavy metal pollution. Herbaceous plants can be used as an alternative for the recovery of heavy metal pollution. The concentration of heavy metals in plant tissue can be an indicator of plants that have the potential to become phytoremediators. The study aims to determine the concentration of heavy metals in the soil and tailings of the former gold mining area of Pancurendang Village; test the concentration of metals accumulated in herbaceous plants; and calculate the Bioconcentration Factor (BCF) value of the herbaceous plants found. The heavy metal parameters used were Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Ni, Cr, and Fe. Sampling was carried out using the purposive sampling method. The concentration of metals in the soil and herbaceous plants was tested using the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) method. The research results show that metal concentrations in soil and tailings range from 57 – 37.050.341 ppb. Heavy metal concentrations in the 19 types of herbaceous plants studied were in the range 72 – 72 – 60.304.198 ppb. *Ipomea aquatica* and *Dryopteris* sp. is a herbaceous plant that has a BCF value >1 (hyperaccumulator) for the 8 types of metals tested. The findings of heavy metal hyperaccumulator plant species in this study are expected to be applied in phytoremediation efforts against metal contamination in the environment.

Keywords: Phytoremediation, Heavy Metals, Tailings, Gold Mines, Herbaceous Plants

Citation: Muryani, E., Ernawati, R., Asrifah, D., dan Az-Zahra D. A. (2025). Potensi Fitoremediasi Logam Berat oleh Tumbuhan Herba pada Area Bekas Penambangan Emas Skala Kecil Banyumas Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1037-1045, doi:10.14710/jil.23.4.1037-1045

1. PENDAHULUAN

Penambangan emas skala kecil telah dilakukan di Indonesia selama ratusan tahun dan saat ini

aktivitasnya terus meningkat (Meutia dkk., 2022). Penambangan emas skala kecil didefinisikan sebagai penambangan informal yang menggunakan metode

dasar dalam ekstraksi emas dari bijih. Penambangan ini merupakan sumber mata pencaharian yang penting di banyak negara berpenghasilan rendah dan menengah (Fashola dkk., 2016). Berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS) pada tahun 2022, Indonesia menduduki peringkat ke-12 diantara 20 negara penghasil emas terbesar di dunia (Aminatun dkk., 2024). Produksi emas memiliki peran penting dalam perkembangan sosial-ekonomi. Namun, penambangan seringkali menimbulkan kontaminasi tanah yang signifikan oleh logam berat (Du dkk., 2024).

Penambangan, pemrosesan mineral, dan ekstraksi metalurgi adalah tiga aktivitas utama industri pertambangan emas yang menghasilkan limbah (Fashola dkk., 2016). Industri pertambangan menghasilkan limbah dalam bentuk padat maupun cair. Limbah ini terbentuk akibat akumulasi partikel sedimen oleh air hujan, pelepasan langsung dari kegiatan penambangan bersama produk metalurgi lainnya, atau pelindian yang terjadi di area pertambangan. Salah satu limbah industri pertambangan adalah tailing. Tailing merupakan material yang tidak memiliki nilai ekonomis setelah melalui tahapan pengolahan bijih (Algifari & Safaat Adiansyah, 2021). Tailing umumnya mengandung berbagai macam logam berat dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga memiliki potensi merusak lingkungan hidup dan berbahaya bagi kehidupan manusia (Alkatiri dkk., 2020). Kontaminasi logam berat dapat menimbulkan masalah yang sangat serius (Dong dkk., 2024). Logam berat seperti Fe, Mo, dan Mn bermanfaat sebagai nutrisi mikro, logam berat Zn, Ni, Cu, Co, dan Va merupakan unsur beracun tetapi masih memiliki peran sebagai trace element. Logam berat seperti Ag, As, Hg, Cd, dan Pb tidak memiliki fungsi sebagai nutrisi dan bersifat toksik bagi tumbuhan maupun mikroorganisme lainnya (Timothy & Tagui Williams, 2019).

Tailing limbah tambang emas harus dikelola untuk meminimalkan dampak pencemaran lingkungan (Luhukay, 2016). Pengelolaan tailing dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain: penimbunan, pengolahan ulang, dan fitoremediasi (Pamayo & Trihadiningrum, 2015). Pengolahan emas di Desa Pancurendang dilakukan di sekitar halaman rumah warga. Sebagian dari mereka membuang air limbah dan tailing yang mengandung merkuri, aurum, serta logam berbahaya langsung ke lingkungan sekitar. Kolam pengendapan milik warga pun banyak yang tidak memenuhi standar karena tidak memiliki lapisan pelindung, sehingga tailing langsung menyentuh tanah. Tailing yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan berupa air, tanah, dan udara serta paparan tailing dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti keracunan merkuri, kerusakan saraf, dan masalah pernapasan (Luhukay, 2016).

Selama beberapa tahun terakhir, sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknik remediasi tailing tambang. Remediasi ini

bertujuan untuk memperbaiki kualitas ekologi di daerah tambang dan memaksimalkan penggunaan sumber daya tailing. Saat ini metode pengolahan tailing yang umum dilakukan meliputi pengolahan fisik, remediasi kimia, dan bioremediasi (Wang dkk., 2017). Fitoremediasi merupakan metode yang digunakan untuk mengangkut atau membersihkan pencemar dengan menggunakan tumbuhan. Indonesia termasuk di antara negara-negara dengan megabiodiversitas, termasuk spesies tumbuhan. Banyak jenis tumbuhan memiliki kemampuan potensial sebagai fitoakumulator logam (Kurniawan dkk., 2022). Berbagai jenis tumbuhan endemik yang dikenal sebagai metalofit, dapat ditemukan tumbuh secara alami di tanah dengan konsentrasi logam yang tinggi (Kikis dkk., 2024). Tumbuhan hiperakumulator berbeda dengan tumbuhan lain karena memiliki toleransi 100 kali lebih tinggi dibandingkan tumbuhan yang tumbuh dalam tanah dengan kondisi normal. Tumbuhan ini dapat mengandung lebih dari 100 mg hingga 10000 mg logam berat (Kumari dkk., 2019).

