

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI TANAMAN
FAMILI *Salviniaceae* TERHADAP PENURUNAN KONSENTRASI
TIMBAL (Pb) PADA LIMBAH *HOME INDUSTRY* BATIK DI SURABAYA**

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

HERLITA RIFQI PUSPITA

NIM 09020522029.

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 : Herlita Rifqi Puspita
NIM : 09020522029
Program Studi : Teknik Lingkungan
Angkatan : 2022

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul **“PERBANDINGAN EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI TANAMAN *Salvinia* TERHADAP PENURUNAN KONSENTRASI TIMBAL (Pb) PADA LIMBAH HOME INDUSTRY BATIK DI SURABAYA”**. 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



(HERLITA RIFQI PUSPITA)

NIM. 09020522029

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh:

Nama : Herlita Rifqi Puspita

NIM : 09020522029

Judul : Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Tanaman *Salviniaceae* Terhadap Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Limbah *Home Industry* Batik Di Surabaya

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Surabaya, 19 Juni 2026

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dedy Suprayogi, M.KI
NIP. 198512112014031002



Vera Arida, M.Sc
NIP. 19903192020122017

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas akhir oleh:

Nama: Herlita Rifqi Puspita


NIM: 09020522029

Judul: Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Tanaman Famili *Salviniaceae* terhadap Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb) pada Limbah *Home Industry* Batik di Surabaya.

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

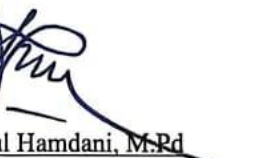
Penguji IV



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

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Sunan Ampel Surabaya




Dr. Aguscepul Hamdani, M.Pd
NIP. 196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Herlita Rifqi Puspita
NIM : 09020522029
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/ Teknik Lingkungan
E-mail address : herlitapusita@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 :

Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Tanaman *Salviniaceae* Terhadap Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Limbah *Home Industry* Batik Di Surabaya

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



(Herlita Rifqi Puspita)

ABSTRAK

Limbah cair industri batik mengandung logam berat timbal (Pb) yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan membandingkan efektivitas *Azolla pinnata*, *Azolla microphylla*, dan *Salvinia molesta* dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah home industry batik di Surabaya. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan sistem batch selama 12 hari dengan dua kali pengulangan pada setiap perlakuan. Konsentrasi Pb diukur menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) pada hari ke-0, 4, 8, dan 12. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh tanaman mampu menurunkan konsentrasi Pb secara signifikan. Pada hari ke-12, konsentrasi Pb menurun menjadi 0,00080 mg/L pada *Azolla pinnata*, 0,00095 mg/L pada *Azolla microphylla*, dan 0,00040 mg/L pada *Salvinia molesta*. Efisiensi removal *Salvinia molesta* sebesar 99,3%, *Azolla pinnata* sebesar 98,6% dan *Azolla microphylla* sebesar 96,3%. Hasil uji Kruskal–Wallis menunjukkan tidak terdapat perbedaan efektivitas yang signifikan antar ketiga spesies ($p > 0,05$). Dengan demikian, ketiga tanaman berpotensi digunakan untuk fitoremediasi Timbal (Pb) pada limbah cair batik.

Kata kunci: Fitoremediasi, Limbah Cair Batik, Tanaman *Salviniaceae*, Timbal (Pb)



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Batik wastewater contains lead (Pb), a heavy metal that can cause environmental pollution. This study aimed to compare the effectiveness of Azolla pinnata, Azolla microphylla, and Salvinia molesta in reducing Pb concentrations in wastewater from a home-based batik industry in Surabaya. An experimental batch system was conducted for 12 days with two replications for each treatment. Pb concentrations were measured using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) on days 0, 4, 8, and 12. The results showed that all plant species effectively reduced Pb concentrations. On day 12, Pb concentrations decreased to 0.00080 mg/L in Azolla pinnata, 0.00095 mg/L in Azolla microphylla, and 0.00040 mg/L in Salvinia molesta. The removal efficiency Salvinia molesta (99.3%), followed by Azolla pinnata (98.6%) and Azolla microphylla (96.3%). The Kruskal–Wallis test indicated no significant difference in effectiveness among the three species ($p>0.05$). Therefore, the third plant has the potential to be used for phytoremediation of lead (Pb) in batik wastewater.

