

Penyerapan Logam Hg pada *Helianthus Annuus* L. dan *Sansevieria Trifasciata* dengan Variasi Penambahan Bahan Organik

Irwan Taslapratama^{1*}, Ghea Dwiflorenti¹, dan Ahmad Darmawi¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia; e-mail: irwantasla@uin-suska.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Singingi Hilir, Riau, memicu akumulasi merkuri (Hg) tanah sebesar 0,788 mg/kg, melebihi ambang batas PP No. 22 Tahun 2021 (0,3 mg/kg). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas fitoremediasi menggunakan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dan lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) dengan bantuan amandemen biochar dan kompos melalui Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam 28 hari, konsentrasi Hg tereduksi signifikan menjadi 0,188–0,267 mg/kg, memenuhi standar baku mutu lingkungan. Kedua spesies terklasifikasi sebagai hiperakumulator sejati (BCF > 1). *Helianthus annuus* L. menunjukkan fitoekstraksi paling agresif dengan BCF tertinggi 11,71 dan akumulasi akar 2,3759 mg/kg pada perlakuan biochar. Sementara itu, *Sansevieria trifasciata* mencapai efisiensi tertinggi (BCF 6,15) dengan bantuan kompos. Keberhasilan serapan logam didorong oleh penurunan pH tanah (6,45–6,91) di area rizosfer yang meningkatkan bioavailabilitas Hg. Sinergi antara tanaman hiperakumulator dan amandemen organik terbukti menjadi solusi berbasis alam (*nature-based solution*) yang sangat potensial untuk pemulihan berkelanjutan lahan pasca tambang yang terkontaminasi logam berat.

Kata kunci: fitoremediasi, *Helianthus annuus* L., *Sansevieria trifasciata*, hiperakumulator, Hg

ABSTRACT

Intensive artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in Singingi Hilir, Riau, has led to mercury (Hg) soil accumulation of 0.788 mg/kg, exceeding the Indonesian Government Regulation (PP No. 22/2021) threshold of 0.3 mg/kg. This study evaluates the effectiveness of phytoremediation using sunflower (*Helianthus annuus* L.) and mother-in-law's tongue (*Sansevieria trifasciata*), integrated with biochar and compost amendments. The research employed a factorial Completely Randomized Design (CRD). Results indicated that within a 28-day planting period, Hg concentrations significantly reduced to a range of 0.188–0.267 mg/kg, successfully meeting environmental safety standards. Both species are classified as true hyperaccumulators (BCF > 1). *Helianthus annuus* L. exhibited the most aggressive phytoextraction with a maximum BCF of 11.71 and root accumulation of 2.3759 mg/kg in biochar-amended soil. Meanwhile, *Sansevieria trifasciata* reached its peak efficiency (BCF 6.15) with compost amendment. The success of metal uptake was driven by a decrease in rhizosphere pH (6.45–6.91), which enhanced Hg bioavailability. The synergy between hyperaccumulator plants and organic amendments proves to be a potent nature-based solution for the sustainable restoration of heavy metal-contaminated post-mining sites.

Keywords: phytoremediation, *Helianthus annuus*, *Sansevieria trifasciata*, hyperaccumulator, mercury

Citation: Taslapratama, I., Dwiflorenti, G., dan Darmawi, A. (2025). Penyerapan Logam Hg pada *Helianthus Annuus* L. dan *Sansevieria Trifasciata* dengan Variasi Penambahan Bahan Organik. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(6), 1574-1582, doi:10.14710/jil.23.6.1574-1582

1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat telah menjadi tantangan lingkungan global karena sifatnya yang persisten, non-biodegradable, dan berdampak sistemik terhadap kesehatan manusia serta keseimbangan ekosistem (Deng et al., 2022). Di antara berbagai polutan anorganik, merkuri (Hg) menempati posisi paling krusial karena toksisitasnya yang tinggi bahkan pada konsentrasi rendah. Di Indonesia, sektor

pertambangan emas skala kecil (PESK) menyumbang sekitar 37% dari total emisi Hg nasional, dengan estimasi pelepasan mencapai lebih dari 10.000 ton per tahun (UNEP, 2011; UNDP, 2017). Proses amalgamasi yang tidak terkontrol melepaskan 1 hingga 3 gram Hg untuk setiap gram emas yang dihasilkan, yang kemudian terakumulasi dalam tanah dan membentuk ikatan kovalen yang stabil dengan

materi organik, sehingga sulit dipulihkan secara alami (Telmer, 2007; Fahrudin, 2012).

Upaya pemulihan lahan terkontaminasi Hg diatur secara ketat dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Berdasarkan kriteria *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), ambang batas Total Konsentrasi (TK) kategori C untuk Hg ditetapkan sebesar 0,3 mg/kg. Mengingat kompleksitas remediasi fisik-kimia yang mahal, fitoremediasi muncul sebagai inovasi teknologi hijau yang ekonomis, estetik, dan ramah lingkungan (Xu et al., 2019; Zhenggang et al., 2023). Teknik ini memanfaatkan kemampuan spesifik tanaman akumulator untuk mengekstraksi, mentranslokasi, atau mendetoksifikasi kontaminan melalui mekanisme rizosfer (Ashraf et al., 2019).

Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dan lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) telah diidentifikasi sebagai kandidat hiperakumulator potensial. *Helianthus annuus* L dikenal memiliki laju pertumbuhan biomassa yang cepat dan kemampuan menyerap logam berat hingga 6,59 mg/kg berat kering (Tagentju et al., 2018), sementara *Sansevieria trifasciata* memiliki daya tahan luar biasa terhadap berbagai polutan industri dan mampu mereduksi logam berat hingga 53,70% (Ratnawati & Risna, 2018). Namun, efisiensi fitoremediasi pada lahan pasca tambang seringkali terhambat oleh kondisi tanah yang marginal, miskin hara, dan memiliki struktur agregat yang buruk. Untuk mengoptimalkan penyerapan Hg, intervensi melalui penambahan bahan organik menjadi sangat krusial. Bahan organik berperan dalam memperbaiki sifat fisik-kimia tanah, menstimulasi aktivitas mikroba rizosfer, dan membentuk senyawa kompleks (*complex compounds*) yang dapat menurunkan level toksisitas logam pada tanaman (Stevenson, 1982; Handayanto & Hairiah, 2007). Meskipun penelitian penggunaan bahan organik secara umum telah banyak dilakukan, terdapat celah penelitian (*research gap*) mengenai perbandingan efektivitas biochar (sebagai pembenah tanah stabil) dan kompos (sebagai penyedia nutrisi cepat) dalam memodulasi kinerja *Helianthus annuus* L dan *Sansevieria trifasciata* khusus pada tanah pasca tambang emas di Singingi Hilir. Adapun penerapan biochar untuk remediasi polutan sangat direkomendasikan untuk dekontaminasi (Murtaza et. al. 2024).