Fitoremediasi menggunakan tumbuhan hiperakumulator dianggap mampu mengembalikan fungsi tanah yang tercemar logam berat menjadi lebih baik (Widyasari, 2021). Fitoremediasi dipandang sebagai teknologi yang inovatif, hemat biaya, dan cukup ramah lingkungan, sehingga menjadi alternatif solusi untuk membersihkan area yang terkontaminasi logam berat (Lamria & Sipayung, 2015). Proses fitoremediasi menggunakan tumbuhan dapat dimanfaatkan pada daerah penelitian yang memiliki keterbatasan dalam penggunaan teknologi dan peralatan mahal seperti pada pengelolaan tailing konvensional.

Penelitian yang dilakukan pada tambang emas ilegal umumnya dilakukan untuk menganalisis logam berat Hg. Penelitian ini mencoba menganalisis logam berat lainnya yang mungkin ada pada limbah tambang emas. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis konsentrasi logam Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Ni, Cr, dan Fe pada tanah dan tailing di area bekas Penambangan emas skala kecil; (2) menguji konsentrasi logam yang terakumulasi pada tumbuhan herba di area bekas Penambangan emas skala kecil; (3) menghitung nilai Bioconcentration Factor (BCF) dari tumbuhan herba yang ditemukan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak di wilayah bekas penambangan dan pengolahan emas Desa Pancurendang, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah.

2.2. Sampling dan Perlakuan Awal

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tailing dan tumbuhan herba. Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah metode *purposive sampling* yaitu dengan mempertimbangkan tempat penumpukan dan penimbunan tailing pada

wilayah bekas penambangan ilegal. Tailing diambil pada 4 titik yang merepresentasikan wilayah penelitian. Sampel tanah diambil pada 6 titik di area sekitar penambangan dan pengolahan emas. Tumbuhan herba yang diambil sampel sebanyak 19 jenis. Pemilihan titik sampling mempertimbangkan jarak dengan lokasi pusat penambangan, area di sekitar penambangan, serta daerah yang relatif tidak terpengaruh oleh aktivitas penambangan.

Sejumlah 3 individu pada tiap spesies tumbuhan herba yang ditemukan di daerah penelitian diambil keseluruhan bagiannya (akar, batang, dan daun). Adapun pada sampel tanah, dilakukan metode komposit menggabungkan tiga sampel tanah pada titik sampling dalam radius 1 meter.

Sampel tailing yang telah dikumpulkan dikeringanginkan selama 10 hari, kemudian dihancurkan hingga halus dan disaring menggunakan ayakan. Sampel tumbuhan herba dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C selama 48-96 jam hingga mencapai berat kering yang konstan. Bubuk sampel tanah maupun herba yang sudah siap akan dimasukkan ke laboratorium untuk diuji kandungan logam beratnya.

2.3. Analisis Data

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam berat pada tailing dan tumbuhan herba adalah uji ICP-MS di Laboratorium Terpadu UPN. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) teknik analitis yang digunakan untuk menentukan konsentrasi elemen dan isotopnya dengan mengionisasi elemen dalam sampel menggunakan plasma Argon (Ar) bersuhu sangat tinggi, kemudian menggunakan spektrometer massa untuk mengukur jumlah ion berdasarkan rasio massa terhadap muatan (m/z). Metode pengujian konsentrasi logam dengan ICP-MS dipilih karena memiliki kelebihan dapat mengukur berbagai konsentrasi logam dalam waktu bersamaan, jumlah sampel yang dibutuhkan sedikit, dan memiliki batas deteksi (*limit detection*) yang rendah hingga tingkat nanogram (Bilqis et al., 2022).

Analisis *Biological Concentration Factor* (BCF) penting dilakukan untuk mengetahui akumulasi logam berat pada tumbuhan. Nilai BCF menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat dari tanah maupun lingkungan sekitarnya pada jaringan tumbuhan. Nilai BCF dihitung dengan rasio total konsentrasi logam berat pada jaringan tumbuhan dan total konsentrasi logam pada tanah.

$$BCF = \frac{[\text{Logam Berat}] \text{ jaringan tumbuhan}}{[\text{Logam Berat}] \text{ tanah}} \quad (1)$$

dimana [Logam berat] jaringan tumbuhan adalah total konsentrasi Au di akar, batang, dan daun. [Logam berat] tanah merupakan total konsentrasi Au pada tanah (Kurniawan dkk., 2022). Kriteria nilai BCF dapat dilihat pada:

- Nilai BCF 1 – 10 mengindikasikan tumbuhan akumulator tinggi (tumbuhan hiperakumulator)
- Nilai BCF 0,1 – 1 mengindikasikan tumbuhan akumulator sedang (*medium accumulator*)
- Nilai BCF 0,01 – 0,1 mengindikasikan akumulator rendah (*low accumulator*)
- Nilai BCF <0,01 mengindikasikan bukan sebagai akumulator

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsentrasi Logam pada Tanah dan Tailing

Logam berat memiliki sifat *non-biodegradable* atau tidak dapat diuraikan sehingga akan tetap berada di lingkungan untuk waktu yang lama. Logam berat yang ada di tanah akan tetap ada hingga waktu yang sangat lama sampai logam tersebut terelusi dan berpindah ke tempat lain. Logam berat juga dapat bereaksi dengan unsur lain didalam tanah dan menjadi lebih beracun (Briffa dkk., 2020)

Tanah secara alami telah mengandung berbagai unsur logam termasuk logam berat. Beberapa logam seperti mangan (Mn), Zn, kromium (Cr), molibdenum (Mo), besi (Fe), dan nikel (Ni) sangat penting pada konsentrasi rendah karena berkaitan dengan fungsi biota tanah, tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat bersifat racun. Logam berat seperti kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni), dan krom (Cr) dapat bersifat sangat beracun di dalam tanah (Sari dkk., 2022). Konsentrasi logam berat dalam tailing dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Tailing

Logam Berat	Konsentrasi pada Sampel Tailing (ppb)			
	1	2	3	4
Cu	29.953	25.317.686	10.650	15.708
Cd	163	315.639	99	86
Zn	101.742	129.704	50.699	29.585
Pb	86.316	64.146	18.714	75.756
Mn	1.547.860	1.113.342	558.035	556.343
Ni	5.829	8.578	8.580	6.478
Cr	11.358	9.134	8.245	12.591
Fe	26.607.023	33.401.884	37.050.341	23.830.280

Tabel 1 menyajikan data konsentrasi logam berat dalam sampel tailing yang diperoleh dari empat titik pengambilan sampel pada area penelitian. Parameter logam berat yang dianalisis meliputi Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Ni, Cr, dan Fe. Secara umum, logam Fe dan Mn menunjukkan konsentrasi yang paling tinggi di seluruh titik, dengan nilai tertinggi masing-masing sebesar 37.050.341 ppb (Fe pada titik 3) dan 1.547.860 ppb (Mn pada titik 1). Konsentrasi logam Cu, Cd, dan Zn juga relatif tinggi, terutama pada sampel di lokasi 2 yang secara konsisten menunjukkan akumulasi logam yang lebih besar dibanding titik lokasi lainnya. Sementara itu, logam Pb, Ni, dan Cr cenderung memiliki konsentrasi lebih rendah, namun tetap menunjukkan adanya variasi antar lokasi.

