

Overview Metode Fitoremediasi Terhadap Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Menggunakan Jenis Tumbuhan Air

Fitra Kurniawan¹, Tedy Agung Cahyadi², Rika Ernawati², Waterman SB², Nur Ali Amri²

¹ Mahasiswa Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

² Dosen Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Korespondensi: fitrakrn17@gmail.com

ABSTRAK

Kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan masalah serius bagi kesehatan masyarakat yang berdampak pada keberlanjutan dan kelangsungan hidup manusia. Akibatnya, kontaminasi air logam berat mengakibatkan banyak penyakit pada manusia seperti penyakit karsinogenitas dan penyakit lainnya. Untuk mengatasi masalah ini, ada sejumlah besar teknologi baru dalam mengatasi pencemaran logam berat di air. Fitoremediasi dengan tumbuhan air untuk menghilangkan kontaminasi logam berat, fitoremediasi telah banyak digunakan untuk memulihkan polusi di air. Tujuan dari penelitian ini memberikan informasi umum tentang fitoremediasi dan penggunaan tumbuhan air untuk fitoremediasi logam berat dari lingkungan. Dengan membahas ilmu terapan dan teknik lingkungan untuk menghasilkan yang berkelanjutan untuk meningkatkan kualitas air. Penelitian ini menunjukkan efektivitas dari jenis tumbuhan air dan membandingkan proses penyerapan logam berat pada konsentrasi yang berbeda. Berdasarkan studi literatur, ada berbagai jenis tumbuhan air dengan kemampuan fitoremediasi yang efisien dan perlu dipelajari dari perspektif berbeda untuk menjadikan fitoremediasi air yang terkontaminasi sebagai metode ramah lingkungan.

Kata Kunci : Logam Berat, Air Kontaminasi, Fitoremediasi, Tumbuhan Air

ABSTRACT

Heavy metal contamination in the environment is a serious problem for public health that has an impact on sustainability and human survival. As a result, heavy metal contamination of water causes many diseases in humans such as carcinogenic diseases and other diseases. To solve this problem, there are a large number of new technologies in dealing with heavy metal pollution in water. Phytoremediation with aquatic plants to remove heavy metal contaminants, phytoremediation has been widely used to restore pollution in water. The purpose of this study is to provide general information about phytoremediation and the use of aquatic plants for phytoremediation of heavy metals from the environment. By discussing applied science and environmental engineering to produce sustainable products to improve water quality. This study shows the effectiveness of aquatic plant species and compares the absorption of heavy metals at different concentrations. Based on the literature study, there are various types of aquatic plants with efficient phytoremediation capabilities and need to be studied from different perspectives to make contaminated water phytoremediation an environmentally friendly method.

Keyword : Heavy metals, Contaminated Water, Phytoremediation, Aquatic Plants

1. PENDAHULUAN

Kontaminasi lingkungan merupakan masalah serius bagi kesehatan masyarakat yang berdampak pada keberlanjutan dan kelangsungan hidup manusia di seluruh dunia [1]. Beberapa contoh penelitian dalam polusi air telah mencatat dampak potensial kontaminasi air oleh logam berat, menunjukkan risiko tinggi masalah kesehatan seperti karsinogenitas dan penyakit lainnya, yang terkait dengan badan air yang tercemar [2], [3]. Untuk terus menyediakan air yang aman dan bersih bagi setiap orang di seluruh dunia, perlu dilakukan pemeliharaan dan infrastruktur yang terjamin. Namun, negara-negara terbelakang seringkali tidak memiliki akses layanan yang memastikan kualitas air untuk distribusi dan konsumsi manusia [4]. Indeks Kualitas air dan indeks lainnya dapat melihat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas air berdasarkan kriteria seperti pH, mikroorganisme dalam air, persistensi organoklorida, dan logam berat [5], [6]. Tetapi tidak setiap negara memiliki akses untuk memastikan air yang memenuhi berdasarkan kriteria diharapkan [7].