Keyword: Batik Wastewater, Lead (Pb), Phytoremediation



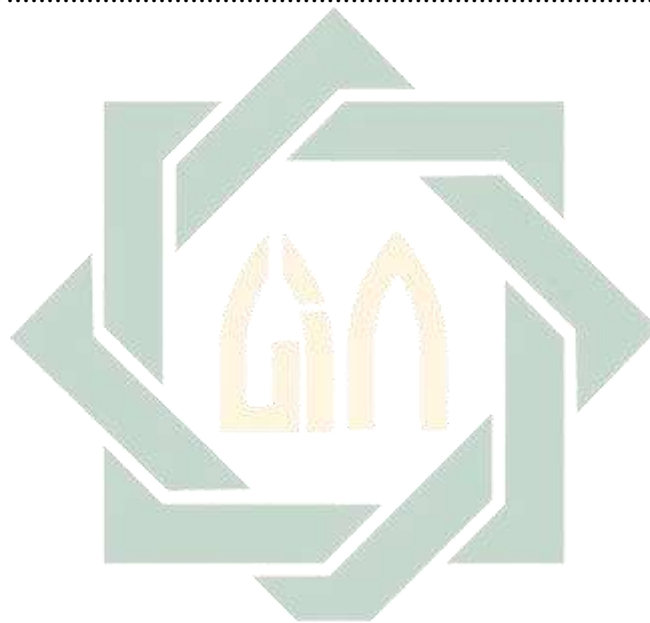
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

<i>COVER</i>	i
HALAMAN MOTTO	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I.....	xix
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Limbah Cair Batik	8
2.1.1 Sumber Limbah Batik.....	9
2.1.2 Karakteristik Limbah Batik	11
2.1.3 Dampak Limbah Batik terhadap Lingkungan.....	12
2.2 Logam Berat Timbal (Pb).....	13
2.2.1 Karakteristik dan Sifat Timbal (Pb).....	14
2.2.2 Toksisitas Logam Timbal	15
2.3 Metode Pengolahan Limbah.....	16
2.3.1 Pengolahan Limbah secara Fisika.....	16
2.3.2 Pengolahan Limbah secara Kimia	16
2.3.3 Pengolahan Limbah secara Biologi	17

2.4 Fitoremediasi	17
2.4.1 Definisi Fitoremediasi.....	17
2.4.2 Jenis Fitoremediasi	18
2.4.3 Faktor yang Memengaruhi Fitoremediasi.....	21
2.4.4 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi.....	22
2.4.5 Aklimatisasi	23
2.5 Reaktor Batch	23
2.6 Tanaman Famili <i>Salviniaceae</i>	24
2.6.1 Klasifikasi Tanaman	24
2.6.2 Morfologi Tanaman	25
2.7 Penelitian Terdahulu.....	28
2.8 Integrasi Keislaman.....	32
BAB III	35
METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Rancangan Penelitian	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3 Alat dan Bahan	36
3.3.1 Alat.....	36
3.3.2 Bahan.....	36
3.4 Variabel Penelitian	36
3.5 Tahapan Penelitian	37
3.5.1 Tahapan Persiapan Penelitian	38
3.5.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	39
3.5.3 Tahapan Pengambilan Data	45
3.6 Analisis Data	45
3.7 Hipotesis Penelitian	46
BAB IV	47
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Persiapan Penelitian	47
4.1.1 Aklimatisasi	47
4.1.2 Range Finding Test (RFT).....	48
4.2 Pelaksanaan Penelitian	51
4.2.1 pH.....	52
4.2.3 Suhu	54

4.2.3 Intensitas Cahaya	57
4.3 Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb)	59
4.4 Efisiensi Penurunan Timbal (Pb)	61
4.5 Perbedaan Efektivitas	67
BAB V.....	69
KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	79