Penelitian terdahulu (Widyasari, et. al 2024) telah berupaya menginventarisasi kemampuan berbagai tanaman dalam menyerap logam berat. Sebagai contoh, studi mengenai *Helianthus annuus* L. dan *Sansevieria trifasciata* menunjukkan potensi serapan pada logam Pb, Cu, Cd, dan Cr, namun seringkali menghasilkan nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) yang rendah atau di bawah ambang batas hiperakumulator (BAF < 1). Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan intrinsik tanaman saja tidak cukup efisien untuk mengatasi kontaminasi berat, terutama pada jenis logam yang sangat toksik seperti merkuri (Hg) di lahan marginal. Merkuri merupakan

kontaminan yang paling tinggi toksiknya dan menyebabkan masalah ekologi dan kesehatan manusia. (Ullah et. al, 2024)

Selain itu, sebagian besar literatur masih terfokus pada fitoekstraksi multi-logam dalam skala laboratorium tanpa mempertimbangkan hambatan fisik-kimia di lahan pasca tambang yang ekstrem. Terdapat celah penelitian yang signifikan mengenai bagaimana mengoptimalkan kapasitas serapan Hg pada *Helianthus annuus* L. dan *Sansevieria trifasciata* melalui modifikasi media tanam. Penggunaan amandemen organik seperti biochar dan kompos diyakini dapat menjadi kunci untuk meningkatkan nilai akumulasi tersebut melalui perbaikan struktur tanah dan penyediaan nutrisi bagi tanaman di lahan marginal. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan sinergis antara pemilihan tanaman hiperakumulator dan aplikasi amandemen organik (biochar vs kompos) untuk memicu efisiensi serapan Hg hingga mencapai nilai Bioconcentration Factor (BCF) > 1. Berbeda dengan penelitian sebelumnya (Widyasari, et al 2024; Haider et al. 2024) yang hanya mengamati kemampuan alami tanaman, riset ini menawarkan strategi restorasi terintegrasi yang disesuaikan dengan standar baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi perlakuan terbaik yang mampu mengubah status tanaman dari akumulator biasa menjadi hiperakumulator yang efektif untuk pemulihan lahan pasca tambang emas di Kecamatan Singingi Hilir. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pendekatan sinergis antara jenis tanaman hiperakumulator dan aplikasi dua jenis amandemen organik (biochar vs kompos) untuk mempercepat pemulihan lahan marginal terkontaminasi Hg.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian, Alat dan Bahan

Lokasi tambang emas ilegal di Desa Sungai Paku Kecamatan Singingi Hilir Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau merupakan tempat sampel tanah diambil.

Alat-alat yang digunakan termasuk ayakan, cangkul, poly bag 25x25, kertas label, alat ukur, alat tulis, timbangan digital, Serapan Spektrofotometer Atom (AAS), alat pengukur pH, pengukur permeabilitas, alat pemanggang, plat panas, *glassware*, autoklaf, pipet ukur, dan kamera. Bahan-bahan yang digunakan tanah yang terkontaminasi, bibit tanaman, dan bahan organik.

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pot eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial. Faktor pertamanya yaitu jenis fitoremediasi dan faktor kedua adalah bahan organik. Faktor pertama terdiri dari tiga perlakuan diantaranya yaitu tanpa fitoremediasi (F0), fitoremediasi menggunakan bunga matahari (*Helianthus annuus*) (F1) dan fitoremediasi menggunakan bunga lidah mertua

(*Sansevieria trifasciata*) (F2). Faktor yang kedua terdiri dari tiga perlakuan yaitu tanpa penambahan bahan organik (B0), penambahan kompos (B1) dan penambahan biochar (B2).

Bibit bunga matahari dan lidah mertua yang digunakan telah dipilih dengan bentuk dan ukuran yang seragam lalu dibersihkan dari kotoran yang menempel untuk selanjutnya diaklimatisasi sebelum penelitian. Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan menumbuhkan tanaman dalam *polybag* yang berisikan tanah tidak tercemar dengan penambahan pupuk NPK (16-16-16) sebanyak 5 gram pada setiap *polybag* selama 2 minggu.

Tanaman berumur 2 minggu setelah di aklimatisasi, tanaman akan dilakukan penyortiran. Pada tahap aklimatisasi diamati berupa keberhasilan tumbuh tanaman. Karakteristik tanaman yang digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah tumbuh subur dan tidak mengalami kematian. Pada kegiatan seleksi akan dilihat tanaman yang seragam tingginya maupun jumlah daunnya.

Persiapan media tanam dilakukan dua minggu sebelum tanam. Media penanaman yang digunakan adalah *polybag* dengan ukuran 25 cm × 25 cm yang berisi tanah tercemar limbah pertambangan emas dan perlakuan komposisi dengan bahan organik dengan berat total sebesar 4 kg/*polybag*. Pada perlakuan B0 tanah tanpa dicampur bahan organik sehingga menggunakan tanah pasca tambang emas sebanyak 4 kg, B1 tanah dicampur dengan kompos dengan rasio 1:1, perlakuan B2 yaitu tanah dicampur biochar dengan rasio 1:1 (Lestari dan Ahmad, 2020).