Sumber utama polusi ini adalah pembakaran bahan bakar fosil, penambangan dan peleburan bijih metalliferous, limbah kota, pupuk, pestisida, dan limbah [8]. Kontaminasi logam beracun dari tanah, aliran

limbah berair, dan air tanah menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan manusia, yang masih perlu solusi teknologi yang efektif dan ramah lingkungan. Menurut *World Health Organization* (WHO) logam berat mencemari air seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), arsenik (As), kromium (Cr), dan timbal (Pb) dan logam berat lainnya, memiliki persistensi yang lama di lingkungan [9].

Kontaminasi logam berat dapat merusak kesehatan yang mengakibatkan seperti gangguan perilaku, masalah pernapasan [10], stres oksidatif yang dipengaruhi oleh spesies oksigen reaktif [4], dan penyakit kekebalan tubuh, kulit, pernapasan, dan endokrin [11]. Dengan mengetahui statistik ini, kita dapat mengenali air yang terkontaminasi sebagai sumber masalah utama yang perlu ditangani.

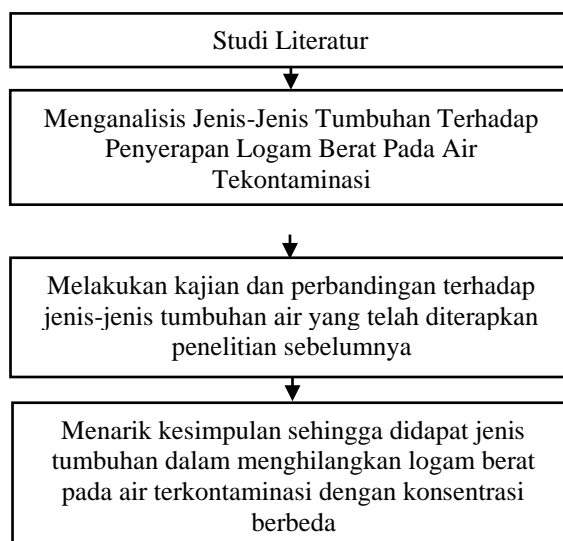
Dalam mengatasi masalah kontaminasi logam berat, tinjauan saat ini terutama berfokus pada remediasi kontaminasi melalui tumbuhan. Namun, serapan logam berat melalui akar tumbuhan, pucuk dan daun disebut sebagai fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu teknik bioremediasi yang dapat digunakan sebagai solusi alternatif proses remediasi logam berat. Dan fitoremediasi logam adalah teknologi hijau yang hemat biaya, efisien dan ramah lingkungan berdasarkan penggunaan tumbuhan penumpukan logam untuk menghilangkan logam beracun, termasuk radionuklida serta polutan organik dari tanah dan air yang terkontaminasi [12], [13]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi umum tentang fitoremediasi dan penggunaan tumbuhan air untuk fitoremediasi logam berat dari lingkungan.

Kemampuan tumbuhan air untuk mengakumulasi logam berat dari air didokumentasikan dengan baik. Banyak jenis tumbuhan air yang mengambang bebas, muncul, dan terendam telah diidentifikasi sebagai akumulator potensial logam berat. Tumbuhan tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air dan untuk mengurangi beban polusi di badan air. Tumbuhan air yang tumbuh di air yang tercemar menyerap logam berat, yang masuk ke dalam rantai makanan, menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia [14].

Penggunaan tumbuhan untuk membersihkan perairan yang tercemar dengan Teknik fitoremediasi telah mendapatkan minat besar dan diadopsi oleh para ilmuwan, organisasi pemerintah dan non-pemerintah. Inilah sebabnya mengapa teknologi yang muncul seperti bioremediasi, dapat diimplementasikan untuk meningkatkan sistem remediasi seperti penggunaan tumbuhan eceng gondok (*eichhornia crassipis*), kayu apu (*pistia stratiotes*), duckweeds (*lemnoideae*), hydrilla (*hydrilla verticillate*), azolla (*azolla caroliniana*), paku air (*salvinia*), melati air (*echinodorus palaefolius*), kangkung air (*ipomoea aquatica forsk*), pagagan (*centella asiatica*) dan genjer (*limnocharis flava*) untuk menghilangkan polutan yang paling umum di dalam air. Dalam penelitian ini membahas teknik fitoremediasi air untuk polutan logam berat, mengkaji penelitian-penelitian sebelumnya, jenis tumbuhan tertentu, proses biologis, teknologi yang dikembangkan berdasarkan hak paten dan kebutuhan saat ini.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini yang dilakukan studi literatur oleh penulis dirangkum dari beberapa karya ilmiah meliputi jurnal nasional maupun jurnal internasional tentang metode fitoremediasi. Penelitian ini dilakukan bertujuan sebagai acuan dalam mengkaji penyerapan logam berat menggunakan jenis tumbuhan air yang sesuai pada konsentrasi berbeda. Tahapan penelitian yang dilakukan penulis dijabarkan dalam bentuk diagram alir yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN ANALISIS

