

Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) oleh Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam Sistem *Constructed Wetland*

Eko Siswoyo^{1*}, Novriyanto², Kasam³

^{1,2,3} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding E-mail: eko_siswoyo@uii.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran logam berat timbal (Pb) di lingkungan menjadi salah satu permasalahan serius yang dihadapi banyak negara di dunia termasuk Indonesia. Salah satu sumber pencemaran logam berat timbal yaitu lindi (leachate) dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) karena keberadaan instalasi pengolahan air lindi di TPA yang masih sangat kurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan *constructed wetland* dalam menurunkan logam berat Pb pada air lindi TPA Piyungan, Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan reaktor *constructed wetland* berukuran 50 x 100 cm dengan diberikan tanah setebal 5 cm dan tumbuhan Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebanyak 14 buah. Beberapa variabel penelitian yaitu konsentrasi awal limbah (0; 25; 50; 75 dan 100%) dan waktu pengujian 0, 3, 6, 9 dan 12 hari. Pengujian konsentrasi Pb dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *constructed wetland* dengan menggunakan tumbuhan Eceng gondok mampu menyerap kadar Pb dalam air lindi TPA Piyungan hingga 0,086 mg/l (akar) dan 0,02 mg/l (daun) untuk waktu kontak 12 hari. Kondisi tumbuhan Eceng gondok sampai dengan akhir penelitian masih terlihat normal dan dapat hidup dan berkembang dengan baik.

Kata Kunci: *Constructed wetland*, lindi, logam berat, timbal.

ABSTRACT

*Heavy metal lead (Pb) pollution in the environment is a serious problem faced by many countries in the world, including Indonesia. One source of lead heavy metal pollution is leachate from final disposal sites (TPA) because the presence of leachate water treatment plants at landfills is still very lacking. This research aims to assess the ability of constructed wetlands to reduce the heavy metal Pb in the leachate of Piyungan landfill, Yogyakarta. This research used a constructed wetland reactor measuring 50 x 100 cm with 5 cm thick soil and 14 water hyacinth plants (*Eichhornia crassipes*). Several research variables are initial waste concentration (0; 25; 50; 75 and 100%) and testing time 0, 3, 6, 9 and 12 days. Pb concentration testing was carried out using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The research results showed that the constructed wetland system using water hyacinth plants was able to absorb Pb levels in Piyungan landfill leachate up to 0.086 mg/l (roots) and 0.020 mg/l (leaves) for a contact time of 12 days. The condition of the water hyacinth plants at the end of the research still looked normal and could live and grow well.*

Keywords: *Constructed wetland, heavy metal, lead, leachate.*

I. PENDAHULUAN

Pencemaran air lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) telah menjadi isu lingkungan yang semakin mendesak dalam beberapa tahun terakhir. Air lindi, yang dihasilkan dari dekomposisi sampah dan material limbah organik lainnya, memiliki kadar COD mencapai 12.200 mg/L dan bersifat sulit terdegradasi [1]. Selain itu lindi TPA juga seringkali mengandung logam berat, termasuk timbal (Pb), yang dapat menyebabkan dampak lingkungan dan kesehatan masyarakat yang serius [2]. Peningkatan konsentrasi timbal dalam air lindi dapat merusak ekosistem perairan, mengancam kualitas air tanah, serta

mengganggu siklus biogeokimia yang alami [3] dan [4]. Selain itu keberadaan TPA juga dapat berdampak bagi kenyamanan hidup Masyarakat yang berjarak kurang dari 500 m dari lokasi TPA [5].

Dalam upaya untuk mengatasi tantangan pencemaran air lindi oleh logam berat, sistem *constructed wetland* atau lahan basah buatan telah muncul sebagai pilihan yang menarik dan berpotensi untuk memberikan solusi yang berkelanjutan, dimana kemampuan sistem *constructed wetland* tersebut mampu mengurangi kadar pencemar dalam air lindi hingga 70% [6]. Lahan basah buatan menggunakan konsep fitoremediasi, yang melibatkan

tumbuhan air, mikroorganisme, dan reaksi kimia dalam sistem untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam air lindi. Penggunaan sistem *constructed wetland* dalam mengatasi pencemaran timbal dalam air lindi TPA telah menjadi topik penelitian yang semakin penting dan mampu memberikan hasil yang baik [7].

