

**FITOREMEDIASI LIMBAH BATIK TULIS X SKALA INDUSTRI
RUMAHAN MENGGUNAKAN TANAMAN *Lemna minor* (Mata Lele)
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM Zn**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada
Program Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

JAUHAROTUN NAJWA INDAH

NIM. 09040522059

Dosen Pembimbing:

Dedy Suprayogi, M.KL

Vera Arida, M.Sc

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Jauharotun Najwa Indah
NIM : 09040522059
Program Studi : Teknik Lingkungan
Angkatan : 2022

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul “FITOREMEDIASI LIMBAH BATIK TULIS X SKALA INDUSTRI RUMAHAN MENGGUNAKAN TANAMAN *Lemna minor* (Mata Lele) DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM Zn”. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang diterapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 19 Juni 2026

Yang Menyatakan



(Jauharotun Najwa Indah)

NIM. 09040522059

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh:

Nama : Jauharotun Najwa Indah

NIM : 09040522059

Judul : FITOREMEDIASI LIMBAH BATIK TULIS X SKALA
INDUSTRI RUMAHAN MENGGUNAKAN TANAMAN *Lemna
minor* (Mata Lele) DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM
Zn

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Surabaya, 19 Juni 2026

Dosen Pembimbing I



Dedy Suprayogi, M.KL
NIP. 198512112014031002

Dosen Pembimbing II



Vera Arida, M.Sc
NIP. 19903192020122017

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas akhir oleh:

Nama: Jauharotun Najwa Indah

NIM: 09040522059

Judul: Fitoremediasi Limbah Batik Tulis X Skala Industri Rumahan Menggunakan Tanaman *Lemna minor* (Mata Lele) Dalam Menurunkan Kadar Logam Zn

Telah dipertahankan di depan penguji tugas akhir

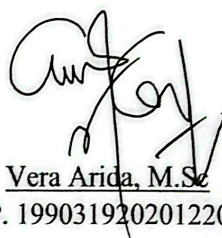
Surabaya, 19 Juni 2026

Penguji I



Dedy Suprayogi, M.KL
NIP. 198512112014031002

Penguji II



Vera Arida, M.Sc
NIP. 19903192020122017

Penguji III



Ir. Teguh Taruna Utama, S.T., M.T
NIP. 198705022023211021

Penguji IV



Dr. Rhenny Ratnawati, S.T., M.T
NIP. 19870527202505052001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Saiful Hamdani, M.Pd
NIP. 196507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Jauharotun Najwa Indah
NIM : 09040522059
Fakultas/Jurusan : Fakultas Sains dan Teknologi/ Teknik Lingkungan
E-mail address : jnajwaindah@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul : Fitoremediasi Limbah Batik Tulis X Skala Industri Rumahan Menggunakan Tanaman *Lemma minor* (Mata Lele) Dalam Menurunkan Kadar Logam Zn

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 19 Juni 2026

Penulis

Jauharotun Najwa Indah

Abstrak

Air limbah batik berpotensi mengandung seng (Zn) yang dapat mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan memadai. Fitoremediasi merupakan metode pengolahan limbah ramah lingkungan dengan memanfaatkan kemampuan tanaman dalam menyerap kontaminan. Salah satu tanaman yang berpotensi digunakan adalah *Lemna minor* karena memiliki pertumbuhan cepat dan kemampuan adaptasi yang baik di perairan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan *Lemna minor* dalam menurunkan konsentrasi Zn pada limbah industri batik skala rumah tangga serta mengevaluasi pengaruh variasi biomassa tanaman terhadap efisiensi penyisihan Zn. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan sistem batch selama 20 hari dengan variasi biomassa *Lemna minor* sebesar 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g serta kontrol tanpa tanaman. Konsentrasi Zn dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), sedangkan analisis statistik dilakukan menggunakan uji One Way ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Lemna minor* mampu menurunkan konsentrasi Zn pada seluruh perlakuan dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 99,33% pada biomassa 25 g hari ke-20. Hasil uji One Way ANOVA menunjukkan nilai signifikansi 0,706 ($p > 0,05$), sehingga variasi biomassa tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan konsentrasi Zn. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis logam berat lain untuk mengetahui selektivitas penyerapan *Lemna minor*.

