

**JENIS TUMBUHAN POTENSIAL SEBAGAI HIPERAKUMULATOR
LOGAM BERAT DI APL PT NAPAL UMBAR PICUNG**

(Skripsi)

Oleh :

**Muhammad Rizki Firdaus Fasya
1914151043**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**JENIS TUMBUHAN POTENSIAL SEBAGAI HIPERAKUMULATOR
LOGAM BERAT DI APL PT NAPAL UMBAR PICUNG**

(Skripsi)

Oleh :

**Muhammad Rizki Firdaus Fasya
1914151043**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**JENIS TUMBUHAN POTENSIAL SEBAGAI HIPERAKUMULATOR
LOGAM BERAT DI APL PT NAPAL UMBAR PICUNG**

Oleh

Muhammad Rizki Firdaus Fasya

Skripsi

**sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

JENIS TUMBUHAN POTENSIAL SEBAGAI HIPERAKUMULATOR LOGAM BERAT DI APL PT NAPAL UMBAR PICUNG

Oleh

Muhammad Rizki Firdaus Fasya

Pertambangan emas skala kecil (PESK) merupakan usaha pertambangan yang dilaksanakan oleh perusahaan perorangan dengan investasi modal dan produksi yang terbatas. Kegiatan pertambangan dapat menyebabkan cemaran berupa logam berat. Tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mencari tumbuhan potensial sebagai hiperakumulator di PT Napal Umbar Picung. Metode yang digunakan pada penelitian ini dilaksanakan dengan teknik *purposive sampling*. Sampel yang diambil berupa seluruh jaringan tumbuhan dan tanahnya. Sampel tumbuhan dibersihkan lalu dikeringkan bersamaan dengan sampel tanah pada suhu 100°C. Sampel tumbuhan yang sudah kering dihaluskan dengan menggunakan blender. Sampel tanah yang sudah kering dihaluskan menggunakan mortar lalu diayak menggunakan ayakan berukuran 200 mesh. Sampel tersebut dianalisa kandungan logam beratnya menggunakan ED-XRF. Data hasil pengujian tersebut diolah menggunakan SPSS untuk membuat grafik boxplot dan dimasukkan ke dalam rumus perhitungan untuk mencari nilai *bioaccumulation concentration factor* (BCF) dan *translocation factor* (TF). Hasil analisis kandungan logam berat menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi logam As, Fe, Hg, dan Pb pada daun terdapat pada jenis *Chromolaena odorata* dengan nilai berturut-turut 285,8 mg/kg, 258.320 mg/kg, 501,6 mg/kg, dan 806,2 mg/kg. Akumulasi tertinggi logam Cd pada daun terdapat pada *Clidemia hirta* dengan nilai 11,7 mg/kg. Akumulasi tertinggi logam Zn pada daun terdapat pada *Nephrolepis cordifolia* dengan nilai 4.520 mg/kg. Kesimpulan pada penelitian ini menunjukkan bahwa jenis tumbuhan yang dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator Fe adalah *Christella* sp. dan *Chromolaena odorata*. Tumbuhan yang dapat digolongkan sebagai hiperakumulator Hg adalah *Alpinia galanga*, *Christella* sp., *Chromolaena odorata*, *Clidemia hirta*, *Melastoma malabathricum*, dan *Nephrolepis cordifolia*.

Kata kunci : logam berat, hiperakumulator, ED-XRF

ABSTRACT

POTENTIAL PLANT AS HEAVY METAL HYPERACCUMULATOR IN APL PT. NAPAL UMBAR PICUNG

By

Muhammad Rizki Firdaus Fasya

*Small-scale gold mining (ASGM) is a mining business carried out by individual companies with limited capital investment and production. Mining activities can cause heavy metal contamination. The purpose of this research is to find potential plants as hyperaccumulators in PT Napal Umbar Picung. The method used in this research was purposive sampling technique. Samples taken were all plant tissues and soil. Plant samples were cleaned and then dried together with soil samples at 100°C. The dried plant samples were pulverized using a blender. The dried soil samples were pulverized using a mortar and then sieved using a 200 mesh sieve. The samples were analyzed for heavy metal content using ED-XRF. The test data were processed using SPSS to create a boxplot graph and entered into the calculation formula to find the bioaccumulation concentration factor (BCF) and translocation factor (TF) values. The results of the heavy metal content analysis showed that the highest accumulation of As, Fe, Hg, and Pb metals in the shoot was found in *Chromolaena odorata* with values 285.8 mg/kg, 258,320 mg/kg, 501.6 mg/kg, and 806.2 mg/kg respectively. The highest accumulation of Cd metal in the shoot was found in *Clidemia hirta* with a value of 11.7 mg/kg. The highest accumulation of Zn metal in the shoot was found in *Nephrolepis cordifolia* with a value of 4,520 mg/kg. The conclusion of this study shows that plant species that can be classified as Fe hyperaccumulator plants are *Christella* sp. and *Chromolaena odorata*. Plants that can be classified as Hg hyperaccumulators are *Alpinia galanga*, *Christella* sp., *Chromolaena odorata*, *Clidemia hirta*, *Melastoma malabathricum*, and *Nephrolepis cordifolia*.*

Keyword: heavy metal, hyperaccumulator, ED-XRF

Judul Skripsi

: **JENIS TUMBUHAN POTENSIAL SEBAGAI
HIPERAKUMULATOR LOGAM BERAT DI
APL PT NAPAL UMBAR PICUNG**

Nama Mahasiswa

: *Muhammad Rizki Firdaus Fasya*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1914151043

Jurusan

: Kehutanan

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.
NIP 198204072010121002

Inggar Damayanti, S.Hut., M.Si
NIP 199204212019032023

2. Ketua Jurusan Kehutanan

Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P. IPM.
NIP 197310121999032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.**

Sekretaris : **Inggar Damayanti, S.Hut., M.Si.**

Anggota : **Dr. Hendra Prasetya, M.Sc.**

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196211181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **11 Juni 2024**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Muhammad Rizki Firdaus Fasya**
NPM : 1914151043
Jurusan : Kehutanan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

" Jenis Tumbuhan Potensial Sebagai Hiperakumulator Logam Berat Di APL PT Napal Umbar Picung"

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 26 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rizki Firdaus Fasya
NPM 1914151043

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Rizki Firdaus Fasya lahir di Bandung pada tanggal 9 Mei . 2000. Penulis merupakan anak ke-5 dari 5 bersaudara dari pasangan Bapak Ooong Sahroni dan Ibu Nani Sumarni. Pendidikan yang ditempuh penulis adalah di Sekolah Dasar (SD) di SDN Merdeka 5 Bandung pada tahun 2006-2012, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 6 Bandung pada tahun 2012-2015, Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 6 Bandung pada tahun 2015-2018. Tahun 2019 Penulis melanjutkan pendidikan dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh perkuliahan penulis aktif sebagai anggota PIK R RAYA Unila pada tahun 2021. Selama kuliah juga, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) Universitas Lampung sebagai anggota. Kegiatan keprofesian yang pernah diikuti Penulis yaitu mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kujangsari, Kecamatan Bandung Kidul, Kota Bandung pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas dan Wanagama, Jawa Tengah pada bulan Agustus 2022 selama 20 hari.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Jenis Tumbuhan Potensial Sebagai Hiperakumulator Logam Berat di APL PT Napal Umbar Picung” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materil sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada :

- 1 Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- 2 Bapak Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P. IPM. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
- 3 Bapak Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si. selaku dosen pembimbing utama penulis yang telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing dan memberikan banyak masukan serta saran dalam melaksanakan penyusunan skripsi ini.
- 4 Ibu Inggar Damayanti, S.Hut., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing penulis dan memberikan banyak masukan serta saran dalam melaksanakan penyusunan skripsi ini.
- 5 Bapak Dr. Hendra Prasetya. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran-saran perbaikan dalam penyusunan skripsi ini.
- 6 Bapak Duryat, S.Hut., M.Si. selaku pembimbing akademik selama masa perkuliahan.

- 7 Segenap dosen Jurusan Kehutanan yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menuntut ilmu di Jurusan Kehutanan Universitas Lampung.
- 8 Kedua orang tua Penulis Bapak Oong Sahroni dan Ibu Nani Sumarni yang telah memberikan doa, teguran, semangat, motivasi dan memberikan dukungan moril maupun materil hingga Penulis menempuh langkah sejauh ini. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu, semoga selalu diberikan kesehatan dan keberkahan.
- 9 Sosok yang telah membantu saya dalam berkembang menjadi lebih baik yaitu Ibu Dinni Hadiany dan Bapak Fasal.
- 10 Teman satu bimbingan yaitu, Amellita, Mita, Riyadh, Rohmi, dan Widya.
- 11 Angkatanku “FORMICS” atas segala bantuan, dukungan, dan kebersamaan yang telah kalian berikan.
- 12 Seluruh teman saya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang sudah membantu saya selama masa kuliah dan skripsi saya ini.

Semoga Tuhan YME membalas segala kebaikan mereka semua yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung,

Muhammad Rizki Firdaus Fasya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat penelitian	3
1.5 Kerangka Pemikiran	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pertambangan Emas	5
2.3 Logam Berat	7
2.4 Tumbuhan Hiperakumulator	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.4 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.5 Alat dan Bahan Penelitian	11
3.6 Metode Penelitian	11
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Hasil dan Pembahasan	16
4.1.1 Identifikasi jenis tumbuhan bawah	16
4.1.2 Logam As	17
4.1.3 Logam Cd	21
4.1.4 Logam Fe	26
4.1.6 Logam Pb	34
4.1.7 Logam Zn	39
4.1.8 Penentuan kategori fitoremediasi	43

4.1.9 Deskripsi tumbuhan tergolong hiperakumulator	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ambang batas konsentrasi logam berat pada biomassa tumbuhan.	9
2. Hasil identifikasi sampel di PT Napal Umbar Picung	16
3. Konsentrasi As, BCF, dan TF pada berbagai sampel.....	17
4. Konsentrasi Cd, BCF, dan TF pada berbagai sampel.	22
5. Konsentrasi Fe, BCF, dan TF pada berbagai sampel.	26
6. Konsentrasi Hg, BCF, dan TF pada berbagai sampel.	30
7. Konsentrasi Pb, BCF, dan TF pada berbagai sampel.....	35
8. Konsentrasi Zn, BCF, dan TF pada berbagai sampel.....	39
9. Jenis tumbuhan dengan akumulasi lebih dari ambang batas setiap logam.....	43
10. Jenis tumbuhan dengan nilai $BCF > 1$ terhadap logam tertentu.....	44
11. Jenis tumbuhan dengan mekanisme fitoekstraksi.	44
12. Jenis tumbuhan dengan mekanisme fitostabilisasi.	45
13. Jenis tumbuhan hiperakumulator untuk setiap logam.	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	4
2. Lokasi persebaran PESK. (Direktorat Pengelolaan B3 KLHK, 2020)	5
3. Bentuk plot.	12
4. Lokasi pengambilan sampel.	13
5. Boxplot konsentrasi As di daun pada setiap spesies.	18
6. Grafik BCF (A) dan TF (B) logam As.	20
7. Jalur metabolisme arsenik anorganik. (Martin et al., 2014).....	21
8. Boxplot konsentrasi Cd di daun pada setiap spesies.....	23
9. Grafik BCF (A) dan TF (B) logam Cd.....	24
10. Boxplot konsentrasi Fe di daun pada setiap spesies.	27
11. Grafik BCF (A) dan TF (B) Logam Fe.	28
12. Boxplot konsentrasi Hg di daun pada setiap spesies.....	31
13. Grafik BCF (A) dan TF (B) Logam Hg.	32
14. Boxplot konsentrasi Pb di daun pada setiap spesies.	36
15. Grafik BCF (A) dan TF (B) Logam Pb.	37
16. Boxplot konsentrasi Zn di daun pada setiap spesies.	40
17. Grafik BCF (A) dan TF (B) Logam Zn.....	41

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan emas skala kecil (PESK) merupakan usaha pertambangan yang dilaksanakan oleh perusahaan perorangan dengan investasi modal dan produksi terbatas. Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) memiliki peran penting dalam membangun ekonomi di Asia, Afrika, dan Amerika Serikat (Sari *et al.*, 2022). Pada tahun 2019 jumlah produksi emas di Indonesia mencapai 109,2 ton dengan presentase sekitar 20%-nya (Direktorat Pengelolaan B3 KLHK, 2020). Salah satu lokasi PESK yang berada di Lampung berada di Kabupaten Tanggamus yang kini sudah memiliki IUP dengan nama perusahaan PT Napal Umbar Picung. Kegiatan pertambangan emas ini dapat menghasilkan limbah berupa logam berat seperti arsenik (As), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) (Maddusa *et al.*, 2022).