Tabel 2 menunjukkan konsentrasi logam berat pada sampel tanah. Logam Fe memiliki konsentrasi

tertinggi di semua sampel, dengan nilai berkisar antara 32.253.070 hingga 55.909.344 ppb. Logam Mn memiliki konsentrasi tinggi, mencapai >700.000 ppb pada TZA6. Logam-logam seperti Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, dan Cr memiliki konsentrasi yang relatif lebih rendah. Konsentrasi Zn dan Cu menunjukkan variasi yang cukup besar antar sampel, sedangkan Cd relatif stabil.

3.2. Konsentrasi Logam yang Terakumulasi pada Tumbuhan Herba

Tumbuhan memiliki potensi untuk menyerap logam berat dari dalam tanah, namun tingkat penyerapan tersebut bervariasi antar spesies. Perbedaan ini dipengaruhi oleh jenis jaringan tumbuhan serta perlakuan yang diterima. Beberapa tumbuhan terbukti mempunyai sifat hiperakumulatif, yaitu mampu mengakumulasi logam berat tertentu dengan konsentrasi yang cukup tinggi pada akar dan tajuknya (Rodhiyah dkk., 2023).

Konsentrasi logam berat yang dapat diserap oleh tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 3. Tumbuhan yang memiliki kemampuan paling tinggi dalam menyerap logam berat adalah *Ipomea aquatica* dan *Dryopteris* sp. Kemampuan ini tercermin dari daya serap kedua tumbuhan tersebut terhadap logam pada tanah dengan konsentrasi yang tinggi. *Ipomoea aquatica* dan *Dryopteris* sp mampu menyerap seluruh jenis logam

berat yang diuji dengan baik. *Calopogonium mucunoides* dan *Paperomia pellucida* dapat menyerap seluruh logam berat pada tanah dengan baik kecuali pada logam Fe.

3.3. Nilai Bioconcentration Factor (BCF) pada Tumbuhan Herba

Kemampuan penyerapan logam berat pada tumbuhan data ditentukan dengan menghitung faktor bio konsentrasi (BCF). Tumbuhan yang memiliki nilai faktor biokonsentrasi dan nilai faktor translokasi >1 dapat digunakan sebagai bioakumulator. Tumbuhan yang ideal sebagai hiperakumulator adalah tumbuhan yang memiliki sifat (i) produksi biomassa yang tinggi, pertumbuhan cepat, dan mudah dipanen (hanya memerlukan waktu singkat untuk bisa efektif menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah) dan (ii) memiliki kemampuan untuk hidup di luar wilayah asal mereka. Hiperakumulator alami memiliki kemampuan untuk melarutkan logam dari matriks tanah, menyerapnya secara efisien ke dalam akar, mentranslokasikannya ke pucuk, dan menyimpannya dalam bentuk yang tidak fitotoksik di bagian udara. Permukaan akar tumbuhan hiperakumulator alami dikembangkan secara khusus untuk penyerapan unsur hara dari tanah dan memiliki luas permukaan yang sangat besar (Saim dkk., 2020).

Tabel 2. Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Tanah

Logam Berat	Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Tanah (ppb)					
	TZA1	TZA2	TZA3	TZA4	TZA5	TZA6
Cu	11.537	13.369	10.494	15.750	17.785	15.436
Cd	73	84	57	89	84	77
Zn	20.135	25.881	18.768	33.814	34.850	34.101
Pb	5.873	4.655	5.273	17.313	16.993	10.067
Mn	365.439	402.211	422.894	460.695	501.862	712.426
Ni	2.913	4.573	20.658	5.479	4.606	3.222
Cr	5.659	8.549	8.715	5.147	7.013	5.696
Fe	36.700.410	45.561.792	55.909.344	32.253.070	38.871.942	37.378.661

Tabel 3. Konsentrasi Logam Berat pada Tumbuhan Herba

Nama Spesies	Nama Lokal	Kode	Konsentrasi Logam Berat (ppb)							
			Cu	Cd	Zn	Pb	Mn	Ni	Cr	Fe
<i>Mikania micrantha</i>	Sembung rambat	1-Mm	10.816	465	29.009	613	143.094	3.119	2.959	860.378
<i>Imperata cylindrica</i>	Alang – alang	1-Ic	7.264	216	24.794	5.909	156.957	9.047	17.113	12.508.658
<i>Paspalum conjugatum</i>	Rumput paitan	1-Pc	6.872	101	30.432	1.580	98.447	4.796	7.371	8.062.542
<i>Ipomea aquatica</i>	Kangkung	1-Ia	23.919	123	61.052	15.023	451.642	16.576	12.499	60.304.198
<i>Panicum repens</i>	Lalampuyangan	2-Pr	4.583	157	28.008	2.131	228.989	8.828	18.564	5.978.562
<i>Oxalis barrelieri</i>	Belimbing tanah	2-Ob	9.490	1.327	43.641	2.169	283.138	4.831	6.397	11.577.616
<i>Oplismenus hirtellus</i>	Rumput keranjang	2-Oh	12.957	196	25.052	1.264	147.699	4.505	8.704	4.492.679
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Kacang asu	3-Cm	11.031	123	33.389	7.145	439.754	24.197	29.760	36.609.198
<i>Conya sumatraensis</i>	Jelantir	3-Cs	8.990	241	28.046	2.534	64.033	3.441	4.687	2.689.220
<i>Ruellia tuberosa</i>	Pletesan	3-Rt	7.551	72	20.841	3.593	227.212	13.810	18.220	18.689.801
<i>Ageratum conyzoides</i>	Bandotan	3-Ac	9.788	127	31.689	5.445	546.503	15.182	19.963	34.927.013
<i>Synedrella nodiflora</i>	Jotang kuda	4-Sn	7.182	134	28.468	7.927	142.066	3.199	5.564	8.362.472
<i>Paperomia pellucida</i>	Tumpang air	4-Pp	19.371	203	67.705	29.756	600.332	7.259	8.599	29.351.383
<i>Dryopteris</i> sp.	Paku	4-Ds	19.582	238	47.538	32.763	531.494	6.415	10.839	32.342.631
<i>Monochoria vaginalis</i>	Eceng sawah	5-Mv	8.831	129	30.090	3.387	634.081	4.751	9.792	20.625.087
<i>Ipomea aquatica</i>	Kangkung	5-Ia	22.344	118	53.329	36.580	617.888	7.078	12.393	25.145.224
<i>Eclipta prostrata</i>	Orang – aring	5-Ep	15.340	165	26.889	5.480	291.252	5.323	9.049	21.533.786
<i>Acmella paniculata</i>	Jotang	5-Ap	12.327	145	26.435	4.026	138.661	4.587	7.275	12.792.401
<i>Plectranthus</i> sp.	Miana	6-Ps	10.706	108	35.398	5.391	335.982	4.197	7.979	24.662.837