Penanaman bunga matahari dan bunga lidah mertua yang telah berumur dua minggu dipindahkan ke *polybag* berukuran 25x25 cm yang telah berisi media tanam sesuai dengan pelakuannya masing masing. Unit percobaan dengan tanaman bunga matahari sejumlah sembilan *polybag* dan tanaman bunga lidah mertua sebanyak sembilan *polybag* juga sehingga seluruh jumlah unit percobaannya yaitu 18 *polybag*. Setiap *polybag* terdiri dari satu tanaman. Perawatan akan dilakukan setiap hari meliputi penyiraman setiap pagi dan sore, pengecekan hama dan penyakit serta pencabutan gulma. Setelah 28 hari

setelah pindah tanam, tanaman dipanen dan dilakukan analisis kadar Hg dalam akar serta tanah dalam *polybag*.

Analisis tanah bertujuan untuk menilai tingkat keasaman pH dan kandungan logam Hg. Analisis sampel tanah dilakukan sebanyak 2 kali (sebelum dan sesudah fitoremediasi).

Analisis pH tanah dilakukan dengan cara menimbang tanah sebanyak 1gr dan diencerkan dengan aquades sebanyak 50ml, lalu pH diukur menggunakan pH meter. Untuk menganalisis merkuri, sampel dipreparasi dalam bentuk cair agar mempermudah pada saat pembacaan konsentrasinya oleh alat AAS. Tanah yang diperlukan untuk analisis ini yaitu sebanyak 1 gr dan ditambahkan larutan HNO₃. kemudian dipanaskan diatas hot plate ±3 jam. Sampel disaring dan diencerkan dengan aquades sebanyak 50ml lalu dianalisis menggunakan alat AAS (Musthafidah, 2016).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Lokasi Lahan Pasca Tambang

Lokasi pengambilan sampel tanah adalah di Desa Sungai Paku Kecamatan Singingi Hilir Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau dan selanjutnya dilakukan proses fitoremediasi (Gambar 1). Lokasi pertambangan emas tanpa izin ini secara geografis terletak pada 0°12'33.8" Lintang Selatan 101°18'31.9" Bujur timur. Lokasinya tepat berada di belakang areal perkebunan kelapa sawit warga dan dekat dengan aliran Sungai Singingi (Gambar 1).

Daerah ini memiliki jumlah lahan yang cukup besar setelah penambangan emas di Provinsi Riau. Wilayah ini memiliki tiga jenis tailing: pasir aluvial, pasir vegetasi, dan pasir aluvial.

Menurut Mailendra dan Buchori (2019) Tailing pasir atau aluvial bervegetasi adalah lahan dengan permukaan pasir pasca tambang yang masih berusia dibawah lima tahun dan masih terjadi kegiatan penambangan. Tailing pasir atau aluvial biasanya merupakan lahan pasca tambang yang sudah tidak digunakan lagi dan sudah berumur lebih dari lima tahun, sehingga ada tumbuhan yang tumbuh di sana.

Tabel 1. Analisis Tanah Sebelum Fitoremediasi

Parameter Uji	Satuan	Hasil Analisis
pH	-	7,3
Merkuri (Hg)	mg/kg	0,788

Tabel 2. Analisis Tanah Sesudah Fitoremediasi

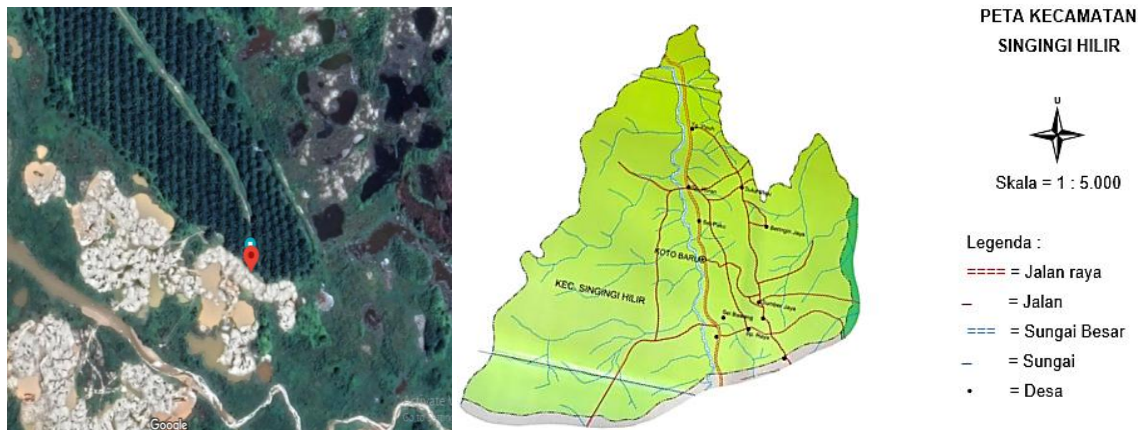
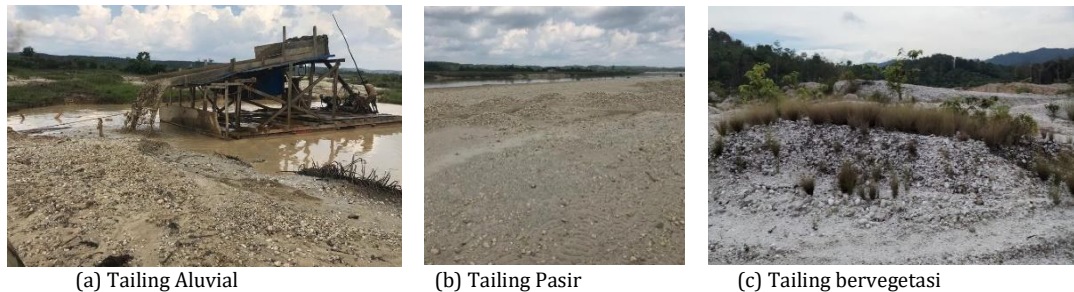
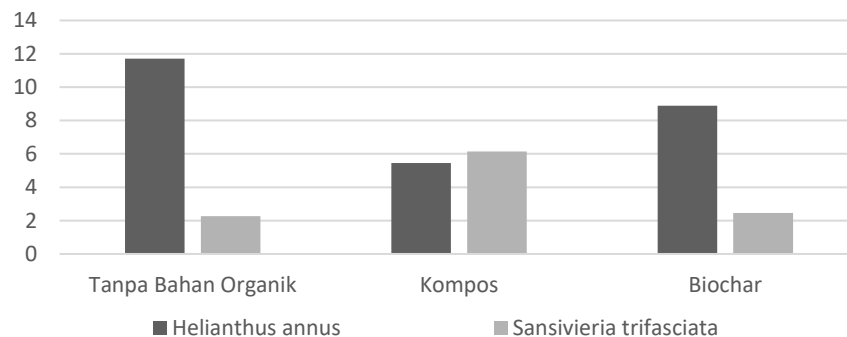
Kode Sampel	pH	Hg (mg/kg)
F0B0	8,23 ^a	0,207 ^c
F0B1	7,87 ^b	0,223 ^b
F0B2	7,83 ^c	0,235 ^b
F1B0	7,66 ^d	0,189 ^c
F1B1	7,07 ^e	0,211 ^c
F1B2	6,91 ^f	0,267 ^a
F2B0	6,86 ^g	0,235 ^b
F2B1	6,73 ^h	0,212 ^c
F2B2	6,45 ⁱ	0,188 ^c