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efektivitas sistem *constructed wetland* sebagai metode yang berpotensi untuk menurunkan konsentrasi logam berat timbal dalam air lindi TPA. Artikel ini akan mencakup pemahaman mendalam tentang mekanisme fitoremediasi yang terlibat dalam proses ini, pemilihan spesies tumbuhan yang sesuai, serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem *constructed wetland* dalam mengurangi pencemaran timbal. *Constructed wetland* yang merupakan salah satu bentuk fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan salah satu sistem pengoalahan secara alamiah yang mudah, murah dan memiliki efisiensi tinggi [8], [9] and [10].

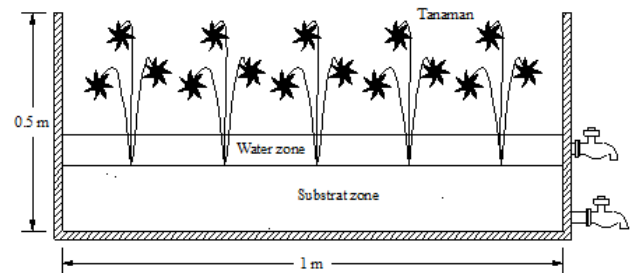
Penelitian ini juga membahas pengaruh logam berat terhadap tumbuhan uji yang mungkin timbul dari penggunaan sistem *constructed wetland* dalam mengelola air lindi TPA. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang potensi dan keterbatasan sistem ini, diharapkan dapat dikembangkan strategi yang lebih efisien untuk mengurangi risiko pencemaran timbal dan menjaga keberlanjutan lingkungan di sekitar TPA.

Artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat timbal dalam air lindi TPA yang semakin mendesak dan kompleks.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan berbagai tahapan yang telah ditentukan. Eksperimen ini bertujuan untuk mengukur kapasitas serapan tumbuhan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap kadar timbal (Pb) dalam limbah cair dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan dan untuk mengevaluasi dampak limbah TPA Piyungan terhadap pertumbuhan Eceng gondok. Dalam penelitian ini, terdapat beberapa variabel yang diperhatikan. Variabel independen adalah jenis tanaman yang digunakan, yaitu tumbuhan Eceng gondok dengan karakteristik akar, jumlah daun, dan lebar daun yang serupa. Variabel dependen adalah kandungan logam timbal dalam limbah. Tumbuhan yang digunakan memiliki karakteristik yang serupa dalam hal panjang akar, panjang daun, dan lebar daun. Penelitian ini juga memvariasikan konsentrasi limbah cair TPA Piyungan, dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, tanpa tumbuhan sebagai kelompok kontrol analisis, serta persentase yang sama dengan tumbuhan Eceng gondok ditanam. Variasi dalam konsentrasi limbah dilakukan melalui pengenceran

dengan menggunakan air sumur. Limbah cair disalurkan ke dalam 10 reaktor yang terbuat dari kayu dan dilapisi plastik sebagai lapisan kedap air. Setiap reaktor menerima perlakuan konsentrasi limbah yang berbeda. Beberapa reaktor digunakan sebagai kontrol, di mana mereka menerima limbah tanpa tumbuhan Eceng gondok, sementara yang lain ditanami dengan tumbuhan tersebut. Media tanam yang digunakan adalah tanah dengan tinggi 5 cm pada setiap reaktor. Keseluruhan penelitian ini dilakukan di dalam rumah kaca. Tumbuhan Eceng gondok diambil dari daerah Maguwo Sleman, dimana dalam penelitian ini Eceng gondok ditanam pada reaktor dengan masing-masing reaktor terdapat 14 Eceng gondok yang berat panjang serta ukurannya diperkirakan sama agar dalam proses penyerapan tumbuhan bisa mempunyai kemampuan yang sama. Tumbuhan Eceng gondok tersebut dibiarkan beradaptasi dengan lingkungannya selama 3 hari. Desain reaktor *constructed wetland* yang digunakan dalam penelitian ini sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain *constructed wetland*