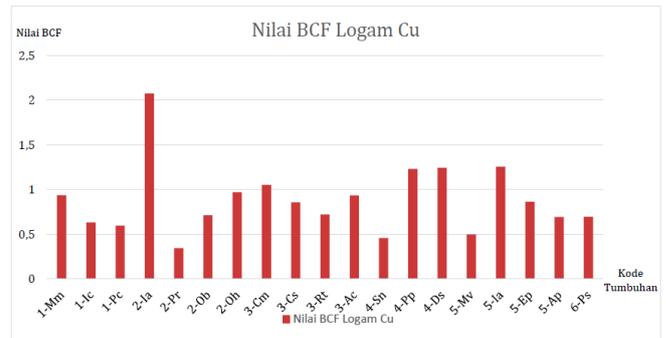
Akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti jenis tumbuhan, pH, dan temperatur. Tanah dan karakteristik tanah sangat memengaruhi kelarutan logam. Logam berat seperti Pb, Zn, Cd, Cu, Co, dan Hg bersifat lebih larut pada pH 4 – 5 dibandingkan pada rentang 5 – 7. Beberapa logam seperti As, Se, dan Mo kurang larut pada tanah dengan kondisi asam karena sifat anioniknya. Konsentrasi awal logam dalam tanah turut menentukan tingkat penyerapan logam oleh tumbuhan. Nilai *Biological Concentration Factor* (BCF) tiap tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 4.

Ipomea aquatica tergolong tumbuhan hiperakumulator di semua jenis logam yang diuji, dengan nilai BCF >1. *Ipomea aquatica* merupakan salah satu tumbuhan yang mampu menyerap semua unsur yang terdapat di air maupun tanah karena tidak selektif terhadap unsur hara tertentu. Oleh karena itu, besar kemungkinan logam berat dan kontaminan lainnya dapat terserap kedalam jaringannya (Hapsari dkk., 2018). Selain itu, *Ipomea aquatica* memiliki batang berongga yang memudahkan logam berat untuk berpindah dengan bebas (Saad dkk., 2020).

3.3.1. Cuprum (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam berat merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat yang melebur pada 1.038oC. Logam berat ini banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas, dan zat warna yang biasanya bercampur dengan logam berat lain seperti *alloy* dengan perak, kadmium, timah putih, dan seng. Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu⁺ atau Cu²⁺ dalam garam anorganik dan kompleks anorganik. Pada tumbuhan, Cu di akumulasi di akar dan di dinding sel serta didistribusikan melalui berbagai cara (Afkhar, 2020).

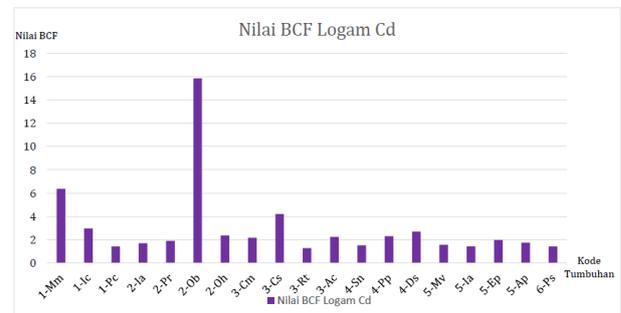
Berdasarkan grafik pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa tumbuhan yang termasuk kedalam golongan tumbuhan hiperakumulator Cu adalah *Ipomea aquatica*, *Calopogonium mucunoides*, *Paperomia pellucida*, *Dryopteris sp.* Analisis nilai BCF pada tumbuhan tersebut menunjukkan bahwa keempat tumbuhan dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator karena memiliki nilai BCF>1. Tumbuhan *Ipomea aquatica* dengan kode sampel 1-Ia memiliki nilai BCF tertinggi yaitu sebesar 2,073. Tumbuhan lain dikategorikan sebagai akumulator sedang terhadap logam Cu karena memiliki nilai BCF antara 0,1 hingga 1. Temuan ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Hisam pada tahun 2022, yang menunjukkan bahwa *Ipomoea aquatica* mampu menyerap logam Cu dan Zn dengan efisiensi yang tinggi. *Ipomoea aquatica* memiliki kapasitas yang besar dalam menyerap serta mengakumulasi logam berat berbahaya, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai tanaman fitoremediasi dalam skala luas.



Gambar 1. Nilai BCF Tumbuhan Herba untuk Logam Cu

3.3.2. Cadmium (Cd)

Logam Cd berasal dari kerak bumi yang berupa bahan-bahan murni, organik dan anorganik. Logam mula-mula diambil dari pertambangan di bawah tanah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan dimurnikan dalam pabrik menjadi logam-logam murni. Dalam proses pemurnian logam tersebut yaitu dari pencairan sampai menjadi logam, sebagian darinya terbuang ke dalam lingkungan. Logam kadmium selalu dikeluarkan dalam suatu proses peleburan dan pemurnian logam timah, besi, tembaga maupun emas. Suatu pabrik yang memproduksi logam sulfid selalu menimbulkan pencemaran kadmium di alam lingkungannya. Daya penguapan kadmium di daerah industri logam dapat menaikkan pencemaran logam yang bersangkutan, tidak hanya udara bahkan tanah dan tumbuhan pun dapat tercemar (Nur, 2013).