Dalam banyak studi literatur menunjukkan pentingnya tumbuhan untuk mengatasi polutan, baik anorganik maupun organik, bahkan polutan yang sulit dimetabolisme. Logam berat merupakan polutan penting untuk diatasi yang berada di dalam air dan sedimen [15]. Namun, fitoremediasi mewakili teknologi baru yang dapat membantu dalam penghapusan logam berat [16]. Metode fitoremediasi menggunakan jenis-jenis tumbuhan air yang sering di aplikasikan dalam penyerapan logam berat pada air terkontaminasi dijabarkan pada beberapa sub bab dibawah in

3.1 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Eceng gondok (*Eichhornia Crassipis*)

Tumbuhan eceng gondok memiliki berbagai kemampuannya seperti pertumbuhannya yang cepat, toleransi polusi yang tinggi, dan kapasitas penyerapan yang tinggi, dan sering digunakan dalam remediasi kontaminan. Kapasitas mengurangi untuk arsenik jauh lebih banyak dari pada tumbuhan lainnya, karena kandungan biomasanya yang besar dan tumbuh subur di semua habitat yang stabil [17]. Perbandingan tingkat kemanjuran penghapusan dalam limbah tambang batubara tumbuhan eceng gondok, rumput bebek dan duckweed telah diamati bahwa eceng gondok memiliki efisiensi penghilangan maksimum (80%) dibandingkan dengan tumbuhan lainnya [17]. Penelitian baru-baru ini menyampaikan bahwa tumbuhan eceng gondok memperoleh konsentrasi maksimum dalam penyerapan timbal (Pb) dibandingkan dengan tumbuhan lainnya [18]. Demikian pula tumbuhan eceng gondok telah digunakan untuk menghilangkan fosfat, padatan larut total (TSS), dan nitrogen amonis (NH₃-N) [19].

Eceng gondok (*eichhornia crassipes*) direkomendasikan untuk mengolah air limbah industri, air limbah domestik, limbah limbah, dan kolam lumpur karena memiliki tingkat penyerapan yang tinggi dari berbagai kontaminan organik dan anorganik, dapat mentolerir lingkungan yang sangat tercemar dan memiliki tingkat produksi biomassa yang sangat besar [20]. Tumbuhan eceng gondok memiliki kemampuan yang lebih besar dalam memulihkan kontaminan seperti arsenik, seng, merkuri, nikel, tembaga dan timbal dari industri dan domestik aliran air limbah [21].

3.2 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*)

Kayu Apu (*pistia stratiotes*) telah diverifikasi tumbuhan yang efektif untuk dekontaminasi logam, depololusi logam, dan pengolahan limbah perkotaan [22]. Karena sistem memiliki akar serabut, akarnya dapat mengambil logam yang cukup dengan efisiensi penghilangan yang tinggi. Tumbuhan kayu apu merupakan sebagai alternatif, berbiaya rendah yang memadai untuk menghilangkan logam berat terlarut, seperti Pb dan Cd limbah industri [19].

3.3 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Duckweeds (*Lemnoideae*)

Duckweeds merukan tumbuhan yang hidup di kolam, danau, dan lahan basah. Jenis tumbuhan duckweed digunakan dalam studi untuk memeriksa air terkotaminasi logam berat [23]. Tumbuhan duckweed (*lemnoideae*) memiliki kapasitas tinggi untuk mengatasi logam beracun dari air. Efisiensi meningkat secara drastis pada pH optimal, yaitu sekitar antara 6 dan 9, dan mentranslokasi sekitar 90% timbal larut dari air. Namun, pertumbuhannya dihambat oleh peningkatan kadar nitrat dan amonia [24]. Penelitian telah memperkirakan bahwa di antara empat logam Cu, Cd, Pb, dan Ni dapat terakumulasi dan penyerapan timbal dalam biomassa duckweeds secara signifikan tinggi [25]. Efisiensi logam yang sangat baik, persentase penghilangan lebih besar dari 80% untuk semua logam [25].