Logam berat merupakan unsur-unsur kimia yang memiliki densitas lebih dari 5g/cm^3 , memiliki afinitas tinggi terhadap sulfur (S) dan bernomor atom 22 sampai 92. Logam berat memiliki sifat yang stabil dan tidak terurai sehingga mereka cenderung menumpuk dalam tanah dan sedimen. Logam berat yang menumpuk dapat mencemari tanah maupun air akan menyebabkan akumulasi sehingga dapat meracuni makhluk hidup (Hatika, 2022). Sebagai contoh, beberapa jenis ikan dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya. Logam berat tersebut dapat terakumulasi dalam insang dan hati ikan (Indrawati *et al.*, 2022). Akumulasi logam berat pada manusia dapat menimbulkan penyakit serius seperti terganggunya sistem-sistem yang ada di dalam tubuh, gangguan organ, dan penurunan kemampuan kognitif (Syidiq *et al.*, 2016).

Upaya memperbaiki area yang sudah tercemar limbah logam berat sudah banyak dilakukan salah satunya menggunakan tumbuhan hiperakumulator seperti *Salvinia molesta*, *Monocharia vaginalis*, *Paspalum conjugatum*, *Oryza sativa*, *Commelina nudiflora* yang dapat berfungsi sebagai fitoremediator Hg (Juhaeti *et*

al., 2009). Ma *et al* (2001) menyebutkan bahwa *Pteris vittata* memiliki kemampuan yang sangat efisien untuk mengekstraksi logam berat arsenik dan mentranslokasikannya ke biomassa di atas permukaan tanah. *Pteris vittata* termasuk ke dalam jenis paku-pakuan yang termasuk dalam ordo Polypodiales yang tumbuh pada daerah lembab di hutan, rawa, dan sungai. *Pteris vittata* termasuk ke dalam jenis tumbuh hiperakumulator karena dapat hidup dan tumbuh dalam keadaan yang tidak ideal seperti tercemar oleh logam berat (Dulanlebit *et al.*, 2021).

Jenis paku lain yang dikenal juga sebagai hiperakumulator As adalah *Pteris cretica* dan *Pteris biaurita*. Pada penelitian Zemanova *et al.* (2021) menunjukkan bahwa *Pteris cretica* yang tumbuh pada media tercemar As menunjukkan lebih sedikit gangguan fisiologis dan metabolisme seperti keseimbangan nutrisi, fotosintesis, dan metabolisme asam amino. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa jenis tumbuhan tersebut memiliki kemampuan untuk hidup yang sangat baik dan mampu menangani toksisitas yang diakibatkan oleh arsenik. *Pteris biaurita* secara alami tumbuh di lahan pasca tambang dan memiliki kemampuan untuk menyerap logam As sebesar 1,07 ppm dan Hg sebesar 96 ppb. Frekuensi dan kerapatan *Pteris biaurita* di lahan pasca tambang PT Newmont Minahasa Raya adalah 0,33 dan 0,54 individu/m² (Purnomo *et al.*, 2015).

Penggunaan tumbuhan hiperakumulator merupakan salah satu opsi untuk memperbaiki area yang sudah tercemar oleh logam berat, namun eksplorasi tumbuhan hiperakumulator dan potensinya dalam menyerap logam berat belum banyak dilakukan, terutama di PT Napal Umbar Picung. Identifikasi tumbuhan potensial hiperakumulator perlu dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis yang efektif digunakan untuk remediasi di PESK PT Napal Umbar Picung dan lokasi tambang emas lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah jenis tumbuhan apakah yang dapat digolongkan sebagai hiperakumulator logam berat yang diakibatkan oleh aktivitas Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di PT Napal Umbar Picung?

1.3 Tujuan Penelitian

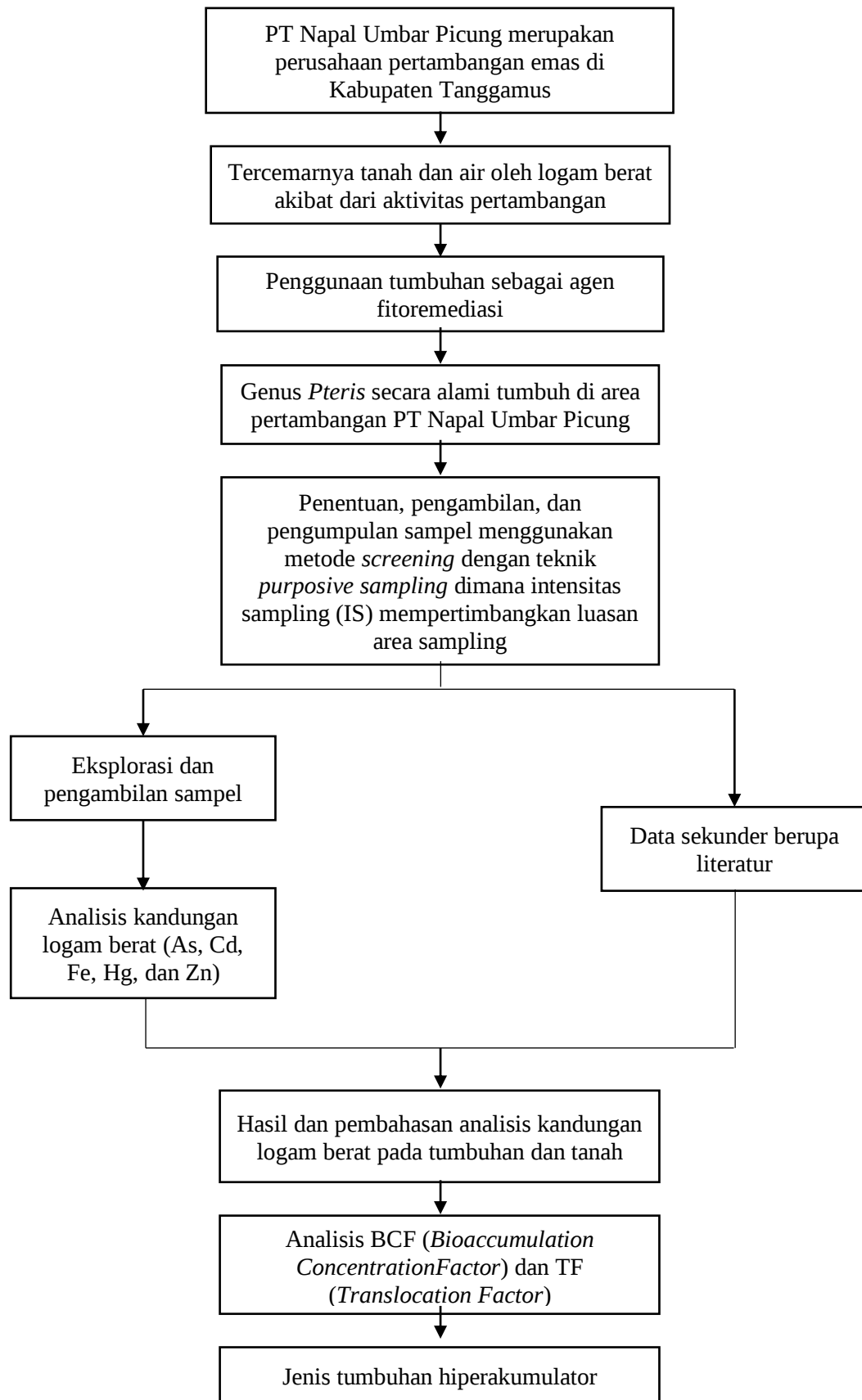
Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mencari jenis potensial tumbuhan hiperakumulator logam berat yang diakibatkan oleh aktivitas Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di PT Napal Umbar Picung.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mendapatkan jenis tumbuhan hiperakumulator yang dapat diterapkan dalam meremediasi lahan tercemar limbah logam berat di PT Napal Umbar Picung.

1.5 Kerangka Pemikiran

PT Napal Umbar Picung (PT NUP) merupakan salah satu perusahaan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) yang memiliki konsesi di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung dengan luas area konsesi sebesar 484 ha. Area penambangan berada di elevasi 150-300 meter di atas permukaan laut. Area yang masuk dalam konsesi PT NUP merupakan area pertanian dan sebagian kawasan hutan lindung. Area yang sudah ditambang akan menjadi area terbuka tanpa adanya tegakan dan menjadi tanggung jawab dari pemegang konsesi untuk mengembalikan keadaan area tersebut menjadi hutan kembali. Limbah yang dihasilkan pada kegiatan penambangan berupa logam berat yang mempengaruhi air dan tanah. Untuk menangani permasalahan tersebut diupayakan teknologi yang tepat serta ramah lingkungan. Penggunaan tumbuhan sebagai agen fitoremediator logam berat dapat diterapkan pada keadaan tersebut. Untuk mengetahui potensi tumbuhan yang tumbuh di area PT NUP dalam meremediasi logam berat maka perlu dilakukannya pengambilan sampel di lapangan lalu dianalisis di dalam laboratorium untuk mengetahui kadar logam berat pada tubuh tumbuhan tersebut.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertambangan Emas

Industri pertambangan emas merupakan salah satu industri yang bergerak dalam bidang eksploitasi batuan mineral untuk mengekstraksi emas (Au). Industri ini memiliki potensi laba yang tinggi. Ditinjau dari risiko dalam investasi, emas merupakan salah satu komoditi dengan risiko yang rendah sehingga membangun industri penambangan emas merupakan salah satu opsi untuk mendapatkan keuntungan jangka panjang (Syam *et al.*, 2021).

