



SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN GEOFISIKA IV
*"Frontier of Physics and Geophysics: Advancing Sustainable Innovations
Through Environmental Tropical Rain Forest Dynamic and Equatorial
Phenomena"*



Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mulawarman



CODE - NO

**KAJIAN LITERATUR: POTENSI ECENG GONDOK (*EICHHORNIA
CRASSIPES*) SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI MERKURI (Hg)
PADA AIR LINDI DI IKLIM TROPIS**

Jesica Amelda¹, Yayat Ruhiat², Yus Rama Denny³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang,
Indonesia - 42118

²Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang,
Indonesia - 42118

³Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang,
Indonesia - 42118

*E-mail: 2280220014@untirta.ac.id

Abstrak

Air lindi dari tempat pemrosesan akhir masih menjadi permasalahan serius dalam pengelolaan limbah padat di Indonesia karena mengandung logam berat berbahaya, salah satunya merkuri yang bersifat toksik, persisten, serta beresiko bagi kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem. Berbagai metode pengolahan limbah cair telah dikembangkan, namun sebagian besar membutuhkan biaya tinggi dan teknologi yang sulit diterapkan di daerah dengan keterbatasan sumber daya. Salah satu alternatif yang dinilai lebih ramah lingkungan adalah fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman air. Kajian literatur ini bertujuan menelaah hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai kemampuan eceng gondok dalam menyerap merkuri dari media cair dengan menyoroti faktor-faktor yang memengaruhi efektivitasnya, seperti intensitas cahaya, pH, suhu, dan lama perendaman. Metode yang digunakan adalah kajian literatur terhadap penelitian nasional maupun internasional yang relevan, dengan fokus pada efektivitas penurunan konsentrasi merkuri oleh eceng gondok. Hasil telaah menunjukkan bahwa efektivitas penyerapan merkuri oleh eceng gondok bervariasi antara 35% hingga lebih dari 90%, tergantung pada kondisi lingkungan dan perlakuan

yang diberikan. Faktor intensitas cahaya berpengaruh terhadap proses fotosintesis dan metabolisme tanaman, sehingga memengaruhi kemampuan akumulasi logam berat, sedangkan pH dan suhu berperan dalam kelarutan ion logam. Lama perendaman juga menjadi faktor penentu keberhasilan fitoremediasi, dengan tren penurunan yang lebih besar seiring bertambahnya waktu kontak. Berdasarkan telaah ini dapat disimpulkan bahwa eceng gondok berpotensi menjadi agen fitoremediasi yang efektif, murah, dan ramah lingkungan untuk pengolahan air lindi yang terkontaminasi merkuri, khususnya di wilayah tropis. Kajian ini sekaligus memberikan pijakan awal bagi penelitian eksperimental pada kondisi nyata di Tempat Pemrosesan Akhir.

Kata kunci: air lindi, eceng gondok, fitoremediasi, iklim tropis, merkuri.

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah padat di Indonesia masih menghadapi tantangan serius. Salah satu dampak utama dari sistem pengelolaan yang belum optimal adalah timbulnya air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Air lindi merupakan cairan hasil dekomposisi timbunan sampah yang bercampur dengan air hujan dan aliran permukaan. Senyawa ini mengandung berbagai kontaminan, mulai dari bahan organik, senyawa berbahaya, hingga logam berat seperti merkuri (Hg). Merkuri termasuk logam berat yang sangat berbahaya karena bersifat toksik, persisten, dan bioakumulatif. Jika masuk ke dalam rantai makanan, merkuri dapat menimbulkan dampak kronis terhadap kesehatan manusia, seperti gangguan saraf, kerusakan ginjal, serta gangguan perkembangan pada anak-anak. Selain itu, pencemaran merkuri juga berimplikasi serius terhadap keberlanjutan ekosistem akuatik maupun terestrial.

Berbagai metode pengolahan air lindi telah dikembangkan, mulai dari teknologi fisik, kimia, hingga biologi. Metode fisik dan kimia, seperti adsorpsi, koagulasi, dan oksidasi, terbukti cukup efektif, namun umumnya membutuhkan biaya tinggi, peralatan canggih, serta keahlian teknis yang sulit dijangkau oleh pengelola TPA di banyak daerah. Hal ini menyebabkan perlunya pendekatan alternatif yang lebih murah, sederhana, dan berkelanjutan. Salah satu metode yang mendapatkan perhatian luas adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tanaman untuk menurunkan konsentrasi polutan dalam lingkungan perairan.