Gambar 2. Nilai BCF Tumbuhan Herba untuk Logam Cd

Hasil analisis BCF pada Gambar 2 menunjukkan bahwa seluruh tumbuhan yang berada di lokasi penelitian memiliki potensi sebagai tumbuhan hiperakumulator logam Cd. Hal ini ditandai dengan nilai BCF>1. Nilai BCF tertinggi didapatkan dari tumbuhan *Oxalis barrelieri* dengan nilai BCF 15,876. Tumbuhan lain memiliki nilai BCF berkisar antara 1,261 – 15,876.

Spesies *Oxalis barrelieri* umumnya tidak termasuk kedalam spesies hiperakumulator, namun pada daerah penelitian spesies ini dapat melakukan akumulasi logam Cd sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *Oxalis barrelieri* mampu beradaptasi sehingga dapat melakukan akumulasi logam, baik logam Cd maupun logam berat lainnya.

Tabel 4. Nilai BCF Tiap Tumbuhan Herba

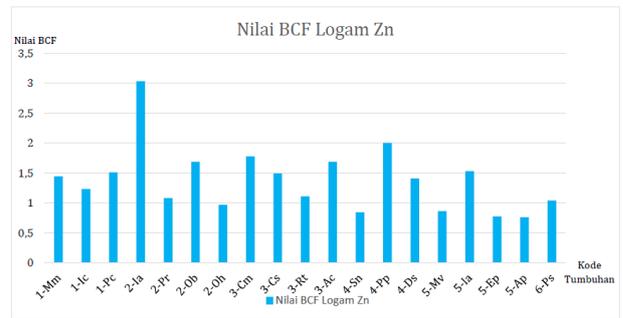
Nama Spesies	Nama Lokal	Kode	Nilai Bioconcentration Factor (BCF)							
			Cu	Cd	Zn	Pb	Mn	Ni	Cr	Fe
<i>Mikania micrantha</i>	Sambung rambat	1-Mm	0,937	6,357	1,441	0,104	0,392	1,071	0,523	0,023
<i>Imperata cylindrica</i>	Alang – alang	1-Ic	0,630	2,950	1,231	1,006	0,430	3,106	3,024	0,341
<i>Paspalum conjugatum</i>	Rumput paitan	1-Pc	0,596	1,387	1,511	0,269	0,269	1,646	1,302	0,220
<i>Ipomea aquatica</i>	Kangkung air	2-Ia	2,073	1,687	3,032	2,558	1,236	5,690	2,209	1,643
<i>Panicum repens</i>	Lalampuyangan	2-Pr	0,343	1,876	1,082	0,458	0,569	1,930	2,172	0,131
<i>Oxalis barrelieri</i>	Belimbing tanah	2-Ob	0,710	15,876	1,686	0,466	0,704	1,056	0,748	0,254
<i>Oplismenus hirtellus</i>	Rumput keranjang	2-Oh	0,969	2,343	0,968	0,272	0,367	0,985	1,018	0,099
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Kacang asu	3-Cm	1,051	2,151	1,779	1,355	1,040	1,171	3,415	0,655
<i>Conya sumatraensis</i>	Jelantir	3-Cs	0,857	4,201	1,494	0,481	0,151	0,167	0,538	0,048
<i>Ruellia tuberosa</i>	Pletesan	3-Rt	0,720	1,261	1,110	0,681	0,537	0,669	2,090	0,334
<i>Ageratum conyzoides</i>	Bandotan	3-Ac	0,933	2,226	1,688	1,033	1,292	0,735	2,291	0,625
<i>Synedrella nodiflora</i>	Jotang kuda	4-Sn	0,456	1,508	0,842	0,458	0,308	0,584	1,081	0,259
<i>Paperomia pellucida</i>	Tumpang air	4-Pp	1,230	2,288	2,002	1,719	1,303	1,325	1,671	0,910
<i>Dryopteris</i> sp.	Paku	4-Ds	1,243	2,679	1,406	1,892	1,154	1,171	2,106	1,003
<i>Monochoria vaginalis</i>	Eceng sawah	5-Mv	0,497	1,539	0,863	0,199	1,263	1,032	1,396	0,531
<i>Ipomea aquatica</i>	Kangkung air	5-Ia	1,256	1,413	1,530	2,153	1,231	1,537	1,767	0,647
<i>Eclipta prostrata</i>	Orang – aring	5-Ep	0,863	1,964	0,772	0,322	0,580	1,156	1,290	0,554
<i>Acmella paniculata</i>	Jotang	5-Ap	0,693	1,730	0,759	0,237	0,276	0,996	1,037	0,329
<i>Plectranthus</i> sp.	Miana	6-Ps	0,694	1,398	1,038	0,536	0,472	1,303	1,401	0,660

Spesies *Ipomea aquatica* sudah terbukti sebagai spesies hiperakumulator Cd. Seperti yang ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Hisam dkk., (2022), bahwa spesies tersebut dapat menghilangkan Cd sebanyak 91,06%. Penelitian ini menunjukkan bahwa *Ipomea aquatica* memiliki kemampuan absorpsi dan akumulasi logam berat. Meskipun nilai BCF untuk logam Cd pada spesies *Ipomea aquatica* lebih rendah jika dibandingkan dengan spesies lainnya, tumbuhan ini tetap dapat dikatakan tumbuhan hiperakumulator karena memiliki nilai BCF lebih besar dari 1.

Spesies lain yang memiliki kemampuan menyerap logam Cd adalah *Mikania micrantha* Kunth. Kemampuan spesies ini dalam menyerap logam sebelumnya telah dibuktikan oleh penelitian (Leung dkk., 2019) yang menunjukkan bahwa *Mikania micrantha* Kunth dapat mengurangi kadar logam Cd sebanyak 96% setelah eksperimen. Spesies *Mikania micrantha* Kunth memiliki potensi sebagai tumbuhan fitoremediasi karena cepat tumbuh dan beradaptasi pada lingkungan, serta dapat memproduksi biomassa yang tinggi dan mudah untuk dibudidayakan.

3.3.3. Zinc (Zn)

Logam seng merupakan nutrisi esensial yang dibutuhkan tumbuhan dalam konsentrasi relatif rendah untuk pembentukan klorofil, hormon tumbuh asam indolasetat (auksin) yang berperan dalam pembentukan tunas. Logam seng memiliki sifat akumulatif di lingkungan. Toksisitas logam seng dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis (Novi et al., 2019).