Emas termasuk sumberdaya yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable*) dan hal ini menjadi salah satu penyebab emas memiliki nilai yang tinggi. Kegiatan penambangan emas memiliki keuntungan bagi negara yaitu dengan menambah devisa negara untuk pembangunan nasional. Selain itu, dengan dibukanya pertambangan emas maka akan adanya lapangan pekerjaan bagi masyarakat. (Ambardini *et al.*, 2015).

Salah satu jenis pertambangan emas di Indonesia yaitu pertambangan emas skala kecil (PESK). Pertambangan jenis ini tersebar di seluruh Indonesia. Pulau Sumatera dan Jawa menjadi pusat penambangan emas skala kecil (PESK).



Gambar 2. Lokasi persebaran PESK. (Direktorat Pengelolaan B3 KLHK, 2020)

Dalam proses produksinya, penambangan emas memiliki dampak yang berbahaya bagi lingkungan dengan mencemari udara, tanah, dan air di sekitar area

penambangan (Aryani *et al.*, 2013). Zat pencemar yang masuk ke dalam lingkungan dapat berupa zat organik maupun anorganik. Zat anorganik yang dihasilkan dari aktivitas penambangan emas adalah logam berat. Logam hasil sampingan dalam proses penambangan emas mencakup merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), nikel (Ni), kromium (Cr), arsen (As), dan seng (Zn) (Indarwati, 2007).

Proses terjadinya pencemaran dapat terjadi berdasarkan tiga aktivitas kegiatan pertambangan, yaitu pengupasan, penanganan, dan pengolahan (Pratama, 2022). Kegiatan pengupasan lapisan penutup material tambang dapat mengakibatkan mineral-mineral sulfida di dalam tanah teroksidasi saat terpapar oleh udara bebas (Marganingrum & Noviardi, 2010). Akibat dari reaksi tersebut menghasilkan produk berupa ion sulfat yang dapat menyebabkan air asam tambang dan ion logam berat yang mencemari lingkungan (Annisa, 2016). Penanganan kegiatan pertambangan yang tidak sesuai ketentuan dapat mengakibatkan tercemarnya lingkungan seperti kebocoran limbah tailing. Salah satu kejadian bocornya limbah tailing terjadi di Desa Panyabungan Jae, Kabupaten Mandailing Natal. Kejadian tersebut mengakibatkan gagal panen pada hasil ternak warga (Atikah & Hidayat, 2023). Kegiatan pengolahan pada aktivitas pertambangan dapat mencemari lingkungan. Salah satu contoh sumber cemaran dari kegiatan pengolahan yaitu amalgamasi pada PESK (Surya *et al.*, 2022). Amalgamasi merupakan proses ekstraksi emas dengan menggunakan logam Hg sehingga cemaran utama dari kegiatan ini adalah logam Hg (Rosliana *et al.*, 2021).

2.2 Pencemaran Akibat Aktivitas Pertambangan Emas

Aktivitas pertambangan emas dapat menyebabkan cemaran yang berbahaya bagi lingkungan. Cemaran ini dapat berasal dari proses oksidasi pada batuan yang berada di area pit dan dari proses pengolahan hasil tambang (Pratama, 2022; Surya *et al.*, 2022). Hasil samping dari aktivitas ini merupakan unsur-unsur yang toksik terhadap lingkungan seperti sianida dan merkuri yang digunakan dalam proses ekstraksi emas (Arham *et al.*, 2020; Surya *et al.*, 2022).

Kegiatan yang perlu dilakukan dalam pertambangan emas jenis pit terbuka adalah dengan cara memindahkan bagian *overburden* ke area lain sehingga mineral yang diperlukan dapat terekspos (Saliba *et al.*, 2019; Oemiati *et al.*, 2020). Aktivitas ini dapat menyebabkan mineral sulfida pada batuan mengalami reaksi oksidasi sehingga berbagai macam logam berat dapat terlepas dan mencemari lingkungan (Hidayat, 2017). Beberapa contoh mineral sulfida yang dapat ditemui pada area pertambangan emas seperti pirit dan kalkopirit yang dapat melepaskan logam Fe, sphalerit yang dapat melepaskan logam Zn, dan galena yang dapat melepaskan logam Pb (Junaedy *et al.*, 2016; Muljana, 2023; Nitta *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2024).

Penggunaan merkuri (Hg) untuk ekstraksi emas masif dilakukan pada beberapa negara seperti Indonesia dan Brazil (Telmer & Veiga, 2008). Berdasarkan data yang disajikan oleh Yoshimura *et al* (2021) menyebutkan bahwa Indonesia menggunakan merkuri sebanyak 420 ton/tahun. Hal ini menyebabkan cemaran merkuri di Indonesia menjadi yang tertinggi di dunia. Penggunaan merkuri umum digunakan oleh pertambangan ilegal karena mudahnya akses untuk mendapatkan merkuri dan proses ekstraksi yang mudah serta persen ekstraksi yang tinggi (Rahmatillah & Husen, 2018; Widodo, 2008).

2.3 Logam Berat

Logam berat secara alami sudah tersedia di alam melalui proses pelapukan batuan atau letusan gunung berapi. Secara alamiah, logam berat dibutuhkan oleh tumbuhan dalam proses fisiologisnya tetapi dalam jumlah relatif yang sangat sedikit. Logam-logam tersebut mencakup besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), dan nikel (Ni) (Hidayat, 2015). Jika logam-logam tersebut melebihi ambang batas kebutuhan tumbuhan, maka logam tersebut akan berubah sifatnya menjadi beracun bagi tumbuhan (Prastiwi & Kuntjoro, 2022). Akumulasi logam yang berlebih dapat mempengaruhi fisiologi tumbuhan. Salah satu akibat dari akumulasi logam pada tumbuhan adalah menurunnya jumlah klorofil (Mariwy *et al.*, 2020).

Logam berat memiliki sifat yang sulit untuk terdegradasi sehingga dapat bertahan dalam waktu yang lama pada tanah. Pengaruh dari adanya pencemaran

logam berat pada tanah akan mempengaruhi dari kemasaman dan bahan organik tanah. Kandungan bahan organik yang rendah akan memperburuk akibat dari pencemaran logam berat sehingga aktivitas mikroba dalam tanah terganggu (Zainudin & Kesumaningwati, 2022).

Pencemaran logam berat yang masuk ke perairan akan terlarut dalam air dan terakumulasi dalam sedimen (Setiawan & Subiandono, 2015). Logam berat ini akan memberikan dampak pada organisme yang hidup di dalam ekosistem akuatik dengan cara logam tersebut masuk ke dalam tubuh organisme tersebut dan memasuki rantai makanannya (Teoh & Wong, 2018). Hal ini akan menyebabkan kesehatan manusia terancam akibat dari konsumsi hewan air yang memiliki akumulasi logam berat pada tubuhnya. Nuraeni *et al.* (2021) pada penelitiannya menyebutkan bahwa ikan patin (*Pangasius djambal*) di Waduk Saguling sudah tercemar limbah timbal (Pb) melebihi baku mutu yang sudah ditetapkan oleh SNI yaitu 0,3 mg/kg. Selain itu, kontak langsung dengan air yang tercemar oleh logam berat dapat mengakibatkan penyakit kulit seperti yang terjadi pada masyarakat yang tinggal di pesisir sungai Siak (Marici *et al.*, 2018).

2.4 Tumbuhan Hiperakumulator

Tumbuhan hiperakumulator merupakan tumbuhan yang digunakan dalam teknik fitoremediasi dimana tumbuhan tersebut memiliki kemampuan untuk mengakumulasi zat kontaminan pada bagian tubuhnya, baik itu akar, batang, dan daun (Widyasari, 2021). Suatu tumbuhan dapat dikatakan sebagai tumbuhan hiperakumulator jika tumbuhan tersebut mampu menyerap zat kontaminan khususnya logam 100 kali lebih banyak dibanding dengan tumbuhan yang tidak terakumulasi zat kontaminan (Sukono *et al.*, 2020). Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator berbeda-beda tergantung pada jenis logamnya.

Tabel 1. Ambang batas konsentrasi logam berat pada biomassa tumbuhan.

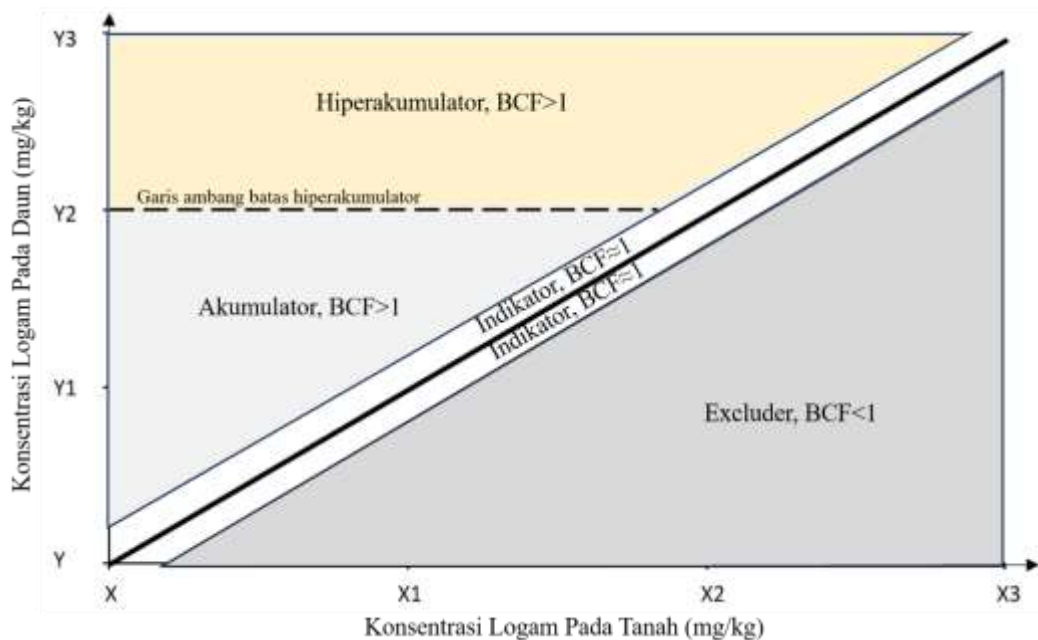
No.	Jenis Logam	Konsentrasi (ppm)	Sumber
1	Arsenik (As)	1.000	Ma <i>et al.</i> , 2001
2	Tembaga (Cu)	1.000	Napisah dan Annisa, 2019
3	Kadmium (Cd)	100	Napisah dan Annisa, 2019
4	Merkuri (Hg)	10	Kosegeran <i>et al.</i> , 2015.
5	Seng (Zn)	10.000	Napisah dan Annisa, 2019
6	Nikel (Ni)	10	Napisah dan Annisa, 2019
7	Mangan (Mn)	10.000	Napisah dan Annisa, 2019
8	Timbal (Pb)	1000	Pereira <i>et al.</i> , 2010

Beberapa jenis tumbuhan sudah terkonfirmasi memiliki kemampuan hiperakumulator terhadap logam tertentu. Jenis paku-pakuan dari genus *Pteris* seperti *Pteris cretica* dan *Pteris vitatta* memiliki kemampuan hiperakumulator untuk logam As (Lei *et al.*, 2012; Zemanová *et al.*, 2020). Genus *Thlaspi* memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap logam Cd. Spesies yang sudah terkonfirmasi sebagai hiperakumulator logam ini adalah *Thlaspi caerulescens* dan *Thlaspi goesingense* (Lombi *et al.*, 200). Jenis tumbuhan air seperti *Pandanus helicopus*, *Hanguana malayana*, dan *Echinocloa stagnina* memiliki kemampuan untuk menyerap besi dengan konsentrasi tinggi (Sulistiyarto, 2017). Jenis tumbuhan yang memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengakumulasi logam Hg yaitu *Amaranthus spinosus* dan *Mentha avernsis* (Irsyad *et al.*, 2014; Manikandan *et al.*, 2015).