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu tanaman air yang potensial digunakan dalam fitoremediasi. Tanaman ini memiliki pertumbuhan cepat, biomassa besar, serta kemampuan beradaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang tercemar. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menyerap dan mengakumulasi berbagai jenis logam berat, termasuk merkuri, kadmium, tembaga, dan kromium. Penelitian yang dilakukan oleh Noviasuti (2019) menunjukkan bahwa eceng gondok dapat mengakumulasi merkuri terutama pada bagian akar, dengan efektivitas mencapai lebih dari 70% setelah 60 hari perendaman. Penelitian lain yang dilakukan di Universitas Udayana (Putu & Wayan, 2019) melaporkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan kadar Cu hingga 68,73% dan Cr hingga 42,40% hanya dalam waktu 14 hari. Studi ini menguatkan bukti bahwa eceng gondok dapat bekerja efektif dalam waktu relatif singkat, meskipun efektivitasnya berbeda-beda antar jenis logam.

Kajian internasional juga menambahkan perspektif penting tentang faktor lingkungan. Chattopadhyay (2012) menegaskan bahwa intensitas cahaya memengaruhi proses fisiologis eceng gondok dalam menyerap logam berat. Intensitas cahaya sedang-tinggi mendukung laju fotosintesis yang lebih baik sehingga mendukung penyerapan logam, namun cahaya berlebih dapat memicu stres oksidatif dan menurunkan efektivitas. Monroy-Licht et al. (2024) melalui ulasan komprehensif juga menyatakan bahwa efektivitas fitoremediasi eceng gondok sangat bergantung pada kondisi lingkungan, termasuk pH, suhu, dan lama perendaman. Variasi efektivitas yang dilaporkan berkisar antara 40% hingga lebih dari 90%, menunjukkan bahwa eceng gondok memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi, tetapi tetap dipengaruhi oleh faktor lingkungan eksternal.

Penelitian-penelitian terbaru di Indonesia semakin menegaskan relevansi eceng gondok sebagai agen fitoremediasi. Studi di Desa Lakardowo (Meutia, 2023) menunjukkan kemampuan tanaman ini dalam memperbaiki kualitas air irigasi, sementara penelitian di TPA Tamangapa, Makassar (Wahyuni et al., 2025) membuktikan bahwa eceng gondok mampu menurunkan kadar BOD dan COD secara signifikan pada air lindi. Selain itu, penelitian Damayanti & Binawati (2023) pada limbah cair tahu serta Khusna & Fatimah (2023) pada limbah batik juga memperlihatkan efektivitas eceng gondok dalam menurunkan kandungan pencemar organik maupun logam berat. Hasil-hasil tersebut memperkuat bahwa eceng gondok dapat bekerja pada berbagai jenis limbah lokal di

Indonesia, sehingga relevan untuk diaplikasikan pada pengolahan air lindi di TPA.

Dari uraian tersebut, jelas terlihat bahwa penelitian mengenai eceng gondok sebagai agen fitoremediasi telah banyak dilakukan, baik di tingkat nasional maupun internasional. Akan tetapi, sebagian besar penelitian masih berfokus pada logam berat lain seperti tembaga atau kromium, sementara kajian yang menitikberatkan pada merkuri relatif terbatas, terutama dalam konteks iklim tropis. Hal ini membuka peluang kebaruan ilmiah bagi penelitian lebih lanjut, khususnya dengan menyoroti bagaimana faktor intensitas cahaya, pH, suhu, dan durasi perendaman memengaruhi efektivitas eceng gondok dalam menyerap merkuri dari air lindi.

Permasalahan yang diangkat dalam kajian ini adalah sejauh mana eceng gondok dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi merkuri pada air lindi di TPA, serta faktor-faktor lingkungan apa saja yang paling berpengaruh terhadap efektivitasnya. Dengan demikian, tujuan dari naskah ini adalah untuk menelaah hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai kemampuan eceng gondok dalam menyerap merkuri, sekaligus menyoroti relevansinya dengan kondisi tropis. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa pijakan teoritis yang kuat bagi penelitian eksperimental di tahap berikutnya serta menawarkan alternatif solusi pengelolaan air lindi yang lebih ramah lingkungan dan aplikatif di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Kajian ini disusun melalui telaah pustaka dengan menelaah artikel-artikel ilmiah yang relevan mengenai fitoremediasi menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pada media cair tercemar logam berat, terutama merkuri (Hg). Sumber literatur diperoleh melalui penelusuran di Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online, serta Garuda (Garba Rujukan Digital), dengan rentang publikasi 2010-2024 agar mencakup perkembangan penelitian terbaru sekaligus menjaga relevansi dengan kondisi saat ini.