Kata kunci: Air Limbah Batik, Efisiensi Removal, Fitoremediasi, *Lemna minor*, Seng (Zn).

Abstract

Batik wastewater potentially contains zinc (Zn), a heavy metal that may pollute the environment if discharged without adequate treatment. Phytoremediation is an environmentally friendly wastewater treatment method that utilizes plants to absorb contaminants. One potential plant is Lemna minor due to its rapid growth and high adaptability in aquatic environments. This study aimed to analyze the ability of Lemna minor to reduce Zn concentration in household-scale batik wastewater and to evaluate the effect of plant biomass variation on Zn removal efficiency. The study was conducted experimentally using a batch system for 20 days with Lemna minor biomass variations of 10 g, 15 g, 20 g, and 25 g, along with a control without plants. Zn concentration was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), while statistical analysis was performed using One Way ANOVA. The results showed that Lemna minor reduced Zn concentration in all treatments, with the highest removal efficiency of 99.33% obtained at 25 g biomass on day 20. One Way ANOVA showed a significance value of 0.706 ($p > 0.05$), indicating that biomass variation had no significant effect on Zn reduction. Further studies are recommended to analyze other heavy metals to determine the selectivity of Lemna minor uptake.

Keywords: *Batik Wastewater, Efficiency Removal, Lemna minor, Phytoremediation, Zinc.*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xi
Abstrak	xii
<i>Abstract</i>	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	1
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Cair Batik Tulis.....	7
2.2 Logam Berat	11
2.3 Zn (Seng).....	13
2.4 Fitoremediasi	14
2.5 Aklimatisasi.....	20
2.6 Morfologi Tanaman.....	21
2.7 <i>Lemna minor</i> (Mata Lele).....	22
2.8 Sistem <i>Batch</i>	25
2.9 Integritas Penelitian Dalam Pandangan Islam.....	26
2.10 Penelitian Terdahulu	27
BAB III	32
METODE PENELITIAN	32
3.1 Rancangan Penelitian	32
3.2 Tempat Penelitian.....	32