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Fitoremediasi.....	18
Gambar 2. 2 Mekanisme Rhizofiltrasi.....	19
Gambar 2. 3 <i>Salvinia molesta</i>	25
Gambar 2. 4 <i>Azolla pinnata</i>	26
Gambar 2. 5 <i>Azolla microphylla</i>	27
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	37
Gambar 3. 2 Kerangka Pelaksanaan Penelitian	39
Gambar 3. 3 Reaktor kontrol	44
Gambar 3. 4 Reaktor a dan b tanaman <i>Salvinia molesta</i>	44
Gambar 3. 5 Reaktor c dan d tanaman <i>Azolla pinnata</i>	44
Gambar 3. 6 Reaktor e dan f tanaman <i>Azolla microphylla</i>	45
Gambar 4. 1 Grafik Morfologi RFT <i>Azolla pinnata</i>	48
Gambar 4. 2 Grafik Morfologi RFT <i>Azolla microphylla</i>	49
Gambar 4. 3 Grafik Morfologi RFT <i>Salvinia molesta</i>	50
Gambar 4. 4 Nilai pH saat Fitoremediasi	53
Gambar 4. 5 Grafik Suhu saat Fitoremediasi	56
Gambar 4. 6 Efisiensi Removal <i>Azolla pinnata</i>	62
Gambar 4. 7 Efisiensi Removal <i>Azolla microphylla</i>	62
Gambar 4. 8 Efisiensi Removal <i>Salvinia molesta</i>	63
Gambar 4. 9 Uji Normalitas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 10 Hasil Uji Kruskal Wallis.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanaman Famili Salviniaceae	24
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan Penelitian.....	43
Tabel 4. 1 Perbandingan Kondisi Optimum dan Kondisi Lingkungan	47
Tabel 4. 2 Nilai pH selama Proses Fitoremediasi.....	52
Tabel 4. 3 Suhu selama Fitoremediasi.....	55
Tabel 4. 4 Nilai Intensitas Cahaya.....	57
Tabel 4. 5 Perubahan Kadar Timbal (Pb).....	59
Tabel 4. 6 Efisiensi Removal.....	61
Tabel 4. 7 Perbandingan Efisiensi Removal.....	66



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian.....	79
Lampiran 2 Hasil Uji Limbah Batik.....	81
Lampiran 3 Hasil Turnitin Proposal.....	82
Lampiran 4 Turnitin Laporan Tugas Akhir.....	83
Lampiran 5 Sertifikat Uji Spesies <i>Azolla pinnata</i>	84
Lampiran 6 Sertifikat Uji Spesies <i>Azolla microphylla</i>	86
Lampiran 7 Sertifikat Uji Spesies <i>Salvinia molesta</i>	87
Lampiran 8 Morfologi Tahap Aklimatisasi.....	88
Lampiran 9 Morfologi Tahap RFT.....	93
Lampiran 10 Morfologi saat Fitoremediasi.....	104
Lampiran 11 Data Duplo.....	112
Lampiran 12 Hasil Uji Kadar Pb.....	114
Lampiran 13 Perhitungan Efisiensi Removal.....	118
Lampiran 14 Dokumentasi.....	121