3.4 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla Verticillate*)

Hydrilla (*hydrilla verticillate*) merupakan tumbuhan akuatik yang membentuk lapisan tebal di seluruh badan air. Tanaman ini memiliki kemampuan dan potensi untuk menghilangkan kontaminan. Telah dilakukan penelitian bahwa pucuk dari tumbuhan hydrilla memiliki lebih banyak kemampuan dalam translokasi serapan logam beracun daripada akarnya [24]. Ketika terkena konsentrasi tinggi larutan timbal selama satu minggu, tumbuhan hydrilla menunjukkan 98% penyerapan timbal [24]. Tumbuhan hydrilla telah menunjukkan potensi yang signifikan untuk dekontaminasi pada air terkontaminasi logam berat.

3.5 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Azolla (*Azolla Caroliniana*)

Tumbuhan azolla memiliki kemampuan besar untuk menyerap unsur-unsur berbahaya (merkuri, kadmium, kromium, tembaga, nikel, dan seng) karena penyerapan yang kuat untuk menyerap logam berat beracun. Peneliti telah mengungkapkan bahwa azolla dapat menghilangkan polutan dari air limbah [26]. Jenis

azolla yang berbeda (*azolla filiculoides*, *azolla microphylla*, dan *azolla pinnata*) telah digunakan untuk potensi dekontaminasi logam (Cd, Cr, dan Ni) mereka. Sedangkan *azolla microphylla* menunjukkan efisiensi penghilangan yang lebih besar untuk Cd, *azolla pinnata* efisien dalam penghapusan Cr dan Ni [27].

3.6 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Paku Air (*Salvinia*)

Tumbuhan *salvinia* memiliki jenis yang berbeda-beda, perkembangan yang cepat, dan hubungan yang erat dengan tumbuhan air lainnya, termasuk *azolla* dan *lemna*, menjadikannya pilihan yang dikenal untuk fitoremediasi [28]. Sesuai dengan literatur yang sudah ada, telah dinyatakan bahwa tumbuhan ini menimbulkan efisiensi penghapusan yang sangat baik, terutama ketika terkena konsentrasi glikosilat [29]. Tumbuhan *salvinia* juga telah digunakan untuk pengolahan air limbah [30].

3.7 Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*)

Tumbuhan melati air (*echinodorus palaefolius*) digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi yang memiliki kemampuan untuk adsorpsi kandungan logam berat dalam air [31]. Hasil penelitian dengan menggunakan melati air bisa menurunkan konsentrasi Pb pada reaktor limbah hingga < 0,0764 mg/L dan menyerap logam Pb dari reaktor limbah sebesar 4,87 mg/kg, dengan persentase penyisihan 81,72% dan reaktor kontrol sebesar 6,38 mg/kg dengan persentase penyisihan 86,05% [32].

1.1. Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica Forsk*)

Kangkung air (*ipomoea aquatica forsk*) merupakan salah satu tanaman sayuran atau tanaman yang dapat menyerap logam berat. Kangkung air dapat dimakan oleh manusia sebagai makanan dari batang dan daunnya. Selain itu, memiliki kemampuan untuk menyerap polutan terlarut dan adsorbs logam berat di lingkungan tempat tumbuhnya, sehingga mengurangi kandungannya dan meningkatkan kualitas air limbah. [33]. Menurut Suhud (2012), daya serap kangkung air dipengaruhi oleh pH larutan dan konsentrasi larutan [34].

1.2. Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Oleh Tumbuhan Pagagan (*Centella Asiatica*)

Tumbuhan pagagan (*centella asiatica*) memiliki pertumbuhan hidup yang cepat. Dalam penelitian ini, efektivitas tumbuhan pagagan untuk ekstraksi aluminium (Al) dan besi (Fe) dari limbah industri, dan translokasinya faktor (TF) Al dan Fe oleh pagagan adalah dipilih sebagai tanaman fitoremediasi karena tingkat pertumbuhannya yang cepat dan biaya pengelolaan yang rendah [35], [36].