3.3	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.1.2	Alat.....	33
3.3.2	Bahan.....	33
3.4	Variabel Penelitian	33
3.4.1	Variabel Bebas (<i>Independent Variable</i>).....	33
3.4.2	Variabel Terikat (<i>Dependent variable</i>)	35
3.5	Prosedur Penelitian.....	36
3.5.1	Tahap Persiapan Penelitian	37
3.5.2	Tahap Penelitian.....	38
3.5.3	Tahap Pengambilan Data	43
3.6	Analisis Data	44
3.7	Hipotesis Penelitian.....	45
BAB IV		46
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Pra Penelitian.....	46
4.1.1	Aklimatisasi Tanaman.....	46
4.1.2	<i>Range Finding Test</i> (RFT).....	53
4.2	Fitoremediasi Tanaman	57
4.2.1	Morfologi Tanaman	58
4.2.2	pH Air	95
4.2.3	Suhu Air	98
4.2.4	Intensitas Cahaya	100
4.2.5	Kadar Logam Zn Dalam Air	101
4.3	Efisiensi Removal.....	104
4.4	Analisa Perbedaan Variasi Berat Tanaman Lemna minor Terhadap Penyerapan Logam Berat Zn.....	109
BAB V.....		112
KESIMPULAN DAN SARAN.....		112
5.1	Kesimpulan.....	112
5.2	Saran	112
DAFTAR PUSTAKA		113
LAMPIRAN.....		118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan pengelolaan limbah batik di Indonesia	7
Gambar 2.2 Proses pembuatan batik	8
Gambar 2.3 Konsep fitoremediasi tanah/air limbah dan (aqua) <i>fitomining</i> serta mekanisme dasar fitoremediasi.	14
Gambar 2.4 Proses Fitoekstraksi	15
Gambar 2.5 Proses Rizofiltrasi	16
Gambar 2.6 Proses Fitostabilisasi.....	17
Gambar 2.7 Proses Rizodegradasi	18
Gambar 2.8 Proses Fitodegradasi	18
Gambar 2.9 Proses Fitovolatilisasi	19
Gambar 2.10 <i>Lemna minor</i>	24
Gambar 3.1 Bagan Alur Prosedur Penelitian.....	36
Gambar 3.2 Tahap Penelitian	38
Gambar 3.3 Reaktor Kontrol	42
Gambar 3.4 Reaktor A dan B (10 gram <i>Lemna minor</i>).....	42
Gambar 3.5 Reaktor C dan D (15 gram <i>Lemna minor</i>).....	43
Gambar 3.6 Reaktor E dan F (20 gram <i>Lemna minor</i>).....	43
Gambar 3.7 Reaktor G dan H (25 gram <i>Lemna minor</i>).....	43
Gambar 4.1 Morfologi <i>Lemna minor</i>	52
Gambar 4.2 Kondisi Daun <i>Lemna minor</i> Sebelum Proses Fitoremediasi.....	91
Gambar 4.3 Pertumbuhan Tunas Baru Pada Fitoremediasi.....	91
Gambar 4.4 <i>Lemna minor</i> Setelah Fitoremediasi.....	92
Gambar 4.5 Grafik Pertambahan Bobot <i>Lemna minor</i>	93
Gambar 4.6 Nilai Rata-Rata pH	97
Gambar 4.7 Nilai Rata-Rata Suhu Air.....	99
Gambar 4.8 Efisiensi Removal Kadar Logam Zn	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Logam Berdasarkan Sifatnya.....	12
Tabel 2.2 Mekanisme Fitoremediasi Logam Berat	19
Tabel 2.3 Klasifikasi <i>Lemna minor</i>	24
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu.....	27
Tabel 3.1 Matriks Penelitian	34
Tabel 4.1 Tahap Aklimatisasi.....	46
Tabel 4.2 Variasi Konsentrasi Limbah Pada Tahap RFT.....	54
Tabel 4.3 Penilaian Rata-Rata Pada Tahap RFT.....	55
Tabel 4.4 Morfologi Tanaman Selama Proses Fitoremediasi	58
Tabel 4.5 Biomassa Lemna minor.....	93
Tabel 4.6 Nilai pH Pada Tahap Fitoremediasi	96
Tabel 4.7 Nilai Suhu Air	98
Tabel 4.8 Nilai Intensitas Cahaya.....	100
Tabel 4.9 Kadar Zn pada Reaktor	101
Tabel 4.10 Efisiensi Removal Zn.....	105
Tabel 4.11 Perbandingan Efisiensi Removal.....	108
Tabel 4.12 Hasil Uji Normalitas.....	109
Tabel 4.13 Hasil Uji Homogenitas	109
Tabel 4.14 Hasil Uji One Way Anova	110

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Attarad et al, Phull Abdul Rehman, & Zia Muhammad. (2018). *Elemental Zinc to Zinc Nanoparticles: Is ZnO NPs Crucial for life? Synthesis, Toxicological, and Environmental Concerns*. In *Nanotechnology Reviews* (Vol. 7, Number 5, pp. 413–441). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2018-0067>
- Ali, H. H., Alzurfi, S. K. L., & Aldujaili, N. hussein kudhair. (2025). *Phytoremediation of Three Heavy Metals Using Duckweed (Lemna minor)*. *Indonesian Journal on Health Science and Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.21070/ijhsm.v2i1.70>
- Ardiatma, D., I. N. I. , & S. N. U. (2023). Efektivitas Metode Fitoremediasi dengan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) terhadap Penurunan Kadar BOD dalam Limbah Domestik di Jakarta. DOI: [10.20885/jstl.vol15.iss2.art2](https://doi.org/10.20885/jstl.vol15.iss2.art2)
- Astuti, D., Awang, N., Othman, M. S. Bin, Kamaludin, N. F. B., Meng, C. K., & Mutalazimah, M. (2023). *Analysis of Heavy Metals Concentration in Textile Wastewater in Batik Industry Center*. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(3), 1176–1181. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i3.3085>
- Bamiati Shalsa Rhovenia. (2023). Tugas Akhir Fitoremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dengan Memanfaatkan Tanaman *Azolla microphylla* Menggunakan Sistem Batch.
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Sher, F. (2022). *Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach*. *Chemosphere*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- Calabrese, E. J., & Agathokleous, E. (2021). *Accumulator Plants and Hormesis*. In *Environmental Pollution* (Vol. 274). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116526>
- Choirunnisa Taqiyyah A. (2020). Tugas Akhir Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) Dan Papyrus (*Cyperus papyrus L.*).
- Daud, M. K., Ali, S., Abbas, Z., Zaheer, I. E., Riaz, M. A., Malik, A., Hussain, A., Rizwan, M., Zia-ur-rehman, M., & Zhu, S. J. (2018). *Potential of Duckweed (Lemna minor) for the Phytoremediation of Landfill Leachate*. 2018.
- Denbere, Elias, B., Solomon, D., & Thomas, S. (2023). *Phytoremediation Potentials of Azolla filiculoides L. and Lemna minor L. for Heavy Metals from Soft Drink Factory Effluent: The Case of Hawassa Millennium Pepsi Cola Factory, Hawassa, Ethiopia*. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, 27(7), 1601–1610. <https://doi.org/10.4314/jasem.v27i7.36>
- Fatiha, I. I., Firdhausi, N. F., & Zummah, A. (2025). Potensi Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*) Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair Home Industry Batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(1), 176. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i1.14892>