Mekanisme penyerapan logam oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga. Pertama, penyerapan oleh akar tanaman. Logam yang menjadi polutan harus berbentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tanaman bersamaan dengan air. Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain. Dalam proses ini, setelah polutan menembus lapisan endodermis akar tanaman kemudian diteruskan ke bagian atas tumbuhan melalui jaringan pengangkut (xylem dan floem) ke bagian tumbuhan lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Pada proses ini tumbuhan berusaha untuk mencegah keracunan logam terhadap selnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti pada akar agar tidak menghambat proses metabolisme tumbuhan. Akumulasi logam pada tumbuhan dipengaruhi oleh faktor alamiah tumbuhan (spesies, kecepatan tumbuh, dan

kebutuhan nutrien), tanah (pH, zat organik, dan ion), dan variabel lingkungan (suhu, kelembaban, dan curah hujan) (Dwityaningsih *et al.*, 2019).

Kemampuan penyerapan logam oleh tumbuhan dapat direpresentasikan menggunakan persamaan faktor bioakumulasi dan faktor translokasi. Hasil dari persamaan bioakumulasi berupa nilai yang dapat menjelaskan golongan tumbuhan tersebut. Golongan tumbuhan dari hasil persamaan tersebut mencakup ekskluder, indikator, dan akumulator (Mariwy *et al.*, 2020). Penggolongan tumbuhan hiperakumulator harus memenuhi beberapa syarat seperti nilai bioakumulasi lebih dari satu dan daya serap tumbuhan mampu melampaui ambang batas logam berat tertentu (Praselia *et al.*, 2016). Penggambaran persamaan bioakumulasi disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kurva serapan tumbuhan dalam bentuk persamaan bioakumulasi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel dilaksanakan di PT Napal Umbar Picung, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Waktu pengambilan sampel dilaksanakan dari bulan Desember 2022 hingga Juni 2023. Lokasi preparasi dan analisa dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Mineral Terpadu BRIN, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. Pelaksanaan preparasi dan analisa dilaksanakan dari Januari 2023 hingga Oktober 2023.

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

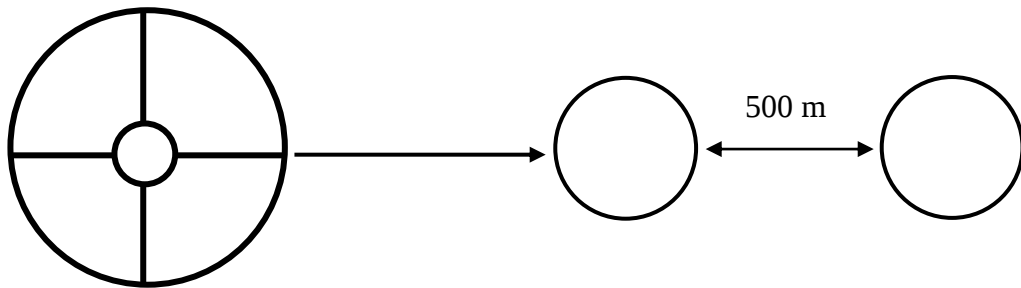
Alat yang diperlukan pada penelitian ini adalah alat tulis, alumunium foil, sieve 200 mesh, blender Philips HR2115/00, gelas beaker, gelas ukur, GPS Garmin 64s, gunting, mortar, oven, plastik zip, sekop, *Ultrasonic Cleaner* Elmasonic S 300 H, dan *Energi Dispersive X-Ray Fluroscence* (ED-XRF) PANalytical Epsilon 3XLE. Bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah sampel tanah, sampel tumbuhan, aquades, etanol, perangkat lunak SPSS versi 24, Microsoft Excel, dan perangkat lunak ArcGIS versi 10.8.

3.6 Metode Penelitian

1. Prosedur pengambilan sampel

Penelitian ini merupakan penelitian observasional, peneliti melakukan observasi atau pengamatan/pengukuran pada kondisi cuaca relatif cerah untuk menghindari kecelakaan kerja. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hingga sore hari di sekitar area Pertambangan Emas Skala Kecil PT Napal Umbar Picung. Penentuan, pengambilan, dan pengumpulan sampel menggunakan metode *screening* dengan teknik *purposive sampling with random start*.

Bentuk plot yang digunakan pada penelitian berbentuk lingkaran dengan radius 17,8 m sehingga didapatkan luas plot sebesar 0,1 ha. Plot tersebut dibagi dalam lima bagian. Setiap bagian dari lingkaran tersebut diambil satu sampel tumbuhan secara utuh dari akar hingga daun dan tanah di sekitar tumbuhnya tumbuhan tersebut. Jarak antar plot berjarak 500 m dihitung dari sisi terluar plot sampel.



Gambar 3. Bentuk plot.

Intensitas *sampling* yang digunakan sebesar 1%. Plot sampel ditentukan menggunakan persamaan berikut (Indriyanto, 2018).

$$I = \frac{l}{L} \times 100\%$$

$$1\% = \frac{l}{124 \text{ ha}} \times 100\%$$

$$l = 1\% \times 124 \text{ ha} = 1,24 \text{ ha}$$

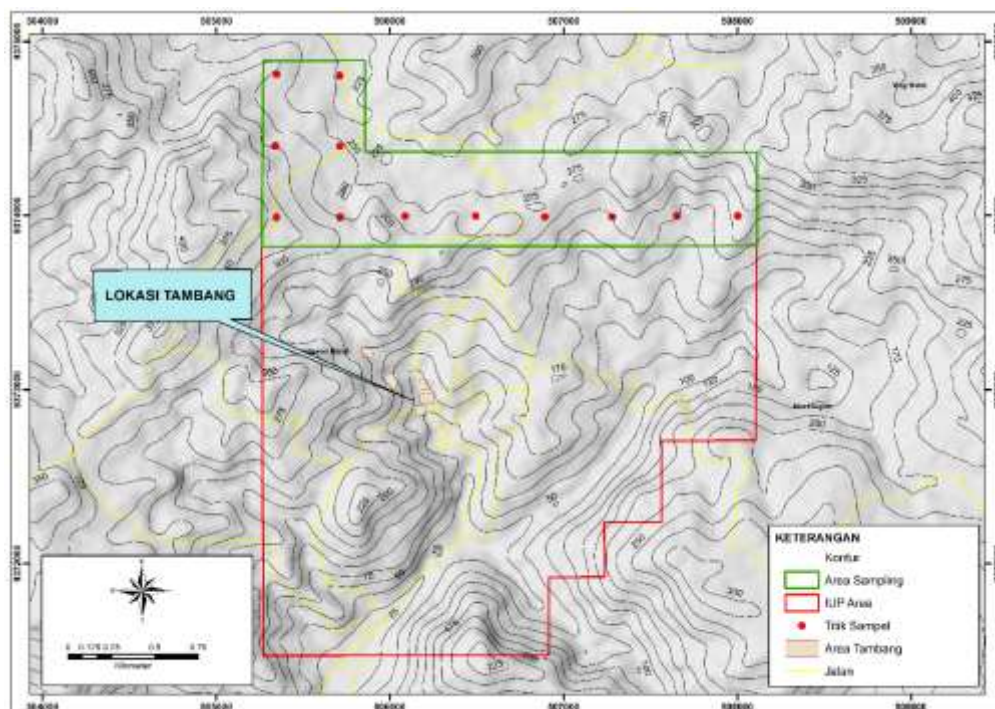
Penentuan jumlah plot yang digunakan dihitung berdasarkan luas *sampling* dikali dengan 10.000 m²/ha dan dibagi dengan luas satu plot sampel. Secara rinci disajikan dalam persamaan berikut (Indriyanto, 2018).

$$\text{luas plot sampel} = \pi r^2$$

$$\text{luas plot sampel} = 3,14 \times (17,8 \text{ m})^2 = 994,87 \text{ m}^2$$

$$\frac{1,24 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}}{994,87 \text{ m}^2} = 12,46$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat bahwa jumlah plot yang harus dipenuhi dalam penelitian ini berjumlah 12 plot. Nilai ini didapat dari pembulatan persamaan di atas menuju ke angka yang lebih kecil karena angka dibelakang koma kurang dari 0,5.



Gambar 4. Lokasi pengambilan sampel.

2. Preparasi sampel

Setelah sampel dari lapangan dikumpulkan, sampel dibawa ke laboratorium untuk dianalisis kandungan logam berat dalam setiap bagian tubuh tumbuhan. Preparasi sampel mengacu pada Srisena & Budianta (2021) dengan beberapa modifikasi, sampel tumbuhan dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air mengalir untuk menghilangkan tanah yang melekat pada bagian tubuh tumbuhan. Sampel yang sudah dicuci lalu dipotong-potong ke dalam ukuran yang lebih kecil.

Sampel yang sudah dipotong dimasukkan dalam gelas beaker 500 mL yang diisi oleh aquades sampai sampel tenggelam seluruhnya. Gelas beaker yang sudah berisi sampel dimasukkan dalam *Ultrasonic Cleaner* untuk membersihkan partikel tanah yang ukurannya lebih kecil. Penggunaan *Ultrasonic Cleaner* diatur dengan suhu 60 °C dalam waktu lima menit. Jika dalam waktu tersebut aquades dalam gelas beaker masih berwarna keruh oleh tanah, maka aquades dalam gelas beaker tersebut diganti dengan aquades yang baru lalu dimasukkan kembali ke dalam alat tersebut. Tahap ini terus diulangi hingga aquades dalam gelas beaker tidak berwarna keruh.

Sampel yang sudah bersih dimasukkan ke dalam alumunium foil, lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 °C selama 24-56 jam. Sampel dioven hingga kering konstan. Setelah kering, sampel diubah ke dalam bentuk bubuk menggunakan blender Philips HR2115/00 dengan kecepatan pada tombol bernomor tiga selama 1 menit. Sampel tanah yang sudah dibawa, dikeringanginkan terlebih dahulu. Jika sampel sudah kering maka sampel digerus menggunakan mortar hingga berukuran 200 mesh.

3. Analisis sampel

Analisis sampel dilakukan terhadap enam kandungan logam berat yaitu As, Cd, Fe, Hg, dan Zn. Analisis sampel menggunakan ED-XRF. Sampel yang sudah dipreparasi dimasukkan ke dalam cup yang sudah dilapisi oleh mylar sebanyak satu gram. Cup yang sudah terisi sampel dimasukkan ke dalam chamber lalu dianalisa kandungan logamnya. Hasil yang didapat setelah analisa ini berupa kandungan kadar logam dalam satuan ppm atau persen.