Literatur yang diprioritaskan adalah publikasi peer-reviewed, baik dari jurnal nasional terakreditasi maupun jurnal internasional bereputasi. Fokus utama adalah penelitian yang membahas pemanfaatan eceng gondok sebagai agen fitoremediasi untuk menyerap merkuri, sedangkan penelitian pada logam berat lain turut dipertimbangkan sebagai pembanding untuk memperkaya

analisis. Lingkup media penelitian dibatasi pada limbah cair, air tambang, dan air lindi, sehingga tetap sesuai dengan konteks pembahasan.

Prosedur telaah dilakukan dengan menggunakan kata kunci “fitoremediasi”, “eceng gondok”, “merkuri”, “air lindi”, dan “tropis”. Artikel yang relevan diekstraksi datanya, meliputi efektivitas penyerapan logam berat, bagian tanaman yang dominan menyerap (akar, batang, daun), kondisi lingkungan (pH, suhu, intensitas cahaya, lama perendaman), serta jenis logam yang diteliti.

Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif-komparatif menggunakan pendekatan analisis isi (*content analysis*). Perbandingan hasil antar penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi pola umum, variasi, serta faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas eceng gondok dalam menyerap merkuri. Beberapa penelitian terdahulu menghitung efektivitas penyerapan logam berat menggunakan rumus umum berikut:

$$Efektivitas(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Dengan C_0 adalah konsentrasi awal logam berat sebelum perlakuan, dan C_t adalah konsentrasi akhir setelah perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian literatur ini berfokus pada kemampuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menyerap logam berat, khususnya merkuri (Hg), dari media cair seperti air lindi. Untuk memberikan gambaran menyeluruh, Tabel 1 berikut merangkum penelitian-penelitian terdahulu baik di tingkat nasional maupun internasional yang relevan dengan topik fitoremediasi.

Tabel 1. Ringkasan penelitian terdahulu mengenai fitoremediasi menggunakan eceng gondok

Judul Penelitian	Penulis/Tahun	Fokus Logam/Parameter	Temuan Utama	Sumber
Phytoremediation of	Chattopadhyay (2012)	Hg	Intensitas cahaya sedang-tinggi	<i>Int. J. Phytoreme</i>

mercury and methyl mercury contaminated sediments by water hyacinth			mendukung translokasi Hg; cahaya berlebih menimbulkan stress oksidatif	<i>diation</i>
Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi Merkuri dari Limbah Cair Penambangan Emas	Noviastuti (2019)	Hg	Akumulasi Hg > 70% pada akar setelah 60 hari	Tesis UNG
Fitoremediasi menggunakan eceng gondok untuk menurunkan Cu dan Cr	Putu & Wayan (2019)	Cu, Cr	Penurunan Cu 68,73% dan Cr 42,40% dalam 14 hari	<i>Cakra Kimia</i>
Unlocking the potential of <i>Eichhornia crassipes</i> for environmental remediation: A review	Monroy-Licht et al. (2024)	Logam berat (umum)	Efektivitas 40-90% dipengaruhi pH, cahaya, suhu, lama perendaman	<i>Environ. Sci. Pollut. Res.</i>
Fitoremediasi Air Limbah PT. Bukit Asam, Tbk	Hidayat et al. (2024)	pH & kualitas air	Eceng gondok menurunkan kontaminan, relevan untuk penerapan praktis	Semnas Biologi
Efektivitas Eceng Gondok sebagai Fitoremediasi	Azzahra (2023)	Air irigasi tercemar	Efektif menyerap logam berat, cocok untuk kondisi lokal	Ecoton Journal