- Fatiha, I. I., & Irawanto, R. (2021). Pengaruh Limbah Cair Home-Industri Batik Terhadap Kemampuan *Echinodorus radicans*. 6.
- Fatikasari Nur Rizma dan Purnomo Tarzan, & Purnomo. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik *Effectiveness of Hydrilla verticillata and Lemna minor as Phytoremediator LAS in Domestic Waste Detergent*. 11(2), 263–272. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index263>
- Fatimah Siti D.A. (2023). Tugas Akhir Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) Dengan Sistem Batch.
- Fatuwala Hanni. (2023). Tugas Akhir Uji Efektivitas Kombinasi Rumput Bebek (*Lemna minor*) Dan Anabaena Dalam Degradasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Besi (Fe) Pada Lindi Tpa Gampong Jawa.
- Fitriana, N., Kuntjoro, S., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2020). Kemampuan *Lemna minor* dalam Menurunkan Kadar *Linear Alkyl Benzene Sulphonate* *The Ability of Lemna minor to Reduce Linear Alkyl Benzene Sulphonate Level*. 9(2), 109–114. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>
- Ghozali Aulia Ali, Sohra, L. A., & Eviane, D. (2023). Efektivitas Dan Model Isoterm Adsorpsi Fe Dan Mn Oleh Mata Lele (*Lemna minor*) (Vol. 23, Number 2).
- Hakika, C. D. et al. (2021). Peningkatan Pengetahuan Peserta *Training of Trainer* (ToT) “Pelatihan Batik dengan Pewarnaan Alami” dengan Penyuluhan Mengenai Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Abdimas*, 25(2), 233–23.
- Harahap, J., A. N., & A. T. M. (2023). Efektivitas Rumput Bebek (*Lemna minor*) Dalam Penyisihan Kadmium (Cd) Dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) Pada Lindi Tpa Sampah Gampong Jawa Kota Banda Aceh. *Lingkar: Journal of Environmental Engineering*, 3(2), 13–25. <https://doi.org/10.22373/ljee.v3i2.2304>
- Hedrich, S., & Wiche, O. (2024). *Biological Metal Recovery from Wastewaters*.
- Hutabarat, E. D., Amizera, S., & Santri, D. J. (2024). Potensi Tumbuhan *Lemna minor* L. sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Pewarna Jumputan. *Jurnal Bios Logos*, 14(3), 64–73. <https://doi.org/10.35799/jbl.v14i3.55819>
- Irawanto, R., & Munandar, A. A. (2017, December). Kemampuan tumbuhan akuatik *Lemna minor* dan *Ceratophyllum demersum* sebagai fitoremediator logam berat timbal (Pb). *In Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* (Vol. 3, No. 3, pp. 446-452).
- Irhamni, I., P. S., P. E., & H. W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. DOI:[10.5281/ZENODO.400012](https://doi.org/10.5281/ZENODO.400012)
- Jaiman, Vibha, et al. (2024). *Sustainable Solutions for Textile Pollution: Evaluating*. 10(2). <https://doi.org/10.18811/ijpen.v10i02.11>
- Jamil, A., Hanani Darundiati, Y., Astorina Yunita Dewanti Bagian Kesehatan Lingkungan, N., & Kesehatan Masyarakat, F. (2016). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Jumlah Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Terhadap