4. Analisis data

Data yang sudah terkumpul dianalisa menggunakan aplikasi SPSS versi 24. Analisis yang dilakukan yaitu analisis *boxplot*. *Boxplot* adalah diagram yang dibuat dengan berlandaskan pada ringkasan lima angka yaitu kuartil pertama (Q1), median atau kuartil kedua (Q2), kuartil ketiga (Q3), nilai minimum dan nilai maksimum. Penentuan kategori tumbuhan dilakukan dengan perhitungan nilai BCF (*Bioaccumulation concentration factor*) setiap jenis tumbuhan untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat dari tanah ke dalam tumbuhan dan nilai TF (*Translocation factor*) setiap jenis tumbuhan untuk mengetahui proses translokasi logam berat dari akar ke daun. Kedua rumus perhitungan tersebut adalah sebagai berikut (Mariwy *et al.*, 2020).

$$BCF = \frac{C_{\text{pada jaringan tumbuhan}}}{C_{\text{pada tanah}}}$$

Kategori tumbuhan berdasarkan nilai BCF dapat dibagi menjadi tiga, yaitu

1. Akumulator dan hiperakumulator apabila nilai $BCF > 1$.
2. Excluder apabila nilai $BCF < 1$.
3. Indikator apabila nilai BCF mendekati 1.

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

Kategori tumbuhan berdasarkan TF dapat dibagi menjadi dua, yaitu

1. Mekanisme fitoekstraksi apabila nilai $TF > 1$.
2. Mekanisme fitostabilisasi apabila nilai $TF < 1$.

Langkah selanjutnya membuat grafik dari nilai BCF dan TF menggunakan Microsoft Excel. Pada bar Microsoft Excel pilih “*Insert*”, lalu ke kolom “*Charts*” dan pilih *Scatter box* yang berada pada urutan pertama. Setelah grafik muncul, pergi ke “*Chart Design*” dan pilih “*Select Data*”. Pilih data sesuai dengan jenis grafiknya. Pada grafik BCF garis X menunjukkan konsentrasi logam pada tanah dan pada garis Y menunjukkan konsentrasi logam pada daun. Pada grafik TF garis X menunjukkan konsentrasi logam pada akar dan pada garis Y menunjukkan konsentrasi logam pada daun. Setelah data sudah dimasukkan, edit bagian axis X dan Y dengan skala logaritma. Pada grafik klik bagian axis X atau Y hingga muncul “*Format Axis*” pada sebelah kanan layar, lalu pilih gambar grafik bar di ujung sebelah kanan, klik “*Format Axis*” gulir ke bawah hingga menemukan kolom “*Logarithmic scale*” dan klik opsi tersebut. Langkah selanjutnya yaitu membuat kedua axis menggunakan rentang yang sama dengan mengaturnya di “*Format Axis*” dan pada pilihan “*Bounds*”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah.

1. Jenis tumbuhan yang dapat dikategorikan sebagai hiperakumulator Hg adalah *Alpinia galanga*, *Christella* sp, *Chromolaen odorata*, *Clidemia hirta*, *Melastoma malabathricum*, dan *Nephrolepis cordifolia*. Terdapat dua jenis tumbuhan yang dapat dikategorikan sebagai hiperakumulator Fe, yaitu *Christella* sp. dan *Chromolaena odorata*.
2. Tumbuhan yang memiliki mekanisme fitoekstraksi untuk logam Cd adalah *A. galanga*, *Christella* sp., *C. hirta*, *N. cordifolia* dan *Selaginella* sp. Tumbuhan yang memiliki mekanisme fitoekstraksi untuk logam Fe adalah *Christella* sp., dan *C. odorata*. Tumbuhan yang memiliki mekanisme fitoekstraksi untuk logam Hg adalah *A. galanga*, *Christella* sp., *C. odorata*, *C. hirta*, *M. malabathricum*, dan *N. cordifolia*. Tumbuhan yang memiliki mekanisme fitoekstraksi untuk logam Pb dan Zn adalah *A. galanga*, *Christella* sp., *C. odorata*, *Hoya* sp., *N. cordifolia*, *Selaginella* sp., dan *S. polyanthum*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan data yang tersaji dapat menjadi acuan untuk melakukan remediasi di lahan kritis khususnya lahan pasca tambang. Selain itu perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat mengoptimalkan penyerapan logam berat pada jenis tumbuhan yang tersaji pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A., Yusuf, H., Syukri, M., Nasution, R., Yusuf, M., Idroes, R. 2023. Heavy metals contamination in geothermal medicinal plant extract; *Chromolaena odorata* Linn. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 9(4): 995-1004.
- Agatha, S.M., Safitri, K.A., Pulungan, A., Maskana, M., Sedayu, A. 2019. *Panduan Lapangan Paku-pakuan (Pteridofita) di Taman Margasatwa Ragunan*. Laboratorium Biologi FMIPA Universitas Negeri Jakarta. Jakarta. 57 hlm.
- Agunbiade., F.O., Fawale, A.T. 2009. Use of Siam weed biomarker in assessing heavy metal contaminations in traffic and solid waste polluted areas. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 6(2): 267-276.
- Agus, C., Putra, P.B., Faridah, E., Wulandari, D., Napitupulu, R.R. 2016. Organic carbon stock and their dynamics in rehabilitation ecosystem areas of post open coal mining at tropical region. *Procedia Engineering*. 159: 329-337.
- Ajeng, A., Pertiwi, S., Ariyani, M., Ridwan, Y.S., Fryantoni, D. 2022. *Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil*. BRIN. Jakarta. 65 hlm.
- Alexandra, F.D., Frethernety, A., Trinovita, E., Fatmaria, F., Ysrafil, Y. 2023. *Inventaris Tanaman Obat Antihiperglikemia Pada Lahan Gambut Sebagai Terapi Komplementer (Pendekatan desain obat secara in vivo, in vitro dan in silico)*. Nasmedia. Makassar. 163 hlm.
- Ambardini, S., Indrawati, I., Ratnaeni, R. 2015. Karakter trikoma daun tanaman jati (*Tectona grandis* L.) yang ditanam pada tanah pascatambang emas Bombana dengan variasi dosis pupuk kandang kambing. *Biowallacea*. 2(1): 113-125.
- Andayaningsih, D., Chikmawati, T., Sulistijorini, S. 2013. Keanekaragaman tumbuhan paku terestial di Hutan Kota DKI Jakarta. *Berita Biologi*. 12(3): 297-305.

- Anh, B.T.K., Ha, N.T.H., Danh, L.T., Van Minh, V., Kim, D.D. 2017. Phytoremediation applications for metal-contaminated soils using terrestrial plants in Vietnam. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*. 5: 157-181.
- Annisa, A. 2016. Pengaruh mineral sekunder sulfat hasil oksidasi pirit terhadap nilai total sulfur pada batubara formasi haloq dan serpih karbonan formasi batuayau cekungan Kutai Atas. *PROMINE*. 4(2): 31-37.
- Anyanwu, S., Eno, E.O., Inyang, I.J., Asemota, E.A., Okpokam, D C., Obioma, O.O., Agu, V.O Emeribe, A. U. 2018. Evaluation of hepatotoxicity associated with ethanolic extract of *Chromolaena odorata* in Wistar rat model. *IOSR J Dent Med Sci*, 17(7), 1-8.
- Arbain, D., Pangestu, H. 2022. Kajian etnobotani, fitokimia dan bioaktifitas tumbuhan obat Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. *Jurnal Syntax Fusion*, 2(9): 766-776.
- Arham, L.O., Mufakhir, F.R., Saputra, H. 2020. Studi ekstraksi bijih emas asal pesawaran dengan metode pelindian agitasi dalam larutan sianida. *Journal of Science and Applicative Technology*. 4(2): 103-109.
- Arini, D.I.D., Kinho, J. 2012. Keragaman jenis tumbuhan paku (Pteridophyta) di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara. *Info BPK Manado*. 2(1): 17-40.
- Arum, F., Zaidan, M., Soewoto, H.P., Sudiyanto, Y. 2021. Kajian karakteristik fisik bijih emas pada lokasi PESK (Pertambangan Emas Skala Kecil) di daerah Lebak Gedong-Lebak, Banten. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*. 1(1): 58-68.
- Aryani, L., Setiani, O., Nurjazuli, N. 2013. Hubungan kadar merkuri (Hg) dengan profil darah pekerja pertambangan emas tradisional di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 12(2): 144-148.
- Astuti, R.E.F., Hadisunarso, H., Praptosuwiryo, T.N. 2019. Anatomi paradermal daun enam jenis tumbuhan paku marga *Pteris*. *Buletin Kebun Raya*. 22(1): 69-84.
- Atagana, H. I. 2011. Bioremediation of co-contamination of crude oil and heavy metals in soil by phytoremediation using *Chromolaena odorata* (L) King & HE Robinson. *Water, Air, & Soil Pollution*. 215: 261-271.
- Atikah, A., Hidayat, R. 2023. Ganti rugi atas gagal panen kolam ikan karena kebocoran limbah tambang emas perspektif fatwa MUI No. 22 Tahun 2011 tentang Pertambangan Ramah Lingkungan di Desa Panyabungan Jae Kabupaten Mandailing Natal. *UNES Law Review*. 6(2): 5926-5934.

- Azzahro, F. 2022. Inventarisasi tumbuhan paku di Desa Cengkehan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Tropika Mozaika*. 1(1): 11-15.
- Babaahamdi-Milani, M., Nezamzadeh-Ejhieh, A. 2016. A comprehensive study on photocatalytic activity of supported Ni/Pb sulfide and oxide systems onto natural zeolite nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 318. 291-301.
- Baderan, D.W.K., Utina, R. 2021. *Biodiversitas Flora dan Fauna Pantai Biluhu Timur (Suatu Tinjauan Ekologi-Lingkungan Pantai)*. Deepublish. Sleman. 139 hlm.
- Basri, B., Sakakibara, M., Sera, K. 2020. Mercury in soil and forage plants from artisanal and small-scale gold mining in the bombana area, Indonesia. *Toxics*. 8(15): 1-10.
- Beckers, F., Rinklebe, J. 2017. Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 47(9): 693-794.
- Briat, J.F., Duc, C., Ravet, K., Gaymard, F. 2010. Ferritins and iron storage in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*. 1800(8): 806-814.
- Caroline, J. Moa, G.A. 2015. Fitoremediasi logam timbal (Pb) menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuningan. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*. 733-744.
- Conant, P. 2009. *Clidemia hirta* (L.) D. Don (Melastomataceae). *Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods*. Cambridge University Press, Cambridge. 163-182.
- Darlis, V.V., Putriani, C.N.M., Yoza, D., Pebriandi, P. 2023. Potensi dan pertumbuhan beberapa jenis tanaman dalam penyerapan logam berat timbal (Pb) pada media tanah bekas tambang timah Desa Siabu Kecamatan Salo Kabupaten Kampar. *Journal of Tropical Silviculture*. 14(3): 191-194.
- DeWalt, S.J., Denslow, J.S., Hamrick, J. L. 2004. Biomass allocation, growth, and photosynthesis of genotypes from native and introduced ranges of the tropical shrub *Clidemia hirta*. *Oecologia*. 138: 521-531.
- DeWalt, S.J., & Hamrick, J.L. 2004. Genetic variation of introduced Hawaiian and native Costa Rican populations of an invasive tropical shrub, *Clidemia hirta* (Melastomataceae). *American journal of botany*. 91(8): 1155-1163.