1.3. Penyerapan Logam Berat Pada Air Tekontaminasi Oleh Tumbuhan Genjer (*Limnocharis Flava*)

Tumbuhan genjer merupakan tumbuhan yang dapat menyerap kandungan logam berat yang mencemari air [37], [38]. Penelitian dilakukan oleh Priyanti, (2013), digunakan tumbuhan genjer (*limnocharis flava*) sebagai fikoakumulator. Hasil dari penelitian tersebut, tumbuhan genjer mereduksi kandungan logam Fe dan Mn dari 20,32%-63,99% [39]. Berikut ini tabel hasil studi literatur penyerapan logam berat oleh tumbuhan air disajikan pada pada Tabel. 1 dan perbandingan kelebihan dan kekurangan dari jenis tumbuhan air dalam penyerapan logam berat pada air terkontaminasi yang terdapat pada Tabel. 2.

Tabel. 1 Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan Air Berdasarkan Studi Literatur

Referensi	Nama Tumbuhan Air	Nama Latin	Logam Berat
[21], [40], [41], [42]	Eceng Gondok	<i>Eichhornia Crassipis</i>	Hg, Ni, As, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr.
[19], [43], [44]	Kayu Apu	<i>Pistia Stratiotes</i>	Zn, Ag, Cr, As, Pb, Ag, Cd, Cu, Hg, Ni, Zn.
[25], [41], [45]	Duckweeds	<i>Lemnoideae</i>	As, U, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni
[24]	Hydrilla	<i>Hydrilla Verticillate</i>	Pb
[46], [47]	Azolla	<i>Azolla Caroliniana</i>	As, Hg, Cd
[48]	Paku Air	<i>Salvinia</i>	Cr
[31], [32]	Melati Air	<i>Echinodorus Palaefolius</i>	Pb
[33], [49]	Kangkung Air	<i>Ipomoea Aquatica</i>	Fe, Al, Hg

<i>Forsk</i>			
[33]	Pagagan	<i>Centella Asiatica</i>	Fe, Al
[37], [38], [39], [50]	Genjer	<i>Limnocharis Flava</i>	Pb, Fe, Mn

Keterangan: Pb (timbal); Cr (kromium); Zn (seng); As (arsenik); Cu (tembaga); Cd (kadmium); Fe (besi); Hg (merkuri); Co (kobalt); Ni (nikel); U (uranium); Al (alluminium)

Tabel. 2 Komparasi Kelebihan Dan Kekurangan Dari Jenis Tumbuhan Air Dalam Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi

Referensi	Jenis Tumbuhan Air	Kelebihan	Kekurangan
[17], [21], [51]	Eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipis</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki kandungan biomasnya yang besar dan tumbuh subur di semua habitat yang stabil. - Tumbuhan eceng gondok memiliki efisiensi penghilangan air asam tambang maksimum (80%) dibandingkan dengan tumbuhan lainnya. - Memiliki kemampuan yang lebih besar untuk memulihkan kontaminan seperti arsenik, seng, merkuri, nikel, tembaga dan timbal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan waktu dan kondisi pH yang tinggi untuk dapat melakukan penyerapan yang lebih tinggi. - Tidak mampu mengakumulasi logam berat Fe dan Mn secara bersamaan dengan konsentrasi yang tinggi. - Mengalami penghambatan pH < 4 terhadap pertumbuhan tanaman eceng gondok.
[19], [22]	Kayu Apu (<i>Pistia Stratiotes</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki akar yang dapat menyerap logam berat dengan efisiensi penghilangan yang tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memerlukan waktu lebih lama untuk meningkatkan daya penyerapan (proses translokasi).
[24], [25]	Duckweeds (<i>Lemnoideae</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Mampu mengakumulasi logam berat Cu, Cd, Pb, dan Ni. - Efisiensi logam yang sangat baik, persentase penghilangan lebih besar 80% untuk semua logam. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhannya dihambat oleh peningkatan kadar nitrat dan ammonia.
[24]	Hydrilla (<i>Hydrilla Verticillate</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Kemampuan pucuk dari tumbuhan hydrilla memiliki translokasi lebih besar serapan logam beracun daripada akarnya. - Mampu mengakumulasi logam berat timbal (Pb) sebesar 98%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan waktu yang lama dalam penyerapan logam berat. - Tidak mampu mengakumulasi logam berat terlalu banyak.
[26], [27]	Azolla (<i>Azolla Caroliniana</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki kemampuan besar untuk menyerap unsur-unsur berbahaya (merkuri, kadmium, kromium, tembaga, nikel, dan seng). 	<ul style="list-style-type: none"> - Azolla hanya mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah kecil.
[29]	Paku Air (<i>Salvinia</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki efisiensi penghapusan logam berat yang sangat baik, terutama ketika terkena konsentrasi glikosilat. 	<ul style="list-style-type: none"> - Penyerapan logam berat dalam jumlah yang kecil.
[31], [32]	Melati Air (<i>Echinodorus Palaefolius</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Tumbuhan melati air memiliki perakaran yang banyak sehingga efektif dalam penyerapan logam Pb. 	<ul style="list-style-type: none"> - Laju adsorpsi dipengaruhi oleh mobilitas logam timbal pada media yang tinggi kandungan limbahnya.
[33], [34], [49]	Kangkung Air (<i>Ipomoea Aquatica Forsk</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki pertumbuhan dan perkembangan yang cepat. - Penyerapan logam Al lebih tinggi daripada Fe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proses penyerapan kangkung air dipengaruhi oleh pH air dan konsentrasi larutan.