Tabel 3. Analisis Hg pada Akar Tanaman

Kode Sampel	Hg pada Akar (mg/kg)
F1B0	2,22 ^b
F1B1	1,15 ^d
F1B2	2,38 ^a
F2B0	0,53 ^e
F2B1	1,30 ^c
F2B2	0,43 ^f

Tabel 4. Akumulasi Hg pada Akar dan Nilai Bioconcentration Factor (BCF) Setelah 28 Hari Masa Tanam

Kode Perlakuan	Jenis Tanaman	Amandemen Organik	Hg dalam Akar (mg/kg)	Nilai BCF	Kategori Akumulator*
F1B0	<i>Helianthus annuus</i> L.	Kontrol (Tanpa)	2,22	11,71	Hiperakumulator
F1B1	<i>Helianthus annuus</i> L.	Kompos	1,15	5,46	Hiperakumulator
F1B2	<i>Helianthus annuus</i> L.	Biochar	2,38	8,89	Hiperakumulator
F2B0	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Kontrol (Tanpa)	0,53	2,27	Hiperakumulator
F2B1	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Kompos	1,30	6,15	Hiperakumulator
F2B2	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Biochar	0,46	2,45	Hiperakumulator

**Gambar 1.** Lokasi Pengambilan Tanah**Gambar 2.** Visual Lokasi Penelitian**Gambar 3.** Nilai BCF Tanaman Fitoremediator

3.2. Analisis Tanah

Hasil analisis pH dan logam Hg pada tanah p dapat dilihat pada Tabel 1. Kadar pH pada tanah pasca

tambang emas ini menunjukkan nilai 7,30 yang termasuk kedalam kondisi netral. Menurut Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2005)

bahwa pH rentang 6,6-7,5 termasuk kedalam pH netral. Karakteristik kimia pada sampel tanah sebelum fitoremediasi lainnya yaitu kadar logam Hg. Angka hasil analisis tanah ini yaitu sebesar 0,788 mg/kg. Menurut PP 22/2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah (buangan produk) dengan kontaminasi Hg < 10 ppm dan > 0,3 ppm dikategorikan sebagai buangan produk kategori 2.

Hasil pengamatan menunjukkan pergeseran nilai pH tanah yang signifikan antar perlakuan (Tabel 1). Perlakuan Kontrol (F0) cenderung mempertahankan kondisi alkalis (pH 7,83 – 8,87), sedangkan perlakuan dengan tanaman, khususnya *Sansevieria trifasciata* dengan Biochar (F2B2), menunjukkan penurunan pH hingga mencapai 6,45 (agak asam).

Penurunan pH pada perlakuan tanaman ini merupakan indikator aktivitas biologis yang intens di zona rizosfer. Tanaman merespons keberadaan logam berat dengan menyekresikan asam organik (seperti asam malat dan sitrat) melalui akar untuk menurunkan pH tanah di sekitarnya. Menurut Zulfiqar et al. (2022), penurunan pH ini bertujuan untuk meningkatkan kelarutan logam berat yang terikat pada mineral tanah, sehingga lebih mudah diserap oleh protein transporter pada membran akar.

Hasil analisis pH tanah pasca pertambangan emas di daerah Singingi Hilir ini menunjukkan kondisi netral. Menurut Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2005) bahwa pH rentang 6,6-7,5 termasuk kedalam pH netral. Sesuai dengan penelitian Mirdat et al (2013) bahwa hasil analisis pH tanah pasca tambang emas tergolong netral hingga agak alkalis yakni pH H₂O 6,8-7,8. Menurut Karamina et al. (2017) tinggi rendahnya nilai pH tanah menunjukkan keberadaan unsur beracun bagi tanaman serta secara umum kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara lebih mudah pada derajat keasaman (pH) netral dan cepat larut. Menurut Haryanti et al. (2013) kondisi di atas sudah memenuhi syarat dalam pertumbuhan. Meskipun demikian kekurangan nutrisi, konsentrasi logam fitotoksik, dan kandungan garam yang tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Hasil analisis tanah lainnya yaitu kandungan logam Hg. Logam Hg pada tanah pasca tambang emas ini memiliki nilai sebesar 0,788 ppm. Menurut PP 22/2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Limbah (buangan produk) dengan kontaminasi Hg ini termasuk kategori 2 dengan efek secara tidak langsung yang ada interkasinya antara manusia dan lingkungan hidup, dengan level toksisitas subkronis hingga kronis. Tingginya konsentrasi Hg dalam tanah disebabkan masih adanya kegiatan pertambangan emas di daerah tersebut. Wawo et al. (2017) menyebutkan bahwa hasil analisis gravimetri saat pertambangan emas dilakukan terdapat sekitar 70-80% Hg yang hilang ke dalam sedimen sungai, tailing, dan tanah sehingga meningkatnya kandungan logam berat yang

menyebabkan menurunnya kualitas tanah dan tanaman akan keracunan.