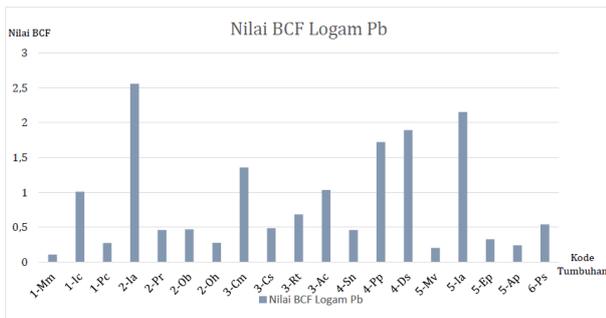


Gambar 3. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam Zn

Hasil analisis nilai BCF pada logam Zn dapat dilihat pada Gambar 3. Grafik menunjukkan bahwa sebagian besar tumbuhan sampel dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator Zn. Sampel 1-Ia dengan tumbuhan *Ipomea aquatica* memiliki nilai BCF tertinggi yaitu 3,032. Tumbuhan lainnya seperti *Oxalis barrelieri*, *Synedrella nodiflora*, *Monochoria vaginalis*, *Eclipta prostrata* dan *Acmella paniculata* merupakan tumbuhan yang termasuk kedalam golongan akumulator sedang terhadap logam Zn dengan nilai BCF 0,759 – 0,968. Tumbuhan dikategorikan sebagai hiperakumulator apabila memiliki nilai BCF lebih dari 1, dan termasuk dalam kategori akumulator sedang jika nilai BCF berada pada kisaran 0,1 hingga 1. Penelitian oleh Nur et al. (2022) telah membuktikan bahwa *Ipomea aquatica* berperan sebagai tumbuhan hiperakumulator Zn, dengan kemampuan menyerap logam tersebut hingga 45,9628 mg/kg dalam 30 hari dan memiliki nilai BCF sebesar 618,61.

3.3.4. Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan.



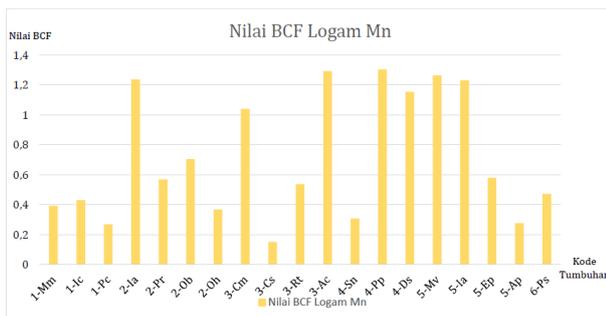
Gambar 4. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam Pb

Tumbuhan yang memiliki nilai BCF tertinggi untuk logam Pb adalah *Ipomea aquatica*. Tumbuhan ini dapat diklasifikasikan sebagai tumbuhan hiperakumulator karena memiliki nilai BCF 2,558 pada sampel 1-Ia dan nilai BCF 2,153 pada sampel 5-Ia. *Imperata cylindrica*, *Calopogonium mucunoides*, *Paperomia pellucida*, dan *Dryopteris* sp. menunjukkan kemampuan penyerapan logam yang cukup tinggi dan dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator Pb dengan nilai BCF yang 1,006 hingga 1,892.

Penelitian oleh Tablang et al., (2021) menyebutkan bahwa *Paperomia pellucida* telah terbukti dapat melakukan akumulasi Pb pada akarnya sebesar 158.6 µg/g dan pada jaringannya sebesar 43.2 µg/g setelah 28 hari percobaan.

3.3.5. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan nutrisi utama yang berada pada tumbuhan. Tumbuhan yang tumbuh pada tanah normal umumnya memiliki konsentrasi Mn sebanyak 40 – 50 ppm. Namun, tumbuhan yang bersifat tumbuhan akumulator dapat mengakumulasi Mn 2 hingga 3 kali lipat dari konsentrasi Mn (Kikis dkk., 2024).



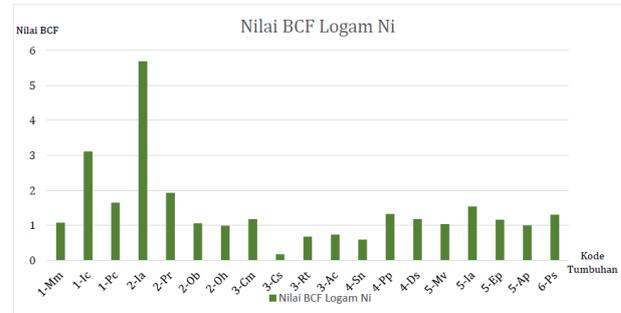
Gambar 5. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam As

Hasil analisis menunjukkan bahwa *Peperomia pellucida* merupakan tumbuhan dengan potensi tertinggi sebagai tumbuhan hiperakumulator arsen, ditandai dengan nilai BCF sebesar 1,303. Beberapa spesies lain seperti *Ipomoea aquatica*, *Calopogonium mucunoides*, *Ageratum conyzoides*, *Dryopteris* sp., dan *Monochoria vaginalis* juga dapat diklasifikasikan sebagai tumbuhan hiperakumulator As karena memiliki nilai BCF >1. Tumbuhan lainnya yang diuji dapat dikategorikan sebagai akumulator sedang

terhadap As karena memiliki nilai BCF dalam rentang 0,1 hingga 1.

3.3.6. Nikel (Ni)

Nikel adalah unsur logam yang terbentuk secara alami dan memiliki ciri mengkilap (*lustrous*) serta berwarna putih keperak-prakan (*silvery white*). Nikel merupakan salah satu dari lima unsur logam yang paling umum dijumpai di bumi dan ditemui secara luas terutama di kerak bumi (Arif, 2018).