Pengujian konsentrasi Pb di dalam air limbah dan tumbuhan Eceng gondok dilakukan dengan menggunakan instrumen Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) dengan menggunakan panjang gelombang tertentu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik air lindi TPA dan tumbuhan uji
Air lindi TPA mengandung beberapa kontaminan baik itu logam berat maupun zat organik/anorganik lainnya. Kadar logam berat Pb pada air lindi TPA Piyungan Yogyakarta yaitu sebesar 0,321 mg/l, dimana hal ini sudah di atas batas maksimal yang diijinkan yaitu sebesar 0,03 mg/l berdasarkan PP No.82 th. 2001. Kadar Pb pada akar dan daun tumbuhan masing-masing sebesar 0,0362 dan 0,0015 mg/L. Keberadaan logam berat pada air lindi TPA bervariasi, misalnya kadar Pb dalam air lindi TPA Secara lebih detail mengenai konsentrasi Pb dalam setiap variasi air limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

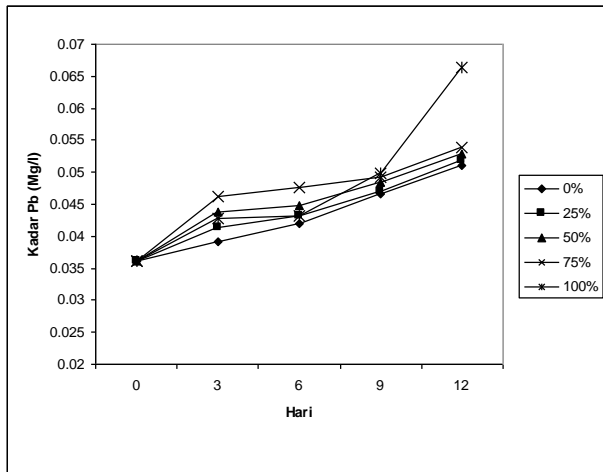
Tabel 1. Konsentrasi Pb pada variasi air limbah

No.	Variasi lindi (%)	Konsentrasi Pb (mg/L)	Metode
1	0	0.006	AAS
2	25	0.043	AAS
3	50	0.074	AAS
4	75	0.156	AAS
5	100	0.321	AAS

Sumber: Data hasil pengujian

3.2 Kadar logam berat Pb pada akar tumbuhan Eceng gondok

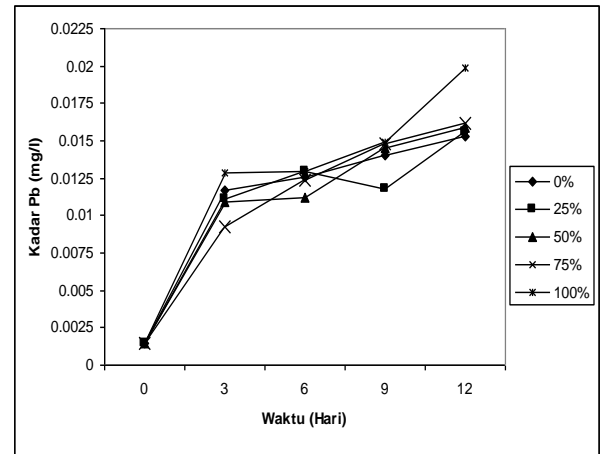
Kadar logam berat Pb pada akar tumbuhan uji Eceng gondok mengalami kenaikan dari hari ke-3 sampai dengan hari ke-12 sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kadar Pb pada akar tumbuhan Eceng gondok pada hari ke-0 sd 12