[33]	Pagagan (<i>Centella Asiatica</i>)	- Memiliki pertumbuhan hidup yang cepat. - Dapat mengakumulasi logam Al dan Fe.	- Tidak tahan dalam genangan air yang tinggi.
[37], [38], [39], [50]	Genjer (<i>Limnocharis Flava</i>)	- Kemampuan dalam penyerapan logam berat Pb lebih tinggi dan mengakumulasi logam Fe dan Mn. - Mampu mengakumulasi logam berat Fe dan Mn,	- Semakin tinggi kadar Pb dalam tumbuhan genjer terjadi kerusakan nekrosis dan klorosis.

Dengan menggunakan tumbuhan air untuk fitoremediasi telah memberikan jalur dan wawasan baru tentang remediasi logam berat, ada kelebihan dan kekurangan tertentu yang terkait dengan teknik fitoremediasi yang perlu ditangani sebelum penerapannya di lapangan. Teknik fitoremediasi pemanfaatan tumbuhan air untuk menghilangkan logam berat dinilai ramah lingkungan dan efisien

4. KESIMPULAN

Pencemaran pada air merupakan masalah yang perlu ditangani, dari perspektif yang ramah secara ekologis. Metode fitoremediasi membantu dalam menghilangkan kontaminasi logam berat dalam air yang berbahaya bagi banyak organisme. Ada berbagai macam strategi dan mekanisme yang dijelaskan dalam fitoremediasi dan ada lebih banyak informasi eksperimental di tanah dan air. Dari 10 jenis tumbuhan air yang ditinjau seperti penggunaan tumbuhan eceng gondok (*eichhornia crassipis*), kayu apu (*pistia stratiotes*), duckweeds (*lemnoideae*), hydrilla (*hydrilla verticillate*), azolla (*azolla caroliniana*), paku air (*salvinia*), melati air (*echinodorus palaefolius*), kangkung air (*ipomoea aquatica forsk*), pagagan (*centella asiatica*) dan genjer (*limnocharis flava*) untuk menghilangkan logam berat di dalam air, berbagai macam fitoremediasi tumbuh secara alami ke dalam atau di sepanjang area yang terkait dengan badan air. Namun, perlu dilakukan pertimbangan, karena mekanisme penyerapan tanaman darat dan air mungkin berbeda. Berdasarkan literatur menunjukkan bahwa hubungan antara mikroorganisme dan akar tidak terbatas dalam sistem air. Semakin banyak penelitian yang membahas pentingnya keanekaragaman hayati dalam fitoremediasi logam berat terhadap air kontaminasi, semakin banyak yang dapat dieksplorasi untuk menyediakan dan menjelaskan dengan tepat mekanisme untuk menghilangkan logam berat dalam air, menggunakan jenis tumbuhan air yang berbeda dalam menghilangkan logam berat pada air terkontaminasi dengan konsentrasi berbeda.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, and E. Bezirtzoglou, “Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review,” *Front. Public Heal.*, vol. 8, 2020, doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- [2] M. Bamuwamye, P. Ogowok, V. Tumuhairwe, R. Eragu, H. Nakisozi, and P. E. Ogowang, “Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Kampala (Uganda) Drinking Water,” *J. Food Res.*, vol. 6, no. 4, p. 6, 2017, doi: 10.5539/jfr.v6n4p6.
- [3] L. Chen *et al.*, “Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested,” *Sci. Total Environ.*, vol. 615, no. 163, pp. 141–149, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.230.
- [4] C. R. Delgado-González *et al.*, “Advances and applications of water phytoremediation: A potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 10, 2021, doi: 10.3390/ijerph18105215.
- [5] P. Li and J. Wu, “Drinking Water Quality and Public Health,” *Expo. Heal.*, vol. 11, no. 2, pp. 73–79, 2019, doi: 10.1007/s12403-019-00299-8.
- [6] F. Su, J. Wu, and S. He, “Set pair analysis-Markov chain model for groundwater quality assessment and prediction: A case study of Xi’an city, China,” *Hum. Ecol. Risk Assess.*, vol. 25, no. 1–2, pp. 158–175, 2019, doi: 10.1080/10807039.2019.1568860.
- [7] A. Scheili, M. J. Rodriguez, and R. Sadiq, “Seasonal and spatial variations of source and drinking water quality in small municipal systems of two Canadian regions,” *Sci. Total Environ.*, vol. 508, pp. 514–524, 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.069.
- [8] A. Kabata-Pendias, *Trace Elements in Soils and Plants Third Edition*. 1992.
- [9] World Health Organization, “Drinking Water,” Available online: *ine.*, 2020. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:~%7B%7D:text=Contaminated water and poor sanitation,A%2C typhoid%2C and p>