- Direktorat Pengelolaan Bahan Berbahaya Beracun Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. *Status Merkuri Pada Pertambangan Emas Skala Kecil di Indonesia Buku 2: Penggunaan Merkuri dan Dampaknya Terhadap Lingkungan, Serta Sebaran Lokasi Pertambangan Emas Kecil*. KLHK. Jakarta. 16 hlm.
- Djunaid, U., Kandowangko, N.Y., Hamidun, M.S. 2013. *Kandungan merkuri (Hg) pada tumbuhan yang berada di kawasan penambangan emas Desa Hulawa Kecamatan Sumalata Kabupaten Gorontalo Utara*. [Skripsi]. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo
- Dulanlebit, Y.H., Unwakoly, S., Sangadji, R.P. 2021. Studi potensi *Pteris vitata*, *Amaranthus spinosus*, *Ipomea reptans* sebagai fitoremediator tanah tercemar merkuri (Hg). *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*. 11(1): 32-38.
- Dwityaningsih, R., Pramita, A., Syarafina, S. 2019. Review potensi obat tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) sebagai tanaman hiperakumulator dalam fitoremediasi pada lahan tercemar logam. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*. 1(1): 51-56.
- Fayiga, A.O., Ma, L.Q. 2006. Using phosphate rock to immobilize metals in Tanah and increase arsenic uptake by hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Science of the Total Environment*. 359(1-3): 17-25.
- Fikri, E. 2021. *Pestisida Pertanian (Dampak Lingkungan dan Kesehatan)*. Eureka Media Aksara. Purbalingga. 95 hlm.
- Fikri, E., Setiani, O., Nurjazuli, N. 2012. Hubungan paparan pestisida dengan kandungan arsen (As) dalam urin dan kejadian anemia (Studi: pada petani penyemprot pestisida di Kabupaten Brebes). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 11(1): 29-37.
- Gaucin Gutiérrez, S.C., Rojas-Contreras, J.A., Zazueta-Álvarez, D.E., Delgado, E., Vázquez Ortega, P.G., Medrano Roldán, H., Reyes Jáquez, D. 2024. Exploration of in vitro voltage production by a consortium of chemolithotrophic microorganisms using galena (PbS) as a sulphur source. *Clean Technologies*. 6(1): 62-76.
- Gelyaman, G.D. 2018. Faktor – Faktor yang mempengaruhi bioavailabilitas besi bagi tumbuhan. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. 1(1): 14-16.
- Gomes, F.P., Soares, M.B., Amoozegar, A., Alleoni, L.R.F. (2023). How Does the Use of Biochar, Phosphate, Calcite, and Biosolids Affect the Kinetics of Cadmium Release in Contaminated Soil?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(7): 439.
- Goryachev, B.E., Nikolaev, A.A. 2012. Galena oxidation mechanism. *Journal of Mining Science*. 48(2): 354-362.

- Gupta, N., Ram, H., Kumar, B. 2016. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 15: 89-109.
- Hadi, M. C. 2013. Bahaya merkuri di lingkungan kita. *Jurnal Skala Husada*. 10(2): 175-183.
- Hamsina, H., Yusuf, B., Erwin, E. 2017. Analisis kadar ion Pb^{2+} pada kangkung darat (*Ipomea Reptans* Poir) yang diberi air lindi dari TPA sampah Bukit Pinang Samarinda. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 15(1): 35-45.
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, W.H., Guritno, B. 2012. Siam weed (*Chromolaena odorata* L.) for phytoremediation of artisanal gold mine tailings. *Journal of tropical Agriculture*. 50(1): 88-91.
- Handajani, N.S., Purwoko, T. 2008. Aktivitas ekstrak rimpang lengkuas (*Alpinia galanga*) terhadap pertumbuhan jamur *Aspergillus* spp. penghasil aflatoksin dan *Fusarium moniliforme*. *Biodiversitas*. 9(3): 161-164.
- Handayani, C.O., Dewi, T., Hidayah, A. 2018. Biokonsentrasi dan translokasi logam berat Cd pada tanaman bawang merah dengan aplikasi amelioran. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 5(2): 841-845.
- Harijoko, A., Htun, T.M., Saputra, R., Warmada, I.W., Setijadji, L.D., Imai, A., Watanabe, K. 2010. Mercury and arsenic contamination from small scale gold mining activities at Selogiri area, Central Java, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Applied Geology*. 2,(1): 56-69.
- Haritsah, L., Budianta, W. 2023. Pencemaran logam berat pada air sungai Andong oleh penambangan emas tradisional di Jatiroto, Jawa Tengah. *Jurnal Pertambangan*. 7(4): 162-167.
- Hasmeda, M., Sari, I.Y., Munandar, M., Ammar, M., Gustiar, F. 2021. Respon pertumbuhan dan hasil pada tanaman bayam (*Amaranthus* sp) terhadap biofortifikasi unsur hara kalsium (Ca) dan besi (Fe) dengan sistem hidroponik DFT (Deep Flow Technique). *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. 9(1): 721-733.
- Hatika, R.G. 2022. Kandungan logam berat dalam tanah pada daerah sekitar penambangan emas di Sungai Kuantan. *Jurnal Sainsmart*. 11(1): 95-103.
- Hidayat, A. P., Damris, D. 2019. Pengaruh penambahan biochar dari batubara lignite pada tanah bekas penambangan batubara terhadap konsentrasi logam kadmium (Cd) terlarut menggunakan kolom fixed bed sorpsion. *Jurnal Engineering*. 1(1): 1-16.

- Hidayat, B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(1): 51-61.
- Hidayat, L. 2017. Pengelolaan lingkungan areal tambang batubara (studi kasus pengelolaan air asam tambang (Acid Mining Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan). *ADHUM (Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Administrasi dan Humaniora)*. 7(1): 44-52.
- Hidayati, N. 2013. Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 14(2): 75-82.
- Hidayati, N., Juhaeti, T., Syarif, F. 2009. Mercury and cyanide contaminations in gold mine environment and possible solution of cleaning up by using phytoextraction. *Hayati Journal of Biosciences*. 16(3): 88-94.
- Huang, L., Liao, M., Liao, H., Liu, Z., Cai, H., Zhou, W., Xu, Z., Ouyang, K., Yang, W., Jian, S. 2023. High phosphorus availability and low light intensity reduce the competitive ability of the invasive plant *Chromolaena odorata* in tropical coral islands. *Biological Invasions*, 1-17.
- Impa, S.M., Morete, M.J., Ismail, A.M., Schulin, R., Johnson-Beebout, S.E. 2013. Zn uptake, translocation and grain Zn loading in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes selected for Zn deficiency tolerance and high grain Zn. *Journal of experimental botany*. 64(10): 2739-2751.
- Indrawati, E., Musada, Z., Tantu, A.G., Renal, R. 2022. Status pencemaran logam berat timbal dan kadmium di Sungai Tallo menggunakan bioindikator ikan nila *Oreochromis Niloticus*. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*. 22(2): 348-361.
- Indarwati, M.T., Mahendra, M.S., Arthana, I.W. 2007. Analisis kadar logam berat air Sungai Sekonyer di Kabupaten Kotawaringin Barat Kalimantan Tengah. *ECOTROPHIC*. 2(2): 1-10.
- Indriyanto, I. 2018. *Metode Analisis Vegetasi dan Komunitas Hewan*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 254 hlm.
- Irsyad, M., Sikanna, R., Musafira, M. 2014. Translokasi merkuri (Hg) pada daun tanaman bayam duri (*Amaranthus Spinosis* L) dari tanah tercemar. *Natural Science: Journal of Science and Technology*. 3(1): 8-17.
- Istarani, F., Pandebesie, E. S. 2014. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(1): D53-D58.
- Iswanto, I., Sudarmadji, S., Wahyuni, E.T., Sutomo, A.H. 2016. Timbulan sampah B3 rumah tangga dan potensi dampak kesehatan lingkungan di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(2): 179-188.

- Jannah, A.B.S.N., Ramadanti, K., and Uyun, K. 2022. Identifikasi Ciri Morfologi pada Lengkuas (*Alpinia galanga*) dan Bangle (*Zingiber purpureum*) di Desa Mesjid Priyayi, Kecamatan Kasemen, Kota Serang, Banten. *Tropical Bioscience: Journal of Biological Science*. 2(1): 27-34.
- Joffry, S.M., Yob, N.J., Rofiee, M.S., Affandi, M.M.R., Suhaili, Z., Othman, F., Akim, A.M., Desa, M.N.M., Zakaria, Z. A. 2012. *Melastoma malabathricum* (L.) Smith ethnomedicinal uses, chemical constituents, and pharmacological properties: a review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2012.
- Juhaeti, T., Hidayati, N., Syarif, F., Hidayat, S. 2009. Uji potensi tumbuhan akumulator merkuri untuk fitoremediasi lingkungan tercemar akibat kegiatan penambangan emas tanpa izin (PETI) di Kampung Leuwi Bolang, Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Bogor. *Jurnal Biologi Indonesia*. 6(1): 1-11.
- Juhriah, J., Zakariah, M., Umar, M. R. 2023. Fitoremediasi tanaman hias bunga *Impatiens balsamina* L., dan *Zinnia elegans* (Jacq.) Kuntze terhadap polutan merkuri pada tanah. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 8(2): 1-10.
- Junaedy, M., Efendi, R., Sandra, S. 2016. Studi zona mineralisasi emas menggunakan metode magnetik di lokasi tambang emas Poboya. *Natural Science: Journal of Science and Technology*. 5(2): 209-222.
- Kachenko, A.G., Singh, B., Bhatia, N.P. 2007. Heavy metal tolerance in common fern species. *Australian journal of botany*. 55(1): 63-73.
- Kambombu, S.H., Ina, A.T. 2023. Keanekaragaman jenis tumbuhan pteridophyta di hutan kakaha desa praiwitu kabupaten sumba timur sebagai sumber belajar biologi. *BIOEDUKASI: Jurnal Pendidikan Biologi*. 14(2): 217-229.
- Kartini, E., Syaufina, L., Mansur, I. 2016. Karakteristik Vegetasi dan Cadangan Karbon Pada Lahan Tambang di Gunung Pongkor, Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 7(2): 86-94.
- Kayu, Y.R.B., Boro, T.L., Danong, M.T. 2019. Identification of terrestrial and epyphityc in the Watu Bakul forest area in Dewa Jara Village District Katiku Tana Sumba Tengah. *Jurnal Biotropical Sains*. 16(3): 86-95.
- Kosegeran, A.O., Rondonuwu, S., Simbala, H., Rumondor, M. 2015. Kandungan merkuri pada tumbuhan paku (*Diplazium accedens* Blume) di daerah tambang emas Tatelu-Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Sains*. 15(1): 59-65.
- Kumar, S., Kumar, S., Mohapatra, T. 2021. Interaction between macro-and micro-nutrients in plants. *Frontiers in Plant Science*. 12(66583): 1-9.