Hasil statistik ANOVA menunjukkan bahwa rata rata pH dan kadar Hg tanah memiliki nilai yang berbeda nyata dan selanjutnya dijelaskan dengan adanya uji duncan. Tabel 2 menyajikan bahwa tanah sesudah fitoremediasi ini memiliki hasil yang berbeda signifikan setiap perlakuannya. Selain itu kadar Hg pada tanah setelah fitoremediasi berpengaruh sangat signifikan pada perlakuan F0B0, F1B0, F1B1, F2B1 dan F2B2.

Kadar pH tanah merupakan salah satu sifat kimia yang penting untuk diketahui karena dapat menentukan kemampuan tanaman dalam menyerap bahan-bahan yang diperlukan serta menggambarkan kandungan logam berat yang ada (Henggar, 2009). Perlakuan tanpa penanaman tanaman fitoremediasi mengalami peningkatan nilai pH (Tabel 1). Peningkatan ini menurut Sanchzet (1992) terjadi karena adanya pembentukan senyawa khelat tercipta karena terbentuknya asam humat dan asam fulvat tercipta dari dekomposisi bahan organik yang diberikan. Hal ini diduga disebabkan oleh pelepasan hidroksida (OH⁻) yang berasal dari -COOH dan fenol dalam bahan organik tersebut. Razali (2002) menyatakan bahwa kompos bisa menjadi sebagai pH buffer dan Zhang et al., (2013) menyatakan bahwa biochar memiliki pH tinggi atau basa sehingga keduanya menyatakan bahwa kedua bahan ini memiliki efek pengurangan bioavailabilitas, polutan organik dan pelindian logam berat dalam tanah melalui penyerapan dan reaksi fisikokimia dengan hasil akhirnya yaitu peningkatan pH tanah dan stabilisasi ketersediaan logam berat.

Penurunan nilai pH tanah terjadi pada sampel yang ditanami bunga matahari dengan penambahan bahan organik dan bunga lidah mertua disemua perlakuan. Hal ini terjadi disebabkan dengan adanya tanaman fitoremediator yang tumbuh di tanah tercemar ini mampu mereduksi polutan pada tanah menjadi asam organik. Menurut Purwadinata dan Sutrisno (2013) menyatakan penurunan pH tanah terjadi karena tingginya mobilitas Hg dalam tanah yang disebabkan dari aktivitas reduksi tanah akibat penggenangan dan penambahan bahan organik sehingga konsentrasi asam organik meningkat pula. Hidayati (2013) menyatakan bahwa peningkatan mobilitas Hg ini juga disebabkan oleh adanya proses rizosferik pada bagian akar sehingga mengakibatkan perombakan unsur-unsur yang mudah diserap oleh akar dengan menyertakan eksudat yang dihasilkan oleh akar.

Hasil analisis kandungan Hg tanah (Tabel 2) mengalami penurunan yang sangat signifikan dari sebelum fitoremediasi dan sesudah fitoremediasi memiliki kandungan Hg lebih kecil dari 0,3 mg/kg. Sesuai dengan batas normal yang disebutkan dalam PP 22/2021 yaitu standar mutu karakteristik kadar racun menggunakan TCLP dan total konsentrasi untuk penetapan pengelolaan tanah dengan kontaminan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

(B3) dengan jumlah konsentrasi A (TK-A) 300 miligram/kilogram, TK-B dengan nilai 75 miligram/kilogram, serta TK-C dengan nilai 0,3 miligram/kilogram. Nilai penurunan Hg tertinggi yaitu terjadi pada perlakuan F2B2 dengan nilai 0,188 mg/kg dan terendah pada perlakuan F1B2 dengan nilai 0,267 mg/kilogram. Purwanto (2006) mengatakan kandungan *Sansevieria* dapat mengakibatkan reduksi bahan cemar berubah menjadi glukosa, beberapa jenis senyawa protein dan asam organik. Eksudat ini berupa makanan mikroorganisme yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya (Ratnawati dan Risna, 2018) sehingga penurunan ini juga dibantu oleh peran mikroorganisme terkandung didalam tanah.

Penurunan kadar Hg dalam tanah bukan hanya terjadi pada tanah yang ditanami tanaman fitoremediasi saja melainkan juga pada tanah yang tanpa penanaman juga mengalami penurunan kadar Hg. Namun dengan adanya penanaman tanaman fitoremediasi di atasnya akan membuat logam Hg tidak tersedia lagi di dalam tanah sehingga fungsi fitoremediasi dapat tercapai. Hal ini dijelaskan oleh Arienzo et al (2003) bahwa dengan semakin bertumbuhnya tanaman, maka dapat dilakukan penyerapan logam-logam yang terkontaminasi sehingga bahaya lingkungan tidak terjadi. Hg yang terkandung dalam tanah yang diberi perlakuan bahan organik mengalami penurunan yang cukup signifikan. Penurunan kadar Hg tanah ini bisa jadi karena terjadinya reaksi pengomplekan senyawa di dalam tanah. Sebagai contoh penelitian tentang inkubasi yang menemukan bahwa asam humat dan asam fulvat di dalam kompos memberikan efek pelengketan terhadap fraksi-fraksi logam berat sehingga level ketersediaannya menurun (Sarifuddin et al., 2017). Substansi yang terkandung dalam kompos mampu mengadsorpsi Hg yang kompleks melalui pertukaran kation dan pembentukan khelat yang membentuk ikatan elektrostatik (Hermana dan Nurhayati, 2010). Namun Setyorini (2005) menyatakan jenis bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan pupuk organik sebagai penentu kualitas dan tingkat pencemaran logam berat. Menurut (Hayati, 2010) bahan organik dari sisa tanaman sedikit mengandung bahan berbahaya karena limbah industri dan limbah kota banyak mengandung bahan berbahaya seperti logam berat yang dapat menyumbang pada media tanam. Sehingga secara tidak sadar kadar logam Hg pada media tanam juga bisa meningkat.