3.3 Kadar logam berat Pb pada daun tumbuhan Eceng gondok

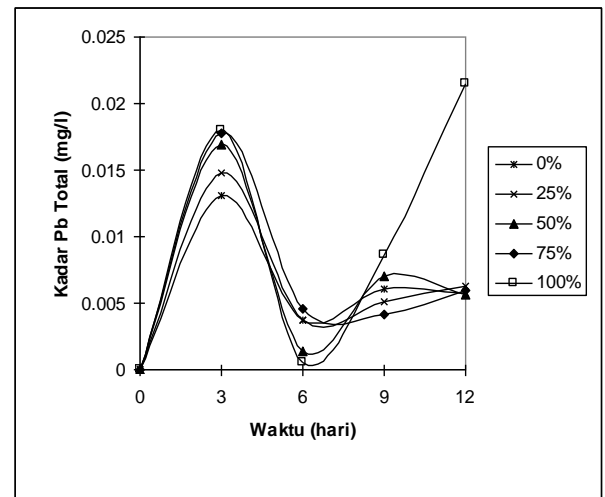
Kadar logam berat Pb pada daun tumbuhan uji Eceng gondok mengalami kenaikan dari hari ke-3 sampai dengan hari ke-12 sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.



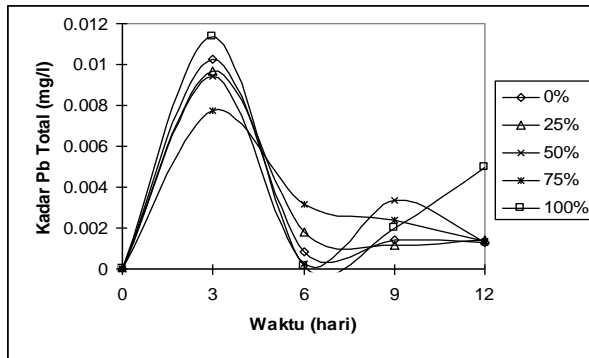
Gambar 3. Kadar Pb pada daun tumbuhan Eceng gondok pada hari ke-0 sd 12

3.4 Tingkat penyerapan logam berat Pb pada akar dan daun tumbuhan Eceng gondok

Tumbuhan Eceng gondok mampu menyerap logam berat Pb yang berada dalam air limbah, dimana logam berat tersebut akan disimpan di dalam akar dan daun. Hal ini merupakan salah satu prinsip dari fitoremediasi. Jumlah logam berat Pb yang diserap dalam akar dan daun tumbuhan Eceng gondok dalam penelitian ini sebagaimana terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Tingkat penyerapan Pb pada akar tumbuhan Eceng gondok pada hari ke-0 sd 12



Gambar 5. Tingkat penyerapan Pb pada daun tumbuhan Eceng gondok pada hari ke-0 sd 12

Tabel 3. Kondisi Tumbuhan uji pada konsentrasi air limbah 100%

Hari pada Reaktor limbah 100%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati (bh)	Hidup (bh)
Hari ke-0	15 cm segar cokelat	64 cm hijau segar	(15.5 x 17.5) cm hijau segar	0	14
Hari ke-3	15 cm segar cokelat	64 cm hijau segar	(13 x 15,5) cm hijau agak segar	0	14
Hari ke-6	15 cm segar cokelat	63 cm hijau kekuningan segar	(13 x 15) cm Hijau kekuningan dan agak segar	0	14
Hari ke-9	15 cm Segar cokelat	62 cm kecoklatan layu	(12 x 15) cm Hijau kekuningan agak segar	1	13
Hari ke-12	15 cm Segar cokelat	62 cm kecoklatan layu	(11 x 14,5) cm hijau kekuningan agak segar	2	12

3.5 Pengaruh konsentrasi air limbah terhadap perkembangan tumbuhan Eceng gondok

Keberadaan logam berat Pb dalam air lindi TPA Piyungan yang digunakan dalam penelitian ini memberikan dampak bagi pertumbuhan dan hidup tumbuhan uji, dimana konsentrasi air limbah memberikan pengaruh yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi air limbah 100% sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Secara keseluruhan kondisi tumbuhan uji pada semua konsentrasi limbah yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Kondisi Tumbuhan uji pada konsentrasi air limbah 0%