- [10] M. Al osman, F. Yang, and I. Y. Massey, "Exposure routes and health effects of heavy metals on children," *BioMetals*, vol. 32, no. 4, pp. 563–573, 2019, doi: 10.1007/s10534-019-00193-5.
- [11] M. S. Sankhla, "Contaminant of Heavy Metals in Groundwater & its Toxic Effects on Human Health & Environment," *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour.*, vol. 18, no. 5, 2019, doi: 10.19080/ijesnr.2019.18.555996.
- [12] 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.
- [13] L. Raskin, R. D. Smith, and D. E. Salt, "Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment Abbreviation EDTA ethylenediaminetetraacetic acid," *Curr. Opin. Biotechnol.*, pp. 8221–2226, 1997.
- [14] R. Isaksson, S. J. Balogh, and M. A. Farris, "Accumulation of mercury by the aquatic plant *Lemna minor*," *Int. J. Environ. Stud.*, vol. 64, no. 2, pp. 189–194, 2007, doi: 10.1080/00207230701238556.
- [15] S. Bolisetty, M. Peydayesh, and R. Mezzenga, "Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 48, no. 2, pp. 463–487, 2019, doi: 10.1039/c8cs00493e.
- [16] S. Muthusarayanan *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.
- [17] R. E. Tanjung, F. Fahrudin, and M. F. Samawi, "Phytoremediation relationship of lead (Pb) by *Eichhornia crassipes* on pH, BOD and COD in groundwater," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1341, no. 2, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1341/2/022020.
- [18] N. U. M. Nizam, M. M. Hanafiah, I. M. Noor, and H. I. A. Karim, "Efficiency of five selected aquatic plants in phytoremediation of aquaculture wastewater," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, 2020, doi: 10.3390/APP10082712.
- [19] A. A. Ansari, M. Naeem, S. S. Gill, and F. M. AlZuaibr, "Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application," *Egypt. J. Aquat. Res.*, vol. 46, no. 4, pp. 371–376, 2020, doi: 10.1016/j.ejar.2020.03.002.
- [20] S. C. McCutcheon and J. L. Schnoor, "OVERVIEW OF PHYTOTRANSFORMATION AND CONTROL OF WASTESNo Title," *Phytoremediation Transform. Control Contam.*, pp. 1–58, 2003.
- [21] S. Dixit and S. Tiwari, "Effective utilization of an aquatic weed in an eco-friendly treatment of polluted water bodies," *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 11, no. 3, pp. 41–44, 2007.
- [22] Y. Zimmels, F. Kirzhner, and A. Malkovskaja, "Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel," *J. Environ. Manage.*, vol. 81, no. 4, pp. 420–428, 2006, doi: 10.1016/j.jenvman.2005.11.014.
- [23] H. M. Saleh, R. F. Aglan, and H. H. Mahmoud, "Ludwigia stolonifera for remediation of toxic metals from simulated wastewater," *Chem. Ecol.*, vol. 35, no. 2, pp. 164–178, 2019, doi: 10.1080/02757540.2018.1546296.
- [24] D. Singh, A. Tiwari, and R. Gupta, "Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants," *Availab online*, vol. 8, pp. 1–11, 2012, doi: 10.1016/S0012-821X(01)00601-X.