3.3. Akumulasi Hg pada Akar Tanaman

Tabel 3 menunjukkan hasil dari aplikasi jenis bahan organik terhadap jenis tanaman fitoremediasi yang memberikan efek berbeda dalam jumlah kandungan Hg yang diserap oleh akar tanaman. Penanaman bunga matahari dengan penambahan biochar merupakan hasil tertinggi dalam jumlah akumulasi Hg pada akar tanaman yaitu sebesar 2,38 mg/kg. Ini menunjukkan tingginya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam Hg kedalam

akar. Sementara konsentrasi Hg di dalam akar terendah yaitu dengan perlakuan F2B2 yaitu penggunaan bunga lidah mertua dengan perlakuan biochar sebanyak 0,43 mg/kilogram.

Tabel 3 menunjukkan tingkat penyerapan logam Hg oleh akar tanaman. Hal ini karena sebagian besar logam berat menumpuk di tanah, dan diserap oleh tanaman terutama melalui sistem akar. Semakin tinggi tingkat kelarutan logam dalam air maka semakin besar tingkat penyerapan logam oleh tanaman (Shahid et al., 2017). Haryati et al. (2012) menyatakan area yang tinggi logam beratnya mengakibatkan tanaman akan membuat protein regulator sebagai pembentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Hiperakumulator adalah tanaman dengan kemampuan serap unsur hara dengan konsentrasi yang tinggi dan daya tahan pada lingkungan yang berunsur hara rendah. Menurut Brooks et al (1998) ion logam dapat diakumulasi sebanyak 100 kali lipat oleh tanaman ini dibanding dengan tanaman hiperakumulator yang lain.

Kehadiran logam berat di dalam tanaman dipengaruhi oleh jenis tanah dan tanaman, sifat kimia logam dalam tanah, ukuran partikel tanah, ktk tanah, pH tanah, kandungan bahan organik, dan aktivitas mikroba (Shahid et al., 2017). Disamping itu, faktor fisiologi tanaman berupa pengambilan unsur dalam tanah mempengaruhi serapan Hg. Contohnya, volume akar tanaman pada lidah mertua yang terdapat rimpang dan sedikit percabangan yang berefek pada penyebaran akar yang kurang luas dalam tanah (Haryanti et al., 2013). Implikasinya adalah kandungan logam berat menjadi rendah. Semakin pendek dan sedikit jumlah akar di dalam tanah maka potensi penyerapan Hg dalam tanah menjadi kecil sebanding dengan konsentrasi Hg yang diserap oleh tanaman.

Bahan organik berupa biochar dan kompos juga menjadi salah satu faktor dalam penyerapan Hg. Bahan tersebut memiliki fungsi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, sehingga akumulasi logam berat semakin meningkat. Arienzo et al. (2003) menyatakan adanya pertumbuhan tanaman mengakibatkan tanah yang terkontaminasi logam-logam dapat diserap dengan baik dan tidak berbahaya untuk lingkungan. Akan tetapi dari hasil penelitian tanpa pemberian bahan organik pun dapat mengakumulasi logam, meskipun demikian ada keterbatasan penyangga dalam menahan transfer ion logam berat antara perakaran tanaman akumulator dengan larutan tanah (Hayati, 2010). Pencampuran antara material organik bervolume besar dengan tanah pasca tambang dengan kandungan Hg meningkatkan area persebaran logam dan akar menjadi sulit menyerap logam Hg.

Terdapat korelasi negatif yang unik antara pH tanah dan konsentrasi Hg dalam akar pada beberapa perlakuan. Sebagai contoh, pada perlakuan F2B2, nilai pH terendah (6,45) menghasilkan kadar Hg tanah sisa yang juga rendah (0,1883 mg/kg). Hal ini mengindikasikan bahwa pada pH yang lebih rendah,

Hg menjadi lebih *mobile* dan tersedia secara biologis (*bioavailable*), sehingga tanaman *S. trifasciata* dapat menyerapnya lebih efektif. Namun, pada perlakuan F1B2, meskipun kadar Hg tanah masih cukup tinggi (0,2672 mg/kg), serapan di akar mencapai angka tertinggi (2,3759 mg/kg). Fenomena ini menunjukkan peran Biochar sebagai agen penyangga. Biochar tidak hanya menyediakan tempat jerapan bagi Hg, tetapi juga memperbaiki struktur tanah yang memungkinkan perakaran *H. annuus* berkembang lebih luas (eksplorasi rizosfer), sehingga total logam yang berhasil diekstraksi dari tanah ke dalam jaringan akar menjadi jauh lebih besar dibandingkan perlakuan tanpa biochar (Pratiwi et al., 2024).

3.4. Biological Concentration Factor (BCF)

Nilai BCF pada tanaman fitoremediator dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai BCF tertinggi didapatkan pada tanaman bunga matahari yang diberi biochar, sedangkan nilai BCF terendah ditemukan pada bunga lidah mertua yang diberi biochar. Berdasarkan hasil perhitungan BCF pada Tabel 3. diperoleh rentang nilai mulai 2,27 – 11,71. Standar nilai BCF pada tanah setelah fitoremediasi diharapkan memiliki nilai >1.

Nilai BCF adalah rasio kandungan logam yang terdapat pada *root* (akar tanaman) dengan tanah. Rasio tingkatan nilai BCF antar tanaman dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil yang diperoleh yaitu perlakuan tanaman bunga matahari dengan penambahan biochar memiliki nilai BCF tertinggi. Sementara itu, tanaman lidah mertua dengan penambahan biochar memiliki nilai terendah. Nilai BCF tanah yang ideal setelah fitoremediasi adalah lebih dari 1. Nilai 1-10 merupakan kategori tanaman akumulator tinggi. Nilai 0,1 – 1 termasuk dalam kategori tanaman akumulator sedang, sedangkan nilai 0,01 – 0,1 dikategorikan sebagai tanaman non-akumulator (Tuheteru, 2017). Masing-masing tanaman yang diteliti diperoleh hasil nilai BCF lebih dari 1 sehingga masuk dalam golongan hiperakumulator atau akumulator tinggi. Faktor-faktor terjadinya akumulasi oleh tanaman dipengaruhi oleh berbagai hal antara lain penyerapan logam berat (Hg) oleh tanaman dan lingkungan. Tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman logam berat biasanya wujud dari proses tahapan *gene expression* yang mengatur akumulasi, toleransi dan penyerapan logam berat. Adanya mekanisme hipertoleransi untuk menghindari keracunan logam dengan menghasilkan *phytochelatins* (protein stress) dan tergolong dalam kategori hiperakumulator (Hidayati, 2013).