Hari pada Reaktor limbah 0%	Kondisi dan Jumlah Komponen dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	15 cm segar Cokelat	58 cm hijau segar	(15 x 16) cm hijau segar	0	14
Hari ke-3	15 cm segar Cokelat	58 cm hijau segar	(15 x 16) cm hijau segar	0	14
Hari ke-6	15 cm segar Cokelat	58 cm hijau segar	(16 x 16) cm Hijau segar	0	14
Hari ke-9	15 cm segar Cokelat	58 cm hijau segar	(16 x 17) cm Hijau segar	0	14
Hari ke-12	15 cm segar Cokelat	58 cm hijau kekuningan	(16 x 18) cm Hijau segar	0	14

Tabel 4. Kondisi tumbuhan uji

Fisik	Konsentrasi Limbah (%)	Sebelum Penelitian	Sesudah Penelitian
Daun	0	segar, hijau	segar, hijau
	25	segar, hijau	segar, hijau
	50	segar, hijau	layu, kuning ada tumbuh tunas baru coklat kering, ada tumbuh tunas baru
	75	segar, hijau	baru
	100	segar, hijau	coklat kering
Akar	0	hitam kecoklatan	hitam kecoklatan
	25	hitam kecoklatan	coklat tua, adanya akar-akar baru
	50	hitam kecoklatan	coklat tua, adanya akar-akar baru
	75	hitam kecoklatan	coklat muda
	100	hitam kecoklatan	coklat muda
Batang	0	hijau	hijau
	25	hijau	hijau
	50	hijau	agak layu, berwarna kecoklatan
	75	hijau	layu, kering, berwarna kecoklatan
	100	hijau	layu, kering, berwarna kecoklatan

Terlihat dengan jelas dari Tabel tersebut bahwa pada konsentrasi air limbah 100% memberikan dampak negatif yaitu terdapat beberapa tumbuhan air uji mati, kondisi daun layu dan lebar daun mengalami sedikit penurunan. Tumbuhan Eceng gondok memiliki kemampuan untuk melakukan adaptasi terhadap bahan pencemar yang ada dalam air lindi TPA, sehingga tidak semua tumbuhan tersebut mati [11] and [12].

Tingkat penyerapan logam berat Pb oleh tumbuhan uji mengalami peningkatan dari hari ke hari untuk semua variasi konsentrasi air limbah sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.

Terlihat bahwa akar tumbuhan Eceng gondok mampu menyerap logam Pb dengan jumlah yang cukup besar mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-12. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh [13] dan [14].

Proses penyerapan logam berat Pb pada air lindi TPA dengan tumbuhan Eceng gondok pada sistem constructed wetland meliputi beberapa proses yaitu phytodegradation, phytovolatilization, phytoextraction and

phytoaccumulation [15], [16], [9] and [17]. Pemanfaatan tumbuhan Eceng gondok untuk menurunkan kontaminan dalam air dan air limbah seperti logam berat merupakan salah satu solusi yang sangat menjanjikan apalagi jika dilakukan beberapa pengembangan [12].

IV. KESIMPULAN

Sistem *Constructed wetland* menggunakan tumbuhan Eceng gondok mampu menurunkan kadar Pb dalam air lindi TPA. sistem *constructed wetland* dengan menggunakan tumbuhan Eceng gondok mampu menyerap kadar Pb dalam air lindi TPA Piyungan hingga 0,086 mg/l (akar) dan 0,020 mg/l (daun) untuk waktu kontak 12 hari. Kondisi tumbuhan Eceng gondok sampai dengan akhir penelitian masih terlihat normal dan dapat hidup dan berkembang dengan baik, tetapi ada beberapa tumbuhan Eceng gondok yang mati. Tumbuhan Eceng gondok memiliki ketahanan yang baik terhadap logam berat dan pencemar dalam air lindi TPA, sehingga cocok dipergunakan untuk pengolahan air limbah seperti lindi TPA dan sejenisnya.