- Lakitan, B. 2018. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Rajawali Press. Depok. 205 hlm.
- Le, C., Fukumori, K., Hosaka, T., Numata, S., Hashim, M., Kosaki, T. 2018. The distribution of an invasive species, *Clidemia hirta* along roads and trails in Endau Rompin National Park, Malaysia. *Tropical Conservation Science*. 11.
- Lei, M., Wan, X.M., Huang, Z.C., Chen, T.B., Li, X.W., Liu, Y.R. 2012. First evidence on different transportation modes of arsenic and phosphorus in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Environmental Pollution*. 161: 1-7.
- Li, N., Wang, J., Song, W.Y. 2016. Arsenic uptake and translocation in plants. *Plant and Cell Physiology*. 57(1): 4-13.
- Liong, S., Noor, A., Taba, P., Zubair, H. 2009. Dinamika akumulasi kadmium pada tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir). *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*. 2(1): 39-45.
- Lombi, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J., McGrath, S.P. 2000. Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. *The New Phytologist*. 145(1): 11-20.
- Lukvitasari, L., Triwidodo, H., Rizali, A., Buchori, D. 2021. Pengaruh lokasi terhadap serangan lalat puru *Cecidochares connexa* (Macquart) pada tumbuhan eksotik invasif *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson dan interaksinya dengan komunitas serangga lokal. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 18(2): 127-127.
- Luping, H., Liao, M., Liao, H., Liu, Z., Cai, H., Zhou, W., Xu, Z., Ouyang, K., Yang, W., Jian, S. 2023. High phosphorus availability and low light intensity reduce the competitive ability of the invasive plant *Chromolaena odorata* in tropical coral islands. *Biological Invasions*. 1-17.
- Ma, L.Q., Komar, K.M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., Kennelley, E.D. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*. 409(6820): 579-579.
- Maddusa, S.S., Girikallo, G.G., Alik, O., Liono, V.V., Joseph, W.B.S., Sondakh, R.C. 2022. Risiko kesehatan lingkungan paparan logam berat pada ikan nilem (*Osteochillus vittatus*) di Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *HIGIENE*. 8(1): 1-6.
- Mahmud, M., Lihawa, F., Saleh, Y., Desei, F., Banteng, B. 2019. Study of mercury concentration in plants in Traditional Buladu Gold Mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 314(1): 012018

- Majid, A., Ajizah, A., Amintarti, S. 2022. Keragaman tumbuhan paku (pteridophyta) di taman biodiversitas hutan hujan tropis mandiangin. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*. 7(2): 102-12.
- Manikandan, R., Sahi, S. V., Venkatachalam, P. 2015. Impact assessment of mercury accumulation and biochemical and molecular response of *Mentha arvensis*: a potential hyperaccumulator plant. *The Scientific World Journal*, 2015.
- Marganingrum, D., Noviardi, R. 2009. Pencemaran air dan tanah di kawasan pertambangan batubara di PT. Berau Coal, Kalimantan Timur. *Riset Geologi dan Pertambangan-Geology and Mining Research*. 20(1): 11-20.
- Marici, S., Ilza, M., Afandi, D. 2018. Pemanfaatan air sungai terhadap kejadian penyakit kulit pada masyarakat pesisir Sungai Siak di Kecamatan Rumbai Pesisir Pekanbaru. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 12(1): 83-93.
- Mariwy, A., Dulanlebit, Y.H., Yulianti, F. 2020. Studi akumulasi logam berat merkuri menggunakan tanaman awar-awar (*Ficus Septica* Burm F). *Indonesian Journal of Chemical Research*. 7(2): 159-169.
- Mariwy, A., Manuhutu, J.B., Frans, D. 2021. Bioaccumulated mercury by several types of plants in ex-traditional gold processing area, Gogorea Village, Buru Island. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 9(2): 105-110.
- Martin, R., Dowling, K., Pearce, D., Sillitoe, J., Florentine, S. 2014. Health effects associated with inhalation of airborne arsenic arising from mining operation. *Geosciences*. 4(3): 128-175.
- Mayda, U., Akond, M.A., Manirul, M.I., Mehraj, H., Jamal Uddin, A.F.M. 2013. Mitigation of soil arsenic by phytoremediation process. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*. 1(2): 87-94.
- Mudaningrat, A., Indriani, B.S., Istianah, N., Retnoningsih, A., Rahayu, E.S. 2023. Literature Review: Pemanfaatan Jenis-Jenis *Syzigium* di Indonesia. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya (JB&P)*. 10(2): 135-156.
- Mulani, S., Tamboli, F.A., Kolekar, Y., Bhosale, P., Patil, K., Shendage, S., & Randive, D. 2023. Morphological, histological and phytochemical features of *Nephrolepis cordifolia* (L.) C. Presl. *National Academy Science Letters*. 1-7.
- Muljana, B. 2023. Evolusi tektonisme dan magmatisme sebagai kontrol cebakan emas di Cineam, Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution Geology*. 21(2): 81-88.
- Mumpuni, M. 2016. Variasi morfologi *Pteris vittata* L. (Pteridaceae; Pteridophyta) dan koleksinya dengan ketinggian lokasi tempat tumbuhnya

- di Jawa. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*. 2(2): 100-109.
- Napisah, K., Annisa, W. 2019. Peran purun tikus (*Eleocharis dulcis*) sebagai penyerap dan penetral Fe di Lahan Rawa Pasang Surut. 13(1): 53-59.
- Nitta, E., Kimata, M., Hoshino, M., Echigo, T., Hamasaki, S., Nishida, N., Shimizu, S., Akasaka, T. 2008. Crystal chemistry of ZnS minerals formed as high-temperature volcanic sublimates: matraite identical with sphalerite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 103(2): 145-151.
- Noviardi, R., Damanhuri, T. P. 2015. Penyerapan logam timbal (Pb) pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dengan variasi penambahan kompos dan limbah batubara pada media tanah. *Ecolab*. 9(2): 60-71.
- Nur, F. 2013. Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*. 1(1). 74-83.
- Nuraeni, A., Samosir, A., Sulistiono, S. 2021. Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada hati ikan patin (*Pangasius djambal*) di Waduk Saguling, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 12(2): 113-123.
- Nurcholis, M., Yudiantoro, D. F., Haryanto, D., Mirzam, A. 2017. Heavy metals distribution in the artisanal gold mining area in Wonogiri. *Indonesian Journal of Geography*. 49(2): 133-144.
- Nurfadhilla, N., Nurruhwati, I., Sudianto, S., Hasan, Z. 2020. Tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) pada tutut (*filopaludina javanica*) di Waduk Cirata Jawa Barat. *Akuatika Indonesia*. 5(2): 61-70.
- Nurlely, N., Rahmah, A., Ratnapuri, P.H., Srikartika, V.M., Anwar, K. 2021. Uji karakteristik fisik sediaan gel ekstrak daun kirinyuh (*Chromolaena odorata* L.) dengan variasi karbopol dan HPMC. *Jurnal Pharmascience*. 8(2): 79-89.
- Oemiati, N., Revisdah, R., Rahmawati, R. 2020. Analisa produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada pengupasan lapisan tanah penutup (overburden). *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*. 6(3): 194-207.
- Panagos, P., Jiskra, M., Borrelli, P., Liakos, L., Ballabio, C. 2021. Mercury in European topsoils: Anthropogenic sources, stocks and fluxes. *Environmental research*. 201(111556): 1-11.
- Pelu, A.D., Djarami, J. 2021. Studi farmakognostik tanaman harendong bulu (*Clidemia Hirta*) asal Maluku. *JUMANTIK (Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan)*. 6(4): 314-320.

- Pereira, B.F.F., Abreu, C.A.D., Herpin, U., Abreu, M.F.D., Berton, R.S. 2010. Phytoremediation of lead by jack beans on a rhodic hapludox amended with EDTA. *Scientia Agricola*. 67. 308-318.
- Pramono, A., Rosariastuti, M.R., Ngadiman, N., Prijambada, I.D. 2012. Peran Rhizobakteri Dalam Fitoekstraksi Logam Berat Kromium Pada Tanaman Jagung. *Ecolab*, 6(1), 38-50.
- Prasetia, H., Sakakibara, M., Sueoka, Y., Sera, K. 2016. *Pteris cretica* as a potential biomarker and hyperaccumulator in an abandoned mine site, southwest Japan. *Environments*. 3(15): 1-10.
- Prastiwi, A.D., Kuntjoro, S. 2022. Analisis kadar logam berat tembaga (Cu) pada kangkung air (*Ipomea aquatica*) di Sungai Prambon Sidoarjo. *LenteraBio*. 11(3): 405-413.
- Pratama, G. R. 2022. Penerapan good mining practice di PT. Gunung Bale, Malang, Jawa Timur. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*. 7(2): 61-67.
- Prawiradiputra, B.R. 2007. Ki rinyuh (*Chromolaena odorata* (L) rm king dan h. robinson): gulma padang rumput yang merugikan. *Wartazoa*. 17(1): 46-52.
- Price, N.M., Morel, F.M.M. 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature*. 344(6267): 658-660.
- Pujiati, S.A.S., Sukarjo, S., Susatyo, E.B., Widiarti, N. 2018. Adsorpsi tanah terhadap ion logam Ni(II) dan Zn(II) serta remediasinya dengan metode pencucian. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(2): 187-194.
- Purnomo, D.W., Magandhi, M., Helmanto, H., Witono, J.R. 2015. Jenis-jenis tumbuhan reklamasi potensial untuk fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(3): 496-500.
- Rahim, S.A., Lihan, T., Idris, W.M.R., Musta, B., Laming, A., Chain, C.L. 2006. Pengambilan Cd, Co, Pb, Ni dan Zn oleh *Melastoma malabathricum* daripada tanah bekas lombong di Lombong Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor. *Borneo Science (The Journal of Science and Technology)*. 19(1): 35-47.
- Rahmatillah, S., Husen, T. 2018. Penyalahgunaan pengelolaan pertambangan terhadap kerusakan lingkungan hidup di Kecamatan Kluet Tengah. *LEGITIMASI: Jurnal Hukum Pidana Dan Politik Hukum*. 7(1): 149-171.
- Raj, A., Singh, N. 2015. Phytoremediation of arsenic contaminated soil by arsenic accumulators: a three year study. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 94: 308-313.