Analisis jaringan akar menunjukkan konsentrasi Hg yang sangat tinggi, dengan nilai tertinggi dicapai oleh *Helianthus annuus* pada perlakuan biochar (F1B2) sebesar 2,3759 mg/kg. Hal ini menghasilkan nilai Bioconcentration Factor (BCF) yang luar biasa, yakni mencapai 11,7101 pada perlakuan F1B0 (Tabel 4.).

Berdasarkan literatur, suatu tanaman dikategorikan sebagai hiperakumulator jika memiliki nilai BCF > 1. Dalam penelitian ini, seluruh unit

percobaan tanaman (F1 dan F2) memiliki nilai BCF berkisar antara 2,26 hingga 11,71. Tingginya nilai BCF pada *H. annuus* (F1) dibandingkan *S. trifasciata* (F2) membuktikan bahwa bunga matahari memiliki mekanisme fitoekstraksi yang lebih agresif. Sesuai dengan teori Deng et al. (2022), tanaman dengan laju biomassa cepat seperti bunga matahari mampu menyimpan logam dalam jumlah besar di dalam vakuola akar sebagai bentuk mekanisme pertahanan diri agar logam toksik tidak mengganggu proses fotosintesis di bagian tajuk.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa lahan pasca tambang emas di Kecamatan Singingi Hilir telah terdegradasi berat dengan konsentrasi merkuri (Hg) yang melampaui ambang batas keamanan lingkungan menurut PP No. 22 Tahun 2021. Pemanfaatan tanaman *Helianthus annuus* L. dan *Sansevieria trifasciata* terbukti sangat efektif sebagai agen fitoremediasi, yang ditunjukkan dengan nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) > 1, sehingga keduanya diklasifikasikan sebagai tanaman hiperakumulator merkuri. Sinergi antara penggunaan tanaman hiperakumulator dengan amandemen organik secara signifikan mempercepat pemulihan kualitas tanah. Kombinasi antara *H. annuus* dan biochar menunjukkan efisiensi akumulasi tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, menjadikannya strategi paling potensial untuk immobilisasi sekaligus ekstraksi kontaminan pada lahan marginal. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian pada skala lapangan yang lebih luas (*in-situ*), lokasi yang bervariasi serta menganalisis efektivitas metode ini terhadap jenis logam berat lainnya yang sering ditemukan pada limbah pertambangan guna mendapatkan protokol remediasi yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Arienzo, M., P. Adamo, V. Cozzolino. 2004. The potential of *Lolium perenne* for revegetation of contaminated soil from a metallurgical site. *Science of the Total Environment*, 319: 13-25.
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z.A., Sobia, A., Asghar, H.N. 2019. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*
- Brooks, R.R., Chambers, M.F., Nicks, J.L., Robinson, B.H. 1998. Phytomining. *Trends in Plant Science*. 3: 359 – 362.
- Deng H., Tu Y., Wang H., Wang Z., Li Y., Chai L., Zhang W., Lin Z. 2022. Environmental behavior, human health effect, and pollution control of heavy metal(loid)s toward full life cycle processes. *Eco-Environment & Health*, 1 (4), 229, 2022.
- Erusani, A.S., Arofah, N., Azahra, F., Nurhasni., Inayah, T. 2024. Phytoremediation of Mercury and Cyanide Contaminated Soils by Physic Nut (*Jatropha curcas* L.) and Citronella Grass (*Cymbopogon nardus*). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22:1581-1593
- Fahrudin. 2012. *Bioteknologi Lingkungan*. Makasar. Penerbit Alfabeta. 196 Hal.