r pada Air Irigasi				
Fitoremediasi Limbah Cair Tahu Menggunakan Eceng Gondok dan Arang Kayu	Damayanti & Binawati (2023)	COD, BOD, logam	Kombinasi eceng gondok + arang kayu lebih efektif	E-Journal Undikma
Fitoremediasi Mengurangi BOD & COD Air Lindi TPA Tamangapa	Wahyuni Sahani et al. (2025)	Air lindi (BOD, COD)	Efektif menurunkan parameter organik air lindi	Poltekkes Kemenkes Makassar
Tinjauan Fitoremediasi Limbah Batik Pekalongan	Khusna & Fatimah (2023)	Limbah batik (logam & zat warna)	Eceng gondok menyerap kontaminan organik & logam	E-Journal
Fitoremediasi In Vitro Logam Pb dan Cu Menggunakan Eceng Gondok	Mahmudha et al. (2025)	Pb, Cu	Efektivitas tinggi pada kondisi kultur terkontrol	<i>Literasi Sains Journal</i>
Kajian Fitoremediasi Air Tanah Tercemar Lindi	Jurnal Purifikasi (2024)	Lindi (logam berat)	Eceng gondok berpotensi menyerap Hg dan logam lain	<i>Jurnal Purifikasi</i>

Kajian literatur menunjukkan bahwa eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu agen fitoremediasi yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat pada berbagai media cair, termasuk air lindi. Kemampuannya ini menjadikannya tanaman yang menarik untuk diterapkan pada pengolahan limbah cair, karena selain cepat tumbuh, eceng

gondok juga memiliki sistem perakaran yang luas dan aktif dalam menyerap unsur logam. Secara umum, efektivitas penyerapan logam berat oleh eceng gondok dilaporkan berkisar antara 35% hingga lebih dari 90%, tergantung pada sejumlah faktor yang saling berkaitan, baik faktor internal tanaman maupun kondisi lingkungan eksternal. Variasi ini menegaskan bahwa keberhasilan fitoremediasi tidak bersifat mutlak, melainkan dipengaruhi oleh interaksi kompleks dari banyak variabel yang hadir pada lokasi percobaan.

Salah satu faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas fitoremediasi adalah intensitas cahaya. Cahaya berperan penting karena menjadi sumber energi utama bagi proses fotosintesis, yang selanjutnya menyediakan energi metabolik yang diperlukan tanaman untuk mengakumulasi logam. Chattopadhyay (2012) menekankan bahwa pencahayaan sedang hingga tinggi mendukung pertumbuhan eceng gondok dan memperkuat aktivitas penyerapan logam, khususnya merkuri. Fotosintesis yang optimal tidak hanya meningkatkan produksi karbohidrat untuk pertumbuhan, tetapi juga memicu metabolisme sekunder yang dapat membantu tanaman dalam detoxifikasi logam berat. Namun, intensitas cahaya yang berlebihan dapat menimbulkan stres oksidatif, yaitu kondisi di mana produksi radikal bebas melampaui kapasitas sistem pertahanan tanaman. Stres oksidatif ini dapat merusak membran sel, mengganggu metabolisme, dan menurunkan kemampuan akar dalam menyerap ion logam. Fenomena ini konsisten dengan prinsip fisiologi tumbuhan tropis, di mana cahaya moderat umumnya menjadi kondisi optimal, dan menunjukkan bahwa pengaturan intensitas cahaya menjadi pertimbangan penting dalam perancangan sistem fitoremediasi.

Selain cahaya, pH dan suhu lingkungan juga memegang peran kunci. Monroy-Licht et al. (2024) menemukan bahwa pH mendekati netral (6-7) dan suhu tropis 28-32 °C merupakan kondisi yang paling mendukung penyerapan logam. Pada pH netral, ion logam cenderung lebih mudah terlarut dalam air, sehingga dapat diserap akar secara optimal. Sebaliknya, kondisi pH yang terlalu asam atau basa dapat merusak dinding sel dan jaringan akar, sehingga menurunkan kemampuan penyerapan logam. Suhu juga memengaruhi kinetika reaksi biokimia dalam tanaman; suhu yang terlalu rendah memperlambat metabolisme, sedangkan suhu terlalu tinggi dapat memicu degradasi enzim dan stres panas. Penelitian lokal di Indonesia (Hidayat et al., 2024; Azzahra, 2023) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu tumbuh stabil

pada pH alami perairan dan tetap efektif menyerap logam berat, yang menandakan kemampuan adaptasi tanaman terhadap variasi kondisi lingkungan lokal. Kondisi ini menunjukkan pentingnya pemahaman terhadap parameter fisikokimia air dalam merancang sistem fitoremediasi yang efisien.