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Abhayawardhana, M. L. D. D., Bandara, N. J. G. J., & Rupasinge, S. K. L. S. (2019). Removal of Heavy Metals and Nutrients from Municipal Wastewater using *Salvinia molesta* and *Lemna gibba*. *Journal of Tropical Forestry and Environment*, 9(2). <https://doi.org/10.31357/jtfe.v9i2.4469>
- Al-Mahbashi, N. M. Y., Kutty, S. R. M., Bilad, M. R., Huda, N., Kobun, R., Noor, A., Jagaba, A. H., Al-Nini, A., Ghaleb, A. A. S., & Al-dhawi, B. N. S. (2022). Bench-Scale Fixed-Bed Column Study for the Removal of Dye-Contaminated Effluent Using Sewage-Sludge-Based Biochar. *Sustainability*, 14(11), 6484. <https://doi.org/10.3390/su14116484>
- Anggraeni, E. P., Khoirunnisa, F., & Aktawan, A. (2023). Adsorption of Cu and Cd Metals in Batik Liquid Waste Using Adsorbents from Chicken Bone Waste: Penjerapan Logam Cu dan Cd pada Limbah Cair Batik Menggunakan Adsorben dari Limbah Tulang Ayam. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 4(1), 9–16. <https://doi.org/10.31001/jkireka.v4i1.60>
- Asih, D. W., & Rachmadiarti, F. (2019). *Azolla microphylla* sebagai Fitoremediator Logam Pb. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 8(1), 85–90.
- Astuti, D., Awang, N., Othman, M. S. B., 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>
- Ayu Kusumawardani, S. D., Kurnani, T. B. A., Astari, A. J., & Sunardi, S. (2024). Readiness in implementing green industry standard for SMEs: Case of Indonesia's batik industry. *Heliyon*, 10(16), e36045. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36045>
- Baroroh, F., Handayanto, E., & Irawanto, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *JTSL (Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan)*, 5(1), 789–100.
- Benguennouna, N., Benabdelmoumene, D., Dahmouni, S., Bengharbi, Z., Qadi, W. S. M., Hamezah, H. S., & Mediani, A. (2025). Eco-phytoremediation using *Azolla microphylla* enhances heavy metal removal, water quality, and biomass

- valorization in semi-arid wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 324, 101437. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101437>
- Berthouex, P. M., & Brown, L. C. (2002). *A CRC Press Company Boca Raton London New York Washington, D.C.*
- Dhameliya, K. B., & Ambasana, C. (2023). Assessment of Wastewater Contaminants Caused by Textile Industries. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 17(3), 1477–1485. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.3.09>
- Dharmaji, D., & Rahman, M. (2025). Effectiveness of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) dan Kiambang (*Salvinia molesta* D.S Mitchell) in Phytoremediation of Manganese (Mn) Heavy Metal Levels in Dug Well Sungai Ulin Housing Estate, North Banjarbaru District, South Kalimantan Province. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 15(1), 72–77.
- Diliarosta, S. (2018). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Kiambang (*Salvinia molesta*) pada Ambang Batas, Kualitas Air Irigasi. *SEMESTA: Journal of Science Education and Teaching*, 1(1), 29. <https://doi.org/10.24036/semesta/vol1-iss1/9>
- Faizal, F. (2024). *Pemanfaatan Tumbuhan Azolla microphylla sebagai Pakan Segar terhadap Efisiensi Pakan dan Kinerja Pertumbuhan Ikan Nila (Oroochromis niloticus)*.
- Fariha, N., Suprayogi, D., & Amrullah, A. (2023). Perbedaan Efisiensi Massa Tanaman Azolla Microphylla Terhadap Penurunan Logam Berat Cr⁶⁺ dengan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 31–40. <https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10989>
- Fatekhah, P. N., & Putro, R. K. H. (2025). Penurunan Kadar Pb Limbah Cair Laboratorium Klinik Menggunakan Fitoremediasi Dengan Penambahan Media Adsorpsi. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 16(2), 23–30.
- 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>