- Penurunan Kadar Cadmium (Cd) Limbah Cair Batik *Home Industry* “X” Di Magelang (Vol. 4). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Julianti R.S. (2023). Tugas Akhir Uji Toksisitas *Lethal Concentration (LC50-96 JAM)* Surfaktan *Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)* dan *Linear Alkyl-benzene Sulfonate (LAS)* Terhadap Ikan Guppy (*Poecilia reticulata*).
- Kasim Afrianti F.A. (2024). Skripsi Efektivitas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Dan *Lemna Minor* Terhadap Proses Fitoremediasi Air Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias sp.*).
- Kementrian Agama RI. (2022). *Al-Qur'an Al-Karim*.
- Kharisma Subagyo, P. (2021). Pengaruh Zat Pewarna Sintetis Terhadap Pewarnaan Kain Batik (Vol. 2).
- Khellaf, N., & Zerdaoui, M. (2009). *Phytoaccumulation of Zinc by The Aquatic Plant, Lemna gibba L. Bioresource Technology, 100(23), 6137–6140.* <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.043>
- Lestari, G. S., Fitrihidajati, H., Candra, A., Nurcholis, N., & Aseyan, A. (2026). *Addition of Eco-enzyme In Lemna minor Cultivation as Alternative Feed to Support SDG 2 in Kampoeng Oase. Journal of Community Service and Empowerment, 7(1), 90–97.* <https://doi.org/10.22219/jcse.v7i1.43567>
- Lichtfouse, Eric., Schwarzbauer, Jan., & Robert, Didier. (2005). *Environmental chemistry: green chemistry and pollutants in ecosystems*. Springer.
- Lilin dan Indrayani. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sebagai Salah Satu Percontohan Ipal Batik di Yogyakarta. <https://doi.org/10.24843/EJES.2018.v12.i02.p07>
- Marlany, R. , S. S. , & T. R. S. E. (2023). Pemanfaatan Tanaman Air untuk Menurunkan Parameter Pencemar pada Kali Kadia Kota Kendari Menggunakan Metode Fitoremediasi. In *AJIE-Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship* (Vol. 07, Number 03).
- Musawwa, M. M., Sarkawi, M., Arrunillah, D., Sazawa, K., Mohan, G., & Kuramitz, H. (2026). *Review of Traditional Batik Wastewater Treatment in Indonesia To Address Environmental and Health Hazards and Support Sustainable Practices of Micro, Small, and Medium Enterprises. In Discover Environment (Vol. 4, Number 1).* Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00466-6>
- Nadhifah, I. I., Fajarwati, P., & Sulistiyowati, E. (2019). Fitoremediasi Dengan Wetland System Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*), Genjer (*Limnocharis Flava*), Dan Semanggi (*Marsilea Crenata*) Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi, 12(1), 38–45.* <https://doi.org/10.15408/kaunyah.v12i1.7792>
- Nawrot, N., Kowal, P., Wojciechowska, E., Pazdro, K., Walkusz-Miotk, J., Ciesielski, S., & Tack, F. M. G. (2024). *Impact Of Abiotic Stressors On Nutrient Removal And Rhizomicrobiome Composition In Floating Treatment Wetland With Equisetum hyemale. Science of The Total Environment, 946, 174468.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174468>
- Nopriani, U., Karti, P., & Prihantoro, I. (2015). *Productivity of duckweed (Lemna minor) as alternative forage feed for livestock in different light intensities.*