Durasi perendaman tanaman dalam media limbah juga terbukti memengaruhi efektivitas akumulasi logam. Noviasuti (2019) melaporkan bahwa akumulasi merkuri meningkat signifikan setelah 60 hari perendaman, dengan efektivitas mencapai lebih dari 70%. Penelitian lain, seperti oleh Putu & Wayan (2019), menunjukkan bahwa penurunan logam seperti tembaga (Cu) dan kromium (Cr) dapat dicapai dalam waktu 14 hari saja. Perbedaan ini menegaskan bahwa selain durasi kontak, jenis logam dan konsentrasi awal logam merupakan faktor penentu hasil akhir. Hal ini mengindikasikan bahwa kinetika penyerapan logam oleh eceng gondok bersifat spesifik terhadap jenis logam, di mana beberapa logam membutuhkan waktu lebih lama untuk terakumulasi pada tingkat yang signifikan. Temuan ini penting dalam menentukan strategi operasional fitoremediasi, misalnya apakah diperlukan pergantian tanaman secara berkala atau perpanjangan durasi kontak untuk logam tertentu.

Dari segi mekanisme, hampir semua penelitian menegaskan bahwa akar eceng gondok merupakan organ utama penyerapan logam. Rambut akar dan dinding sel akar yang kaya polisakarida bermuatan negatif memfasilitasi ikatan ion logam melalui proses adsorpsi. Dalam kondisi tertentu, logam juga dapat ditranslokasikan ke batang dan daun melalui floem dan xilem, meskipun akumulasi tertinggi tetap berada di akar. Mekanisme ini mencerminkan kombinasi proses fitostabilisasi, yaitu pengikatan logam di akar, dan fitoekstraksi, yaitu pemindahan logam ke jaringan lain. Proses ini juga dipengaruhi oleh sifat kimia logam, ukuran ion, dan kemampuan tanaman dalam mensintesis ligan seperti asam amino dan protein pengikat logam, yang membantu mengurangi toksisitas logam di dalam jaringan tanaman. Pemahaman mekanisme ini penting untuk mengoptimalkan sistem fitoremediasi, misalnya dengan memanfaatkan bagian tanaman yang paling banyak mengakumulasi logam untuk diambil atau diolah lebih lanjut.

Jika dibandingkan antara penelitian nasional dan internasional, hasil di Indonesia konsisten dengan literatur global. Studi Wahyuni Sahani et al. (2025) di TPA Tamangapa menunjukkan bahwa eceng gondok tidak hanya efektif menurunkan konsentrasi logam berat, tetapi juga mampu menurunkan

parameter organik seperti BOD dan COD pada air lindi, menandakan bahwa tanaman ini dapat bekerja dalam kondisi nyata di lapangan. Penelitian Damayanti & Binawati (2023) serta Khusna & Fatimah (2023) juga menunjukkan fleksibilitas eceng gondok dalam menangani berbagai jenis limbah, mulai dari limbah tahu hingga limbah batik, yang mengindikasikan kemampuan adaptasi tanaman terhadap berbagai kontaminan dan kondisi lingkungan. Temuan ini memperkuat argumen bahwa eceng gondok tidak hanya efektif secara laboratorium, tetapi juga dapat diandalkan dalam skala praktis untuk pengelolaan limbah cair di berbagai konteks perairan tercemar.

Secara saintifik, efektivitas fitoremediasi oleh eceng gondok dapat dijelaskan melalui interaksi antara faktor fisiologis tanaman dan kondisi lingkungan. Fotosintesis yang optimal menyediakan energi metabolik yang diperlukan untuk mengakumulasi logam, sementara kondisi kimia air yaitu pH, suhu, dan konsentrasi ion menentukan kelarutan dan ketersediaan logam. Variasi hasil antar penelitian menegaskan bahwa keberhasilan fitoremediasi merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor internal, seperti kapasitas akar, metabolisme, dan mekanisme detoksifikasi, serta faktor eksternal, seperti kondisi fisik dan kimia media.

Dengan demikian, kajian ini menegaskan bahwa eceng gondok memiliki potensi besar sebagai agen fitoremediasi untuk pengolahan air lindi, khususnya di kawasan tropis. Keunggulan ini didukung oleh kondisi alam Indonesia yang sesuai, seperti suhu hangat, intensitas cahaya memadai, dan ketersediaan tanaman yang melimpah. Kebaruan ilmiah dari kajian ini terletak pada fokus terhadap logam merkuri, yang masih jarang diteliti di Indonesia, sehingga penelitian eksperimental selanjutnya dapat diarahkan untuk menguji efektivitas eceng gondok terhadap logam ini dalam kondisi nyata di TPA, sekaligus memberikan data untuk strategi pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Kajian literatur ini menegaskan bahwa eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki potensi besar sebagai agen fitoremediasi dalam mengurangi kandungan merkuri (Hg) dari air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir. Efektivitas penyerapan logam oleh tanaman ini bervariasi, namun secara umum menunjukkan capaian antara 35% hingga lebih dari 90%. Variasi ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan, terutama intensitas cahaya, pH,