REFERENSI

- [1] W. Purwanta and J. P. Susanto, "Laju Produksi dan Karakterisasi Polutan Organik Lindi dari TPA Kaliwlingi, Kabupaten Brebes," *J. Teknol. Lingkungan*, vol. 18, no. 2, p. 157, 2017, doi: 10.29122/jtl.v18i2.2036.
- [2] O. O. Afolabi *et al.*, "Potential environmental pollution and human health risk assessment due to leachate contamination of groundwater from anthropogenic impacted site," *Environ. Challenges*, vol. 9, p. 100627, 2022, doi: 10.1016/j.envc.2022.100627.
- [3] F. Parvin and S. M. Tareq, "Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment," *Appl. Water Sci.*, vol. 11, no. 6, p. 100, 2021, doi: 10.1007/s13201-021-01431-3.
- [4] Watiniyati, "Dampak Pencemaran Lindi Terhadap Lingkungan Akuatik, Ditinjau Dari Aspek Kesehatan Lingkungan di Sui Bakau Besar Laut Kabupaten Mempawah." 2016.
- [5] N. D. Ramadhanti, W. Astuti, and R. A. Putri, "Dampak Tpa Putri Cempo Terhadap Permukiman," *Desa-Kota*, vol. 3, no. 2. Jurnal Perencanaan Wilayah, Desa-Kota, p. 103, 2021. doi: 10.20961/desa-kota.v3i2.48352.103-121.
- [6] J. Ramadhani, R. R. D. Asrifah, and ..., "Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Constructed Wetland di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus," *J. Ilm. Lingkungan*. ..., vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kebumian/article/view/3280>
- [7] R. Bakhshoodeh *et al.*, "Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review," *Ecol. Eng.*, vol. 146, p. 105725, 2020, doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105725.
- [8] A. Sumiahadi and R. Acar, "A review of phytoremediation technology: Heavy metals uptake by plants," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2018, p. 12023. doi: 10.1088/1755-1315/142/1/012023.
- [9] Y. L. Pang, Y. Y. Quek, S. Lim, and S. H. Shuit, "Review on Phytoremediation Potential of Floating Aquatic Plants for Heavy Metals: A Promising Approach," *Sustainability*, vol. 15, no. 2, p. 1290, 2023, doi: 10.3390/su15021290.
- [10] H. W. Tan, Y. L. Pang, S. Lim, and W. C. Chong, "A state-of-the-art of phytoremediation approach for sustainable management of heavy metals recovery," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 30, p. 103043, 2023, doi: 10.1016/j.eti.2023.103043.
- [11] E. Sari, J. Jumiati, and M. Sari, "Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Air Lokal Terhadap Air Lindi (Leachate)," *Bio-Lectura*, vol. 3, no. 1, pp. 77–89, 2016, doi: 10.31849/bl.v3i1.336.
- [12] P. Galgali, S. Palimkar, A. Adhikari, R. Patel, and J. Routh, "Remediation of potentially toxic elements -containing wastewaters using water hyacinth—a review," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 25, no. 2, pp. 172–186, 2023, doi: 10.1080/15226514.2022.2068501.
- [13] K. Novitriani, "EFEKTIVITAS ECENG GONDOK ((*Eichornia crassipes*) DALAM MENYERAP LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)," *J. Kesehat. Bakti Tunas Husada J. Ilmu-ilmu Keperawatan, Anal. Kesehat. dan Farm.*, vol. 9, no. 1, p. 97, 2015, doi: 10.36465/jkbth.v9i1.100.

- [14] N.- Hendrasarie and Y. A. Dieta, "Kemampuan Adsorpsi Pb Dari Limbah Industri Oleh Tumbuhan Kayu Ambang (Lemna Minor), Kayu Apu (Pistia Stratiotes), Dan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes Solm)," *J. Envirotek*, vol. 11, no. 1, 2019, doi: 10.33005/envirotek.v11i1.1368.
- [15] S. Muthusaravanan *et al.*, "Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 16, no. 4, pp. 1339–1359, 2018, doi: 10.1007/s10311-018-0762-3.
- [16] H. Ali, E. Khan, and M. A. Sajad, "Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications," *Chemosphere*, vol. 91, no. 7, pp. 869–881, 2013, doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
- [17] V. Mudgal, M. Raninga, D. Patel, D. Ankoliya, and A. Mudgal, "A review on Phytoremediation: Sustainable method for removal of heavy metals," *Mater. Today Proc.*, vol. 77, pp. 201–208, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.261.