- Rathinasabapathi, B., Ma, L.Q., Srivastava, M. 2006. Arsenic hyperaccumulating ferns and their application to phytoremediation of arsenic contaminated sites. *Floriculture, ornamental and plant biotechnology*. 3(32): 304-311.
- Renjana, E. 2021. Potensi fitoremediasi tanah tercemar arsenik koleksi tumbuhan paku Kebun Raya Purwodadi. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 7(1): 10-18.
- Restuaji, I.M., Kusuma, K.I.M. 2022. Hubungan lama merokok terhadap kadar timbal perokok aktif di desa Kwagean, Nganjuk. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*. 3(2): 85-89.
- Rezamela, E., Rachmiati, Y., Trikamulyana, T. 2018. Pengaruh dosis dan interval pemupukan Zn-30% terhadap produksi dan komponen hasil tanaman. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. 5(2): 87-94.
- Riaz, U., Aslam, A., uz Zaman, Q., Javeid, S., Gul, R., Iqbal, S., Javid, S., Murtaza, G., Jamil, M. 2021. Cadmium contamination, bioavailability, uptake mechanism and remediation strategies in soil-plant-environment system: a critical review. *Current Analytical Chemistry*. 17(1): 49-60.
- Ropp, R.C., Mooney, R.W. 1960. Phosphates of cadmium. *Journal of the American Chemical Society*. 82(18): 4848-4852.
- Roslina, R., Surya, R. Z., Adjie, G. (2021). analisa kebijakan anggaran dalam pengendalian pencemaran lingkungan akibat operasional pertambangan emas skala kecil (PESK) di Kabupaten XYZ. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan*. 10(1): 7-11.
- Rumahlatu, D. 2011. Biomonitoring: Sebagai alat asesmen kualitas perairan akibat logam berat kadmium pada invertebrata perairan. *Saintis*. 1(1): 10-34.
- Salamah, Z., Sasongko, H., Hidayati, A.Z. 2020. Inventory of ferns (Pteridophyta) at Cerme Cave Bantul District. *Bioscience*. 4(1): 97-108.
- Saleh, A.R. Sudewi, S., Arfan, A., Sayani, S. 2023. Keragaman jenis dan potensi tumbuhan liar di kawasan bekas likuifaksi Desa Jono Oge Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 19(1): 46-59.
- Saliba, Z., Dimitrakopoulos, R. 2019. Simultaneous stochastic optimization of an open pit gold mining complex with supply and market uncertainty. *Mining Technology*. 128(4): 216-229.
- Samar, Y.S., Mariwy, A., Manuhutu, J.B. 2019. Fitoremediasi merkuri (Hg) menggunakan tanaman kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*). *Science Map Journal*. 1(2): 93 – 98.

- Sari, A.A., Pertiwi, S., Ariyani, M., Ridwan, Y.S., Fryantoni, D. 2022. *Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil*. BRIN. Jakarta. 67 hlm.
- Setiawan, H., Subiandono, E. 2015. Konsentrasi logam berat pada air dan sedimen di perairan pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*. 3(1): 67-79.
- Setyaningsih, L., Mulya, H., Habib, S., 2018. *Biodiversitas Area Konsesi Tambang Emas Pongkor*. Universitas Nusa Bangsa. Bogor.
- Siregar, B.H., Hasan, W., Dharma, S. 2014. Pemanfaatan lengkuas (*Alpinia galanga*) dalam mengawetkan bakso. *Lingkungan dan Keselamatan Kerja*. 3(1): 1-9.
- Soeyoed, S., Suyanto, A. 2016. Remediasi lahan bekas tambang emas dengan gulma *Tithonia diversifolia* dan *Chromolaena odorata*. *Jurnal Agrosains Universitas Panca Bhakti*. 13(2): 14-20.
- Someya, Y., Kobayashi, A., Kubota, K. 2001. Isolation and identification of trans-2-and trans-3-hydroxy-1, 8-cineole glucosides from *Alpinia galanga*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 65(4), 950-953.
- Staples, G.W., Kristiansen, M.S. 1999. *Ethnic culinary herbs: A guide to identification and cultivation in Hawaii*. University of Hawaii Press. Honolulu
- Suhendar, D. 2011. Meninjau bukti ilmiah kekuatan besi menurut cara pandang ilmu kimia dan sains yang berkaitan beserta beberapa konsekuensinya sebagaimana disebut dalam Al Quran Qs. Al Hadiid: 25. *Jurnal Istek*. 5(1): 179-195.
- Suhendi, A., Wikantyasning, E.R., Setyadi, G., Wahyuni, A.S., Da'i, M. 2017. Acetoxy Chavicol Acetate (ACA) concentration and Cytotoxic Activity of *Alpinia galanga* Extract on HeLa, MCF7 and T47D cancer cell lines. *Indonesian Journal of Cancer Chemoprevention*. 8(2): 81-84.
- Sukono, G.A.B., Hikmawan, F.R., Evitasari, E., Satriawan, D. 2020. Mekanisme fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. 2(2): 40-46.
- Sulastri, Y. S., Tampubolon, K. 2019. Aromatic plants: Phytoremediation of cadmium heavy metal and the relationship to essential oil production. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 8(8): 1064-1069.

- Sulistiyarto, B. 2018. Akumulasi logam besi (Fe) pada tumbuhan air di sungai Sebangau, Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika (Journal Of Tropical Animal Science)*. 6(2): 85-89.
- Sumarjono, E. 2020. Kompleksitas permasalahan merkuri dalam pengolahan bijih emas berdasarkan perspektif teknis lingkungan manusia dan masa depan. *Kurvatek*. 5(1): 113-122.
- Sumarjono, E., Nusanto, G., Suyono, S., Sukamto, U. 2019. Merkuri dalam bijih emas di Dusun Sangon II Kalirejo Kokap, Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV Tahun 2019 (ReTII)*. 91-97.
- Sunarsih, E., Faisya, A.F., Windusari, Y., Trisnaini, I., Arista, D., Septiawati, D., Yustini, A., Purba, I.G., Garmini, R. 2018. Analisis paparan kadmium, besi, dan mangan pada air terhadap gangguan kulit pada masyarakat desa Ibul Besar Kecamatan Indralaya Selatan Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 17(2): 68-73.
- Surya, R. Z., Qurthuby, M. 2022. Identifikasi penggunaan merkuri (Rasio Hg: Au) pada proses amalgamasi pada Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Logas, Kuantan Singingi, Riau. *Jurnal Surya Teknika*. 9(2): 435-440.
- Swaine, J. 1990. *Trace Elements in Coal*. Butterworths. London. 218 hlm.
- Swapna, K.S., Shackira, A.M., Abdussalam, A.K., Puthur, J.T. 2014. Accumulation pattern of heavy metals in *Chromolaena odorata* (L.) King & Robins. grown in nutrient solution and soil. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 10(2): 297-314.
- Syam, A.S., Abubakar, H., Nur, I. 2021. Analysis of the effect of work loyalty on employee performance At PT Mitra Sejati Tiran Kabupaten Bombana. *Economic Bosowa Journal*. 7(1): 69-83.
- Syidiq, A.B., Amiruddin, A., Sirih, H.M. 2016. Jenis penyakit yang diderita penambang emas tradisional pada daerah aliran Sungai Watu-Watudi Kecamatan Lantari Jaya Kabupaten Bombana. *Jurnal AMPIBI (Alumni Pendidikan Biologi)*. 1(1): 65-70.
- Tangio, J. S. 2013. Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*. 8(1): 500-506.
- Tanhan, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Chaiyarat, R. 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson]. *Chemosphere*. 68(2): 323-329.

- Telmer, K.H., Veiga, M.M. 2008. *World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining and the knowledge gaps about them*. World Bank. New York.
- Teoh, M.L., Wong, S.W. 2018. Influence of lead on growth and physiological characteristics of a freshwater green alga *Chlorella* Sp. *Malaysia Journal of Science*. 37(2): 82-93.
- Tesari, T., Suhadi, S., Dharmawan, A. 2023. Identifikasi kandungan kadmium (Cd) di dalam tanaman area bekas terbakar di Taman Nasional Baluran. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*. 4(1): 71-85.
- Thamrin, M., Asikin, S., Willis, M. 2014. Tumbuhan Kirinyu *Chromolaena odorata* (L)(Asteraceae: Asterales) sebagai insektisida nabati untuk mengendalikan ulat grayak *Spodoptera litura*. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 32(3): 112-121.
- Theil, E.C. 2004. Iron, ferritin, and nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 24: 327-343.
- Vaughan, D.J., Craig, J.R. 1978. *Mineral Chemistry of Metal Sulfides*. Cambridge University Press. New York.
- Von Endt, D.W., Kearney, P.C., Kaufman, D.D. 1968. Degradation of MSMA by soil microorganisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 16(1): 17-20.
- Wei, X., Zhou, Y., Tsang, D.C.W., Song, L., Zhang, C., Yin, M., Liu, J., Xiao, T., Zhang, G., Wang, J. 2020. Hyperaccumulation and transport mechanism of thallium and arsenic in brake ferns (*Pteris vittata* L.): a case study from mining area. *Journal of Hazardous Materials*. 388. 121756.
- Widodo, W. 2008. Pengaruh perlakuan amalgamasi terhadap tingkat perolehan emas dan kehilangan merkuri. *Riset Geologi dan Pertambangan-Geology and Mining Research*. 18(1): 47-53.
- Widyasari, N.L. 2021. Kajian tanaman hiperakumulator pada teknik remediasi lahan tercemar logam berat. *Jurnal Ecocentrism*. 1(1): 17-24.
- Windusari, Y., Aini, I.N., Setiawan, A., Aetin, E.N. 2019. Deteksi frekuensi distribusi timbal dalam darah pekerja pengisi bahan bakar: studi kasus SPBU di Plaju, Sumatera Selatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 18(1): 62-66.
- Yolla, A.S., Damayanti, F., Gresinta, E. 2022. Keanekaragaman tumbuhan paku terestial di kawasan hutan pinus Gunung Pancar, Bogor. *EduBiologia*. 2(1): 63-71.

- Yoshimura, A., Suemasu, K., Veiga, M.M. 2021. Estimation of mercury losses and gold production by artisanal and small-scale gold mining (ASGM). *Journal of Sustainable Metallurgy*. 7: 1045-1059.
- Yu, X., He, T., Zhao, J., Li, Q. 2014. Invasion genetics of *Chromolaena odorata* (Asteraceae): extremely low diversity across Asia. *Biological invasions*. 16: 2351-2366.
- Zachariades, C., Day, M., Muniappan, R., Reddy, G.V.P. 2009. *Chromolaena odorata* (L.) king and robinson (Asteraceae). *Biological control of tropical weeds using arthropods*. Cambridge University Press, Cambridge. 130-162.
- Zachariades, C., Strathie, L.W., Retief, E., Dube, N. 2011. Progress towards the biological control of *Chromolaena odorata* (L.) RM King & H. Rob.(Asteraceae) in South Africa. *African Entomology*. 19(1): 282-302.
- Zainudin, Z., Kesumaningwati, R. 2022. Pengaruh eco enzyme terhadap kandungan logam berat lahan bekas tambang batubara. *ZIRA'AH*. 47(2): 154-161.
- Zemanová, V., Pavlíková, D., Hnilička, F., Pavlík, M. 2021. Arsenic toxicity induced physiological and metabolic changes in the Dauns of *Pteris cretica* and *Spinacia oleracea*. *Plants*. 10(10): 1-19.
- Zemanová, V., Popov, M., Pavlíková, D., Kotrba, P., Hnilička, F., Česká, J., Pavlík, M. 2020. Effect of arsenic stress on 5-methylcytosine, photosynthetic parameters and nutrient content in arsenic hyperaccumulator *Pteris cretica* (L.) var. *Albo-lineata*. *BMC plant biology*. 20: 1-10.
- Zhang, L., Zhang, L.B. 2018. Phylogeny and systematics of the brake fern genus *Pteris* (Pteridaceae) based on molecular (plastid and nuclear) and morphological evidence. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 118: 265-285.