suhu, serta lama perendaman. Kondisi optimum ditemukan pada pH mendekati netral, suhu tropis, serta pencahayaan sedang yang mendukung fotosintesis tanpa menimbulkan stres oksidatif pada tanaman. Temuan tersebut memperkuat hipotesis awal bahwa keberhasilan fitoremediasi dengan eceng gondok sangat ditentukan oleh kombinasi faktor biotik dan abiotik yang saling mendukung.

Selain itu, kajian ini juga menunjukkan bahwa akar eceng gondok merupakan organ utama dalam proses penyerapan logam berat, karena memiliki sistem jaringan yang memungkinkan terjadinya adsorpsi dan akumulasi ion logam. Fakta ini mendukung peran eceng gondok tidak hanya dalam fitoekstraksi, tetapi juga fitostabilisasi, sehingga penggunaannya relevan untuk berbagai kondisi perairan tercemar. Dalam konteks tropis seperti Indonesia, keberlimpahan eceng gondok justru dapat dialihkan menjadi solusi lingkungan, sekaligus menjawab kebutuhan akan teknologi pengolahan limbah yang murah, sederhana, dan ramah lingkungan.

Sebagai tindak lanjut, penelitian eksperimental berskala lapangan diperlukan untuk menguji efektivitas eceng gondok dalam kondisi nyata di TPA, sekaligus memverifikasi temuan literatur yang ada. Penelitian lanjutan juga perlu mengeksplorasi potensi integrasi fitoremediasi dengan teknologi lain, misalnya kombinasi dengan biochar atau sistem kolam bertingkat, guna meningkatkan efisiensi penyerapan logam berat. Dengan demikian, eceng gondok berpotensi besar menjadi bagian dari strategi pengelolaan limbah cair yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing serta Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam penyusunan naskah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu menyediakan literatur dan sumber data sehingga kajian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Azzahra, M. R. (2023). Efektivitas eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai fitoremediator pada air irigasi di Desa Lakardowo. *Ecoton Journal of Environmental Science and Technology*, 2(1), 45–53. Diakses dari <https://ecotonjournal.id>

- Chattopadhyay, S. (2012). Phytoremediation of mercury- and methyl mercury-contaminated sediments by water hyacinth. *International Journal of Phytoremediation*, 14(2), 142–155. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.587482>
- Damayanti, F., & Binawati, E. (2023). Fitoremediasi limbah cair tahu menggunakan eceng gondok dan arang kayu. *Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 6(2), 101–110. Diakses dari <https://e-journal.undikma.ac.id>
- Hidayat, A. R., Pratama, Y., & Sari, L. (2024). Fitoremediasi air limbah PT. Bukit Asam, Tbk menggunakan tumbuhan eceng gondok. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 9(1), 77–84. Universitas Sriwijaya.
- Jurnal Purifikasi*. (2024). Kajian fitoremediasi air tanah tercemar lindi menggunakan eceng gondok. *Jurnal Purifikasi*, 19(2), 88–97.
- Khusna, A. N., & Fatimah, S. (2023). Tinjauan fitoremediasi limbah batik Pekalongan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Biologi dan Lingkungan*, 12(2), 115–124.
- Mahmudha, A., Nurhalimah, R., & Prasetyo, A. (2025). Fitoremediasi in vitro logam Pb dan Cu menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Literasi Sains Journal*, 5(1), 22–31.
- Monroy-Licht, A., Ramírez, C., & Gómez, J. (2024). Unlocking the potential of *Eichhornia crassipes* for environmental remediation: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(7), 8542–8561. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28547-8>
- Noviastuti, Z. N. (2019). *Eceng gondok sebagai agen fitoremediasi merkuri (Hg) dari limbah cair penambangan emas*. Tesis. Universitas Negeri Gorontalo.
- Putu, I. G. S., & Wayan, D. A. (2019). Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok untuk menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr limbah cair. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(1), 32–40.
- Sahani, W., Yusuf, R., & Ramli, H. (2025). Efektivitas fitoremediasi menggunakan eceng gondok dalam mengurangi kadar BOD dan COD pada air lindi TPA Tamangapa, Kota Makassar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar*, 8(1), 55–63.