- Fatonah, S., Asih, D., Mulyanti, D., & Iriani, D. (2013). Penentuan Waktu Pembukaan Stomata Pada Gulma *Melastoma malabathricum* L. Di Perkebunan Gambir Kampar, Riau. *Biospecies*, 6(2). <https://doi.org/10.22437/biospecies.v6i2.886>
- Febrianti, C., Ulfah, M., & Kusumastuti, K. (2023). Pemanfaatan Ampas Kopi sebagai Bahan Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Limbah Industri Batik. *agriTECH*, 43(1), 1. <https://doi.org/10.22146/agritech.68014>
- Fletcher, J., Willby, N., Oliver, D. M., & Quilliam, R. S. (2020). Phytoremediation Using Aquatic Plants. In B. R. Shmaefsky (Ed.), *Phytoremediation* (pp. 205–260). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_7
- Gamal, Y., Soussa, H. K., El-Rakha, E. A., El-Shahat, R. M., & Fathy, S. (2026a). Assessment of *Azolla pinnata* for the removal of lead, ammonia, and phosphorus from drainage water: case study, Kitchener Drain. *Ain Shams Engineering Journal*, 17(1), 103874. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103874>
- Gamal, Y., Soussa, H. K., El-Rakha, E. A., El-Shahat, R. M., & Fathy, S. (2026b). Assessment of *Azolla pinnata* for the removal of lead, ammonia, and phosphorus from drainage water: case study, Kitchener Drain. *Ain Shams Engineering Journal*, 17(1), 103874. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103874>
- Gavrilescu, M. (2022). Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 74, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.10.024>
- George, G. T., & Gabriel, J. J. (2022). Phytoremediation of Heavy Metals from Municipal Waste Water by *Salvinia molesta* Mitchell. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 2(3), 108–115. <https://doi.org/10.21276/haya>
- Gupta, B. G., & Mukhopadhyay, R. (2025). Heavy metal contamination from textile wastewater and its health impacts: A case study from West Bengal with sustainable remediation approaches. *Scientific Reports*, 15(1), 29578. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13357-w>

- Hazaldi, J. (2025). *Penggunaan Melati Air (Echinodorus palaefolius) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair di Industri Batik terhadap Penurunan Logam Berat Timbal (Pb)*.
- Indah, M., & Utami, W. (2025a). Identifikasi Logam Berat pada Limbah Cair Batik Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 1(1).
- Indah, M., & Utami, W. (2025b). Identifikasi Logam Berat pada Limbah Cair Batik Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 1(1).
- Irawanto, R., & Prastiwi, E. A. (2019). Persepsi Penerapan Fitoremediasi melalui Taman Tematik Akuatik di Kebun Raya Purwodadi. *Proceeding Biology Education Conference*, 16(1), 229–234.
- Jamil, A., Darundiati, Y. H., & Dewanti, N. A. Y. (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. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: Toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99(1), 153–209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances*, 8, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>
- Kementerian Agama Republik Indonesia. (2022). Quran Kemenag. *Al-Baqarah*. <https://quran.kemenag.go.id/quran/per-ayat/surah/2?from=1&to=286>
- Kencana, E. M., & Radityaningrum, A. D. (2022). Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Dampak*, 19(2), 56–65. <https://doi.org/10.25077/dampak.19.2.56-65.2022>
- Kesmayanti, N. (2021). *Analisis Peran Azolla pinnata pada Pertumbuhan Vegetatif Beberapa Varietas Padi (Oryza sativa)*.
- Kintanijaya, K., Perwira, I. Y., & Wijayanti, N. P. P. (2021). Kapasitas Penyerapan Limbah Fosfat oleh Dua Tanaman Air yang Melimpah di Bali (*Eichornia*

- crassipes dan *Salvinia molesta*). *Bumi Lestari Journal of Environment*, 21(2), 43. <https://doi.org/10.24843/blje.2021.v21.i01.p05>
- Kumar, A., Kumar, A., M.M.S., C.-P., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D. K., Malyan, S. K., Kumar, S. S., A. Khan, S., & Yadav, K. K. (2020). Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2179. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Lestari, S. U., Roeswitawati, D., Syafrani, S., Maftuchah, M., & Purnama, I. (2024). Addressing Nitrogen-rich Biomass Production Challenges in *Azolla microphylla* Cultivation from Varying Shading and Water Depth Dynamics. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 47(3), 889–904. <https://doi.org/10.47836/pjtas.47.3.18>
- Lidiana, R., Suprayogi, D., & Nengse, S. (2022). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal pada Air Limbah Artifisial. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 8(1). <https://doi.org/10.20527/jukung.v8i1.13034>
- Lupitasari, D., & Kusumaningtyas, V. A. (2020). Pengaruh Cahaya dan Suhu Berdasarkan Karakter Fotosintesis *Ceratophyllum demersum* sebagai Agen Fitoremediasi. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i1.53>
- Mandakini, a L. U. (2016). A study on the Phytoremediation Potential of *Azolla pinnata* under laboratory conditions. *Journal of Tropical Forestry and Environment*, 6(1). <https://doi.org/10.31357/jtfe.v6i1.2626>
- Mansawan, L. B. S. (2016). *Fitoremediasi Logam Berat (Mn, Pb, Zn) dari Limbah Cair Laboratorium Kimia Universitas Kristen Satya Wacana oleh Kayu Apu Dadak (Azolla pinnata R.Br.) = Phytoremediation Of Heavy Metals (Mn, Pb, Zn) from Wastewater Chemical Laboratory Satya Wacana Christian University By Water Fern (Azolla pinnata R.Br.)*.
- Marzouk, S. H., Tindwa, H. J., Amuri, N. A., & Semoka, J. M. (2023). An overview of underutilized benefits derived from *Azolla* as a promising biofertilizer in