- Jurnal Ilmu Ternak Dan Veteriner*, 19(4), 272–286.
<https://doi.org/10.14334/jitv.v19i4.1095>
- Oginawati, K., Suharyanto, Susetyo, S. H., Sulung, G., Muhayatun, Chazanah, N., Dewi Kusumah, S. W., & Fahimah, N. (2022). *Investigation of Dermal Exposure to Heavy Metals (Cu, Zn, Ni, Al, Fe and Pb) in Traditional Batik Industry Workers*. *Heliyon*, 8(2).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08914>
- Oktaviani Laili. (2020). Tugas Akhir Fitoremediasi Logam Berat Seng (Zn) Dengan Memanfaatkan Tanaman Apu - Apu (*Pistia Stratiotes*) Menggunakan Sistem Batch.
- Operacz, A., Bigaj, A., Hap, K., & Kotowski, T. (2022). *The Effect of Sample Preparation and Measurement Techniques on Heavy Metals Concentrations in Soil: Case Study from Kraków, Poland, Europe*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042137>
- Ozyigit, I. I., Arda, L., Yalcin, B., Yalcin, I. E., Ucar, B., & Hocaoglu-Ozyigit, A. (2021). *Lemna minor, a Hyperaccumulator Shows Elevated Levels of Cd Accumulation and Genomic Template Stability in Binary Application of Cd and Ni: a Physiological and Genetic Approach*. *International Journal of Phytoremediation*, 23(12), 1255–1269.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1892586>
- Radić, S., Babić, M., Škobić, D., Roje, V., & Pevalek-Kozlina, B. (2010). *Ecotoxicological effects of aluminum and zinc on growth and antioxidants in Lemna minor L*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(3), 336–342.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.10.014>
- Ramli Oktarina. (2023). Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr 6+) Dengan Sistem Batch.
- Reza, G. N. (2014). *Reza, G. N. (2014)*. Studi Bioakumulasi Logam Berat (Pb, Cd, dan Hg) pada Tiram dari Perairan Pantai Selatan dan Utara Jawa Timur (Skripsi). Universitas Brawijaya, Malang.
- Rosyidah Fitri Nabila dan Rachmadiarti Firda. (2023). *Salvinia molesta sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Zink (Zn) di Perairan Salvinia molesta as Zinc (Zn) Heavy Metal Phytoremediation Agents in the Water*. 12, 430–438.
<https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index430>
- Salma, M. et al. (2021). *Accumulation of Iron, Zinc and Lead by Azolla pinnata and Lemna minor and activity in contaminated water*. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(9), 5017–5030.
<https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.50016.3036>
- Teknologi Lingkungan, J., Agung Priantoro, E., Suryaatmana, P., Sumiarsa, D., Saurmalinda Butar Butar, E., & Sembiring, T. (2025). Fitoremediasi Logam Berat Sistem Lahan Basah Terapung Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Chryzophogon zizanioides (L.) Roberty*) sebagai Hiperakumulator *Phytoremediation of Heavy Metals in Floating Wetland System using Vetiver (Chryzophogon zizanioides (L.) Roberty) as the Hyperaccumulator*. 26(1).

- Tran, I. T., Heiman, J. A., Lydy, V. R., & Kissoon, L. T. (2023). *Silver Inhibits Lemna minor Growth at High Initial Frond Densities*. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051104>
- Vibha, et al. (2024). *Sustainable Solutions for Textile Pollution: Evaluating Phytoremediation with Lemna minor, Spirodela polyrhiza, and Eichornia crassipes*. *International Journal of Plant and Environment*, 10(2), 238–245. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v10i02.11>
- Walsh, É., Coughlan, N. E., O'brien, S., Jansen, M. A. K., & Kuehnhold, H. (2021). *Density Dependence Influences The Efficacy Of Wastewater Remediation By Lemna Minor*. *Plants*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/plants10071366>
- Xuan, P. T. H., Amri, R., Bach, N. P., Irfan, M., Bog, M., Appenroth, K. J., Sree, K. S., Jansen, M. A. K., Szabó, S., Mészáros, I., & Oláh, V. (2025). *Lemna gibba Clones Show Differences in Phenotypic Responses to the Light Environment*. *Plants*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/plants14182840>
- Zhou, Y., S. A., K. O., X. J., & B. N. (2023). *Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water*. In *Plants* (Vol. 12, Number 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants12030589>
- Zulaikah Siti. (2023). Skripsi Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Oleh Tanaman *Hydrilla verticillata*.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A