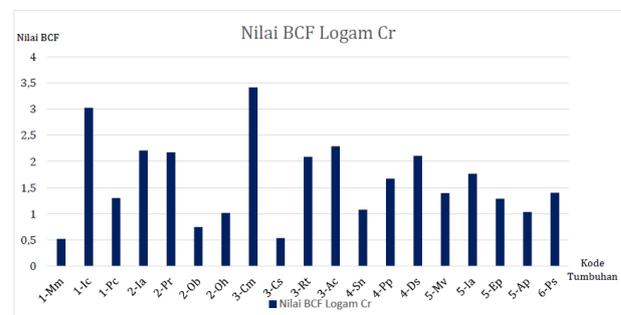


Gambar 6. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam Ni

Hasil analisis menunjukkan bahwa tumbuhan *Ipomea aquatica* merupakan tumbuhan yang memiliki potensi sebagai tumbuhan hiperakumulator dengan nilai BCF tertinggi, yaitu sebesar 5,69. Tumbuhan yang memiliki nilai BCF terendah adalah *Conya sumatraensis* dengan BCF sebesar 0,167. Secara umum, sampel tumbuhan yang diuji memiliki kemampuan akumulasi Ni yang tidak jauh berbeda dan dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan jenis lainnya dapat digolongkan sebagai tumbuhan dengan kemampuan sedang dalam mengakumulasi nikel karena memiliki nilai BCF 0,167 – 0,996.

3.3.7. Krom (Cr)

Kromium merupakan kontaminan yang berbahaya bagi ekosistem karena logam kromium, khususnya kromium heksavalen bersifat mudah larut, beracun, karsinogenik, dermatoksis dan dalam jumlah berlebih dapat mengakibatkan kematian pada hewan, manusia dan mikroorganisme (Serang et al., 2018).



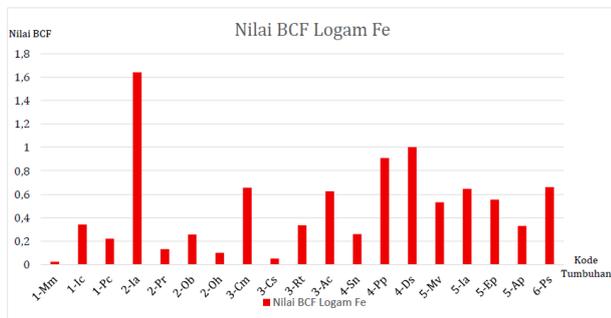
Gambar 7. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam Cr

Hasil analisis nilai *Biological Concentration Factor* logam Cr dapat dilihat pada Gambar 7. Grafik tersebut menunjukkan bahwa tumbuhan yang diuji dapat

digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator dengan nilai BCF antara 1,037 – 3,415. Tumbuhan *Calopogonium mucunoides* merupakan tumbuhan yang memiliki potensi tumbuhan akumulator paling besar. *Mikania micrantha*, *Oxalis barrelieri*, dan *Conya sumatraensis* merupakan tumbuhan *medium accumulator* yang memiliki nilai BCF yang berkisar antara 0,523 – 0,748.

3.3.8. Besi (Fe)

Besi merupakan makromineral bumi hasil pelapukan batuan bauksit. Besi sebagai unsur penting dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah yang sedikit. Besi merupakan salah satu logam esensial yang berfungsi dalam proses biokimia dan fisiologis bagi tumbuhan dan hewan. Konsentrasi besi yang berlebihan dapat menimbulkan efek toksisitas pada makhluk hidup, misalnya pada jaringan daun tumbuhan.



Gambar 8. Nilai BCF Tumbuhan untuk Logam Fe

Gambar 8 menunjukkan bahwa tumbuhan yang berada di lokasi penelitian sebagian besar tidak memiliki potensi hiperakumulasi untuk logam Fe. Tumbuhan yang dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator logam Fe yaitu *Ipomea aquatica* dan *Dryopteris sp.* karena memiliki nilai BCF lebih besar dari 1. Tumbuhan *Mikania micrantha*, *Oplismenus hirtellus*, dan *Conya sumatraensis* masuk kedalam golongan tumbuhan *low accumulator* dengan nilai BCF 0,01 – 0,1. Tumbuhan lainnya dapat digolongkan sebagai tumbuhan *medium accumulator* karena memiliki nilai BCF 0,1 – 1.

Kemampuan *Ipomea aquatica* dalam akumulasi Fe sudah pernah diteliti sebelumnya oleh Hanafiah dkk., (2020) yang menunjukkan bahwa tanaman spesies tersebut memiliki kemampuan untuk mengakumulasi unsur besi (Fe) dengan rata-rata sebesar 972 ppm per hari.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa konsentrasi logam tertinggi terdapat pada sampel TZA 5 yang berasal dari area dekat lokasi pengolahan emas. Setiap jenis tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengakumulasi logam berat. Hampir seluruh tumbuhan herba yang diuji mampu mengakumulasi logam berat Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Ni, dan Cr. *Ipomoea aquatica*, *Dryopteris sp.*, *Calopogonium*

muconoides, dan *Peperomia pellucida*, memiliki nilai BCF yang tinggi, yaitu antara 1,003 hingga 5,690. Nilai ini menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut tergolong dalam kategori tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan pencemaran logam berat pada tanah dan tailing di wilayah bekas pertambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afkar, M. (2020). Analisis Kadar Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Perak (Ag) pada Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Desa Pantan Bayam Kecamatan Beutong Kabupaten Nagan Raya.
- Algifari, K., & Safaat Adiansyah, J. (2021). Utilization of mine tailings (waste) for improving environmental quality: a case study of community artisanal mining at Sekotong District West Nusa Tenggara Province Indonesia. *Journal of Mining and Environmental Technology*, 1(1), 26–31. <http://journal.ummat.ac.id/index.php/JMET>
- Alkatiri, H., Umar, K., Agitha, D., Tomagola, R., Studi, P., Pertambangan, T., & Unkhair, T. (2020). Analisis Pengelolaan Limbah Tailing dari Hasil Pengolahan Emas pada PT. Nusa Halmahera Minerals Desa Gosowong Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal GEOMining*, 1(2), 89–97.
- Aminatun, T., Idrus, A., Simbolon, D., Rakhmawati, A., & Atun, S. (2024). Lithochemical characteristics and potential hyperaccumulator identification as phytomining agent at the Rataotok gold mine, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(2), 5251–5261.
- Bilqis, N., Sulistiawati, E., & Rahman, M. N. (2022). Application of The Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method in Zink Analysis. *Jurnal Sains Nasional*, 12, 23–26.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Dong, S., Li, L., Chen, W., Chen, Z., Wang, Y., & Wang, S. (2024). Evaluation of heavy metal speciation distribution in soil and the accumulation characteristics in wild plants: A study on naturally aged, abandoned farmland adjacent to tailings. *Science of the Total Environment*, 917.
- Du, Y., Tian, Z., Zhao, Y., Wang, X., Ma, Z., & Yu, C. (2024). Exploring the accumulation capacity of dominant plants based on soil heavy metals forms and assessing heavy metals contamination characteristics near gold tailings ponds. *Journal of Environmental Management*, 351.
- Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M., & Babalola, O. O. (2016). Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance. Dalam *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 13, Nomor 11). MDPI.
- Hanafiah, M. M., Zainuddin, M. F., Nizam, N. U. M., Halim, A. A., & Rasool, A. (2020). Phytoremediation of aluminum and iron from industrial wastewater using *Ipomoea aquatica* and *Centella asiatica*. *Applied Sciences*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/app10093064>