- lowland rice production. *Heliyon*, 9(1), e13040.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13040>
- Mistar, E. M., Hasmita, I., Aflah, N., & Aprita, I. R. (2023). Penurunan Konsentrasi Pb dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Jeringau (*Acorus calamus*). *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4901–4906.
- 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. *Discover Environment*, 4(1), 18.
<https://doi.org/10.1007/s44274-025-00466-6>
- Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021). Cultivation of *S. molesta* plants for phytoremediation of secondary treated domestic wastewater. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 2585–2592.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.11.028>
- Naghipour, D., Ashrafi, S. D., Gholamzadeh, M., Taghavi, K., & Naimi-Joubani, M. (2018a). Phytoremediation of heavy metals (Ni, Cd, Pb) by *Azolla filiculoides* from aqueous solution: A dataset. *Data in Brief*, 21, 1409–1414.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.111>
- Naghipour, D., Ashrafi, S. D., Gholamzadeh, M., Taghavi, K., & Naimi-Joubani, M. (2018b). Phytoremediation of heavy metals (Ni, Cd, Pb) by *Azolla* from aqueous solution: A dataset. *Data in Brief*, 21, 1409–1414.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.111>
- Nilamsari, D. D., & Rachmadiarti, F. (2019). Kemampuan *Azolla microphylla* dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) pada Konsentrasi yang Berbeda (Pt. 207-212). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 8(3).
<http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- 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), e08914.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08914>

- Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 75–84.
- Prakash, C. A., Akshara, R., Mathew, L. T., Joseph, C. P., & Sebastian, D. P. (2025). Impact of biostimulant and growth regulator signals on cadmium and lead phytoremediation by *Salvinia molesta* D. Mitch. *Discover Plants*, 2(1), 263. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00351-9>
- Putri, Y. P., Fitriyanti, R., & Emilia, I. (2019). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Udang Putih (*Penaeus merguensis*) sebagai Kontribusi Perhitungan Ocean Health Index (OHI). *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 8(2), 58. <https://doi.org/10.35580/sainsmat82107202019>
- Raissa, D. G., & Tangahu, B. V. (2017). Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu (*Pistia stratiotes*). *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F233–F237. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25092>
- Ramadhani, N. S., & Juswardi, J. (2022). Efektivitas Kombinasi Vegetasi *Salvinia molesta* Mitchell DAN *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms dalam Fitoremediasi Logam Berat PB Limbah Cair Kain Jumputan. *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek)*, 354–361.
- Ramadhani, Sitorus, R. J., Muslimin, M., Putri, R. N., & Ernia, R. (2023). Analisis Pengaruh Tanaman Melati Air sebagai Fitoremediasi dalam Mengatasi Pencemaran Air Limpasan Stockpile Batubara. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(2), 2050. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v23i2.3209>
- Rohaeti, E., Widyanto, A., Tafrikhatin, A., & Stiyawan, A. (2025). Pollution Load Assessment Of Batik Industry Wastewater Using Key Water Quality Parameters. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(8).
- Rosyidah, N. F., & Rachmadiarti, F. (2023). *Salvinia molesta* sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Zink (Zn) di Perairan. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 430–438. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n3.p430-438>
- Salma, S. U., & Naik, A. R. (2024). Phytoremediation Ability of Aquatic Fern (*Azollapinnata*) in Lead and Zinc. *Journal of Aquatic Pollution and Toxicology*, 08(03). <https://doi.org/10.36648/2581-804X.8.3.21>