- Haider, F. U., Wang, X., Zulfikar, U., Farooq, M., Hussain, S., Mehmood, T., Naveed, M., Li, Y., Liqun, C., Saeed, Q., Ahmad, I., & Mustafa, A. (2022). Biochar application for remediation of organic toxic pollutants in contaminated agricultural soil; A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 248, 114322. doi.org (p. 1)
- Handayanto, E dan Hairiah. 2007. *Biologi Tanah, Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Pustaka Adipura. Jakarta. 194 Hal.
- Haryanti, D., Budianta, D., Salni 2013. Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah. *J. Penelitian Sains*. 16: 52-58.
- Haryati, M., Purnomo, T., Kuntjoro, S., 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limncharis flava* (L.)Buch) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *LenteraBio*. 1: 131-138.
- Henggar, H. 2009. Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *Berita Selulosa*, 44: 27-40.
- Hidayati, N. 2013. Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 14: 76-82.
- Huang Y., Wang L., Wang W., Li T., He Z., Yang X. 2019. Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 651, 3034, 2019
- Huang, R., Dong, M., Mao, P., Zhuang, P., Paz-Ferreiro, J., Li, Y., Li, Y., Hu, X., Netherway, P., Li, Z., 2020. Evaluation of phytoremediation potential of five Cd (hyper)accumulators in two Cd contaminated soils. *Sci. Total Environ*. 721, 137581.
- Jadia C.D dan Fulekar MH. 2008. Phytoremediation: The Application of Vermicompost To Remove Zinc, Cadmium, Copper, Nickel And Lead By Sunflower Plant. *Environmental Engineering and Management Journal Vol.7*. Technical University of Lasi, Romania.
- Karamina, H., Fikrinda, W., Murti, A.T 2017. Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai pH tanah di perkebunan jambu biji varietas kristal (Psidium guajava l.) Bumiaji, Kota Batu. *J. Kultivasi*. 16: 430-434.
- Lestari, N. D. dan Ahmad N. A.. 2020. Pengaruh Kompos Dan Biochar Terhadap Fitoremediasi Tanah Tercemar Kadmium Dari Lumpur Lapindo Menggunakan Kangkung Darat. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 7 (1) : 167-176.
- Mailendra dan I. Buchori. 2019. Kerusakan Lahan Akibat Kegiatan Penambangan Emas Tanpa Izin Disekitar Sungai Singingi Kabupaten Kuantan Singingi. *J. Pembangunan Wilayah dan Kota*. 15, 174-188.
- Mirdat, Y., Yosep, S., Pata'dungan, Isrun, B. 2013. Status Logam Berat Hg (Hg) Dalam Tanah Pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *E-J. Agrotekbis*. 1 , 127-134.
- Minguzzi C and Vergano O. II. 1948. Contenuto di nichel nelle ceneri di Allysum bertolonii. Desv. *Memorie Societa Toscana Di Scienze Naturali Serie A* 1948; 55: 49-77
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Valipour, M. et al. 2024. Recent trends and economic significance of modified/functionalized biochars for remediation of environmental pollutants. *Sci Rep* 14, 217. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50623-1>
- Musthafidah, Z. 2016. Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Logam Tembaga (Cu) menggunakan Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.). Skripsi. Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Suska Riau. Pekanbaru.
- Purwadinata, H. dan Sutrisno N. 2013. Rehabilitasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Industri (Hg dan Pb) dalam Mendukung Pembangunan Pertanian Ramah Lingkungan dalam *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains dan Teknologi*. 4, 72-81.
- Purwanto, A.W. 2006. *Sansevieria Flora Cantik Penyerap Racun*. Kanisius. Yogyakarta. 68 hal.
- Ratnawati, R. dan R. D. Fatmasari. 2018. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan Jengger Ayam (*Celosia plumosa*). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3, 62-69.
- Razali. 2002. Pengomposan dan Pengaruh Pemberian Kompos, Pupuk Biologi Serta Amandemen Terhadap Pertumbuhan, Ketersediaan Serta Serapan Hara Pada Tanaman Kedelai Pada Tanah Ultisol Langkat. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana USU. Medan
- Sanchzet P.A. 1992. *Properties and Management of Soil in Topict*. New York: J Wiley.
- Sarifuddinn E., Y. S. Pata'dungan, dan Isrun. 2017. Pengaruh Asam Humat dan Fulvat Ekstrak Kompos *Thitonia diversifolia* terhadap Hgkhelat, Ph dan C-Organik Entisol Tercemar Hg. *E-J. Agrotekbis*. 5, 284 – 290.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., Niazi, N.K. 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, 325, 36-58.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley & Sons, INC. New York.
- Tagentju, I.A., Paserang, A., Harso, W. 2018. Akumulasi Nikel pada Akar dan Tajuk Tumbuhan Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.), Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) dan Sawi Hijau (*Brassica rapa* L.) pada Tanah Terkontaminasi Nikel. *Journal of Science and Technology*, 7: 298-303.
- Telmer, K. 2007. Mercury and Small Scale Gold Mining – Magnitude and Challenges Worldwide. *GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project*.
- Tuheteru, F.D., Arif, A., Rajab, M.F., 2017. Potensi Fitoremediasi Nikel (Ni) pada Jenis Adaptif di Lahan Revegetasi PT. Vale Indonesia Tbk. Site Pomalaa Kabupaten Koloka. *Jurnal Wasian*, 4: 89-96.
- Ullah, S., Hussain, S., Noor, Y., Khanam, T., Xia, X., Darma, A. I., Feng, Y., & Yang, J. (2024). Influencing Factors and Prediction Models of Mercury Phytoavailability and Transference in a Soil-Lettuce System under Chinese Agricultural Soils. *Agronomy*, 14(7), 1394. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071394>
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2011. Annual Reports. 116 hlm.
- United States Environment Protection Agency (USEPA). Mercu-ry Emmision: The Global Context; 2017 [Diakses pada 15 Des 2024]. Diakses dari <https://www.epa.gov/international-cooperation/mercury-emissions-global-context#worldwide>
- Wawo, R. H., Widodo, S., Jafar, N., Yusuf, F.N. 2017. Analisis Pengaruh Penambangan Emas Terhadap Kondisi Tanah Pada Pertambangan Rakyat Poboya Palu,

- Taslapratama, I., Dwiflorenti, G., dan Darmawi, A. (2025). Penyerapan Logam Hg pada *Helianthus Annuus* L. dan *Sansevieria Trifasciata* dengan Variasi Penambahan Bahan Organik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(6), 1547-1582, doi:10.14710/jil.23.6.1547-1582
- Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine*, 5: 116-119.
- Widyasari, N.L., Rai, I.N., Sila Dharma, I.G.B. and Sudiana, M.S. 2024. Study of controlling the content of Pb, Cu, Cd, and Cr in soils using hyperaccumulator plants. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 11(2):5159-5167, doi:10.15243/jdmlm.2024.112.5159.
- Xu Z., Dong M., Peng X., Ku W., Zhao Y., Yang G. 2019. New insight into the molecular basis of cadmium stress responses of wild paper mulberry plant by transcriptome analysis. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 171, 301, 2019.
- Yunisa, T. R., Susanto, N. S., Estiasih, T., & Panca, N. I. (2017). Potensi Daun Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) sebagai Biosorben Logam Timbal. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 5(4), 66–70.
- Zhang, X., Wang, Q., Zhang, S., Sun, X., Zhang, Z. 2009. Stabilization/Solidification (S/S) Of Mercury-Contaminated Hazardous Wastes Using Thiol-Functionalized Zeolite And Portland Cement. *Journal of Hazardous Materials*.168: 1575-1580
- Zhenggang X., Qi J., Mengxin W., Yunlin Z., Tianyu W., Wenhan Z., Ziyi H., Guiyan Y. 2023. Preparation of environmental remediation material based on manganese-slag and sewage sludge as a strategy for remediation of cadmium pollution. *Journal of Environmental Management*, 347, 119096, 2023.
- Zulfiqar, U., Ayub, A., Hussain, S. et al. 2022. Cadmium Toxicity in Plants: Recent Progress on Morphophysiological Effects and Remediation Strategies. *J Soil Sci Plant Nutr* 22, 212–269. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00645-3>