- Muryani, E., Ernawati, R., Asrifah, D., dan Az-Zahra D. A. (2025). Potensi Fitoremediasi Logam Berat oleh Tumbuhan Herba pada Area Bekas Penambangan Emas Skala Kecil Banyumas Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1037-1045, doi:10.14710/jil.23.4.1037-1045
- Hapsari, J. E., Amri, C., & Suyanto, A. (2018). Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) sebagai Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(4), 172-177. <https://journalsanitasi.keslingjogja.net/index.php/sanita>
- Hisam, N. I. B., Zakaria, M. Z., Azid, A., Bakar, M. F. A., & Samsudin, M. S. (2022). Phytoremediation Process of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) in Absorbing Heavy Metal Concentration in Wastewater. *Journal Of Agrobiotechnology*, 13(1S), 131-144. <https://doi.org/10.37231/jab.2022.13.1s.322>
- Kikis, C., Thalassinis, G., & Antoniadis, V. (2024). Soil Phytomining: Recent Developments—A Review. Dalam *Soil Systems* (Vol. 8, Nomor 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
- Kumari, P., Kumar, P., & Kumar, T. (2019). An Overview of Phytomining: A Metal Extraction Process from Plant Species. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(1), 1367-1376. www.jetir.org
- Kurniawan, R., Hamim, Henny, C., & Satya, A. (2022). Identification of Potential Phytoaccumulator Plants from Tailings Area as a Gold Phytomining Agent. *Journal of Ecological Engineering*, 23(1), 169-181.
- Lamria, S., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2), 178-186.
- Leung, H. M., Yue, P. Y. K., Sze, S. C. W., Au, C. K., Cheung, K. C., Chan, K. L., Yung, K. L. K., & Li, W. C. (2019). The potential of Mikania micrantha (Chinese creeper) to hyperaccumulate heavy metals in soil contaminated by electronic waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(34), 35275-35280. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06771-x>
- Luhukay, R. S. (2016). Tanggung Jawab PT Freeport Indonesia terhadap Penanganan Kerusakan Lingkungan Akibat Pertambangan di Kabupaten Mimika Papua. *Lex et Societatis*, 4(3), 84-92.
- Meutia, A. A., Lumowa, R., & Sakakibara, M. (2022). Indonesian Artisanal and Small-Scale Gold Mining—A Narrative Literature Review. Dalam *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Nomor 7). MDPI.
- Novi, C., Nur Shobah, A., Raya Labuan, J. K., Pandeglang Banten, S., Studi Biologi Fakultas Sains, P., dan Kesehatan, F., Mathla, U., & Anwar Banten Jl Raya Labuan, ul K. (2019). Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Hydrilla sp. Pada Limbah Industri Kertas Phytoremediation of Zinc Metal (Zn) using Hydrilla sp. on Paper Industry Waste. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 108-114.
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Biogenesis*, 1(1), 74-83.
- Nur, M., Nasir, M., Irfandi, R., Yani, A., Fauziah, S., Danur, R. F., Raya, I., & Fudholi, A. (2022). Phytoremediation of Zinc, Copper, and Lead Using *Ipomoea Aquatica* in Water Contaminants. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 17(5), 701-709. <https://doi.org/10.18280/ijidne.170507>
- Pamayo, I. A., & Trihadiningrum, Y. (2015). Stabilisasi/Solidifikasi Timbunan Tailing Penambangan Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 242-247.
- Rodhiyah, Z., Mulia, A. R., Ilfan, F., & Ihsan, M. (2023). Analisis Potensi Tumbuhan Lokal Untuk Meremediasi Limbah Logam Berat Timbal (Pb) Sekitar Lahan Bekas Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Di Desa Moenti Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 6(1), 52.
- Saad, F. N. M., Lim, F. J., Izhar, T. N. T., & Odli, Z. S. M. (2020). Evaluation of phytoremediation in removing Pb, Cd and Zn from contaminated soil using *Ipomoea Aquatica* and *Spinacia Oleracea*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012142>
- Saim, A. K., Ntiri-Bekoh, R., Orleans-Boham, H., & Amankwah, R. K. (2020). *Gold Phytoextraction by Alocasia macrorrhizos: Implications in Phytomining*.
- Sari, R., palupi, N. P., Kesumaningwati, R., & Jannah, R. (2022). Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Fitoremediasi pada Tanah Sawah menggunakan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Absorption of Heavy Metal Iron (Fe) by Phytoremediation Method in Rice Fields using Water Kangkung Plants (*Ipomoea aquatic*). *Jurnal Agroteknologi Tropika Lembab*, 5(1), 9-19.
- Serang, L. K. O., Handayanto, E., & Rindyastuti, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium dengan Menggunakan Sagittarialancifolia dan Pistia stratiotes serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 739-746.
- Tablang, J. O., Temanel, F. B., Campos, R. P. C., & Ramos, H. C. (2021). Bioaccumulation of lead by pepper elder (*Peperomia pellucida* (L.) kunth) in a lead-contaminated hydroponic system. *Environment and Natural Resources Journal*, 19(4), 282-291. <https://doi.org/10.32526/ennrj/19/2021010>
- Timothy, N., & Tagui Williams, E. (2019). Environmental Pollution by Heavy Metal: An Overview. *International Journal of Environmental Chemistry*, 3(2), 72.
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A Review on In Situ Phytoremediation of Mine Tailings. *Chemosphere*, 184, 594-600.
- Widyasari, N. L. (2021). Kajian Tanaman Hiperakumulator pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat. *Ecocentrism*, 1(1), 17-24.