- Saputri, A., Muhammad Suwignyo Prayogo, & Faiqotun Ni'mah. (2025). Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (*Amaranthus Sp.*). *Flora : Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(2), 01–13. <https://doi.org/10.62951/flora.v2i2.312>
- Siregar, A. P., Raya, A. B., Nugroho, A. D., Indana, F., Prasada, I. M. Y., Andiani, R., Simbolon, T. G. Y., & Kinasih, A. T. (2020). Upaya Pengembangan Industri Batik di Indonesia. *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 37(1). <https://doi.org/10.22322/dkb.v37i1.5945>
- Siswoyo, E., Kasam, I., & Abdullah, L. M. S. (2011). Penurunan Logam Timbal (Pb) pada Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), 73–79. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol3.iss1.art6>
- Sitarska, M., Traczewska, T., Filarowska, W., Hołtra, A., Zamorska-Wojdyła, D., & Hanus-Lorenz, B. (2023). Phytoremediation of mercury from water by monocultures and mixed cultures pleustophytes. *Journal of Water Process Engineering*, 52, 103529. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103529>
- Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *EKSPLORIUM*, 41(2), 139. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092>
- Souisa, G. V., & Janwarin, L. M. (2018). Kualitas Sumur Gali di Dusun Wahakaim. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 2(4), 612–621. <https://doi.org/10.15294/higeia.v2i4.23632>
- Sudjana, B. (2014). Penggunaan Azolla untuk Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Solusi*, 1(2), 72–81.
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Sulaiman, A., Nilandita, W., & Suprayogi, D. (2023). Fitoremediasi Memanfaatkan Tanaman Coontail untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) menggunakan

- Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10190>
- Suraya, U. (2020). Inventarisasi Dan Identifikasi Tumbuhan Air di Danau Hanjalutung Kota Palangka Raya. *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, 6(2), 149–159. <https://doi.org/10.33084/daun.v6i2.1261>
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011(1), 939161. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
- Uddin, F. (2021). Environmental hazard in textile dyeing wastewater from local textile industry. *Cellulose*, 28(17), 10715–10739. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04228-4>
- Wafiq, M., & Munfarida, I. (2023). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Myriophyllum aquaticum* dengan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 51. <https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10210>
- Wirman, R. P., Dewata, I., -, H., & Isnaini, V. A. (2023). Potential Uses of Submerged Aquatic Plants and Bacteria in the Development of Water Treatment Equipment. *Water Conservation & Management*, 8(1), 31–36. <https://doi.org/10.26480/wcm.01.2024.31.36>
- Wuran, V., Febriani, H., & Subagiyono, S. (2018). Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) terhadap Penurunan Kadar Phospat pada Air Limbah Usaha Binatu. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*, 4(3), 42. <https://doi.org/10.29406/jkkm.v5i2.1566>
- Yanti, E. F., & Laili, Z. (2023). Analisis Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Body Lotion Yang Beredar di Pasar Jember. *Journal of Islamic Pharmacy*, 7(2), 94–99. <https://doi.org/10.18860/jip.v7i2.17448>
- Zakaria, N., Rohani, R., Wan Mohtar, W. H. M., Purwadi, R., Sumampouw, G. A., & Indarto, A. (2023). Batik Effluent Treatment and Decolorization—A Review. *Water*, 15(7), 1339. <https://doi.org/10.3390/w15071339>
- Zurba, N., Edwarsyah, Astuti, R., Munandar, R. A., & Gunandar, J. (2023). *Buku Ajar Ilmu Tumbuhan Air dan Makroalga*. EUREKA MEDIA AKSARA.