- [25] T. M. Galal, Y. M. Al-Sodany, and H. M. Al-Yasi, "Phytostabilization as a phytoremediation strategy for mitigating water pollutants by the floating macrophyte *Ludwigia stolonifera* (Guill. & Perr.) P.H. Raven," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 22, no. 4, pp. 373–382, 2020, doi: 10.1080/15226514.2019.1663487.
- [26] N. Ibrahim and G. El Afandi, "Phytoremediation uptake model of heavy metals (Pb, Cd and Zn) in soil using *Nerium oleander*," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, p. e04445, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04445.
- [27] R. Hanafy, W. Eweda, M. Zayed, and H. Khalil, "Potentiality of Using a Pinnata To Bioremediate Different Heavy Metals From Polluted Draining Water," *Arab Univ. J. Agric. Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 359–372, 2018, doi: 10.21608/ajs.2018.14022.
- [28] J. da S. Santos, M. da S. Pontas, R. Grillo, A. R. Fiorucci, G. J. de Arruda, and E. F. Santiago, "Physiological mechanisms and phytoremediation potential of the macrophyte *Salvinia biloba* towards a commercial formulation and an analytical standard of glyphosate," *Chemosphere*, vol. 259, p. 127417, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127417.
- [29] Z. Liu *et al.*, "A review on phytoremediation of mercury contaminated soils," *J. Hazard. Mater.*, vol. 400, p. 123138, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123138.
- [30] S. Arreghini, L. De Cabo, and A. F. De Iorio, "Phytoremediation of two types of sediment contaminated with Zn by *Schoenoplectus americanus*," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 8, no. 3, pp. 223–232, 2006, doi: 10.1080/15226510600846764.
- [31] M. Kasman, A. Riyanti, S. Sy, and M. Ridwan, "Reduksi pencemar limbah cair industri tahu dengan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam sistem kombinasi constructed wetland dan filtrasi," *J. Litbang Ind.*, vol. 8, no. 1, p. 39, 2018, doi: 10.24960/jli.v8i1.3832.39-46.
- [32] J. Caroline and G. A. Moa, "Fitoremediasi logam timbal (Pb) (*Echinodorus palaefolius*) pada industri peleburan tembaga dan kuningan," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. III*, vol. 10, no. 3, pp. 733–744, 2015.
- [33] M. M. Hanafiah, M. F. Zainuddin, N. U. M. Nizam, A. A. Halim, and A. Rasool, "Phytoremediation of aluminum and iron from industrial wastewater using *Ipomoea aquatica* and *Centella asiatica*," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/app10093064.
- [34] I. Suhud, V. M. . Tiwow, and Hmzah Baharudin, "Adsorpsi Ion Kadmium(II) dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar dan Batang Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk)," *J. Akad. Kim.*, vol. 4, no. November, pp. 153–158, 2012.
- [35] Z. Flora and D. Kew, "Royal Botanical Gardens Kew; Richmond, VT, USA," *Available online*, 2014.
- [36] P. Hashim, H. Sidek, M. H. M. Helan, A. Sabery, U. D. Palanisamy, and M. Ilham, "Triterpene composition and bioactivities of *Centella asiatica*," *Molecules*, vol. 16, no. 2, pp. 1310–1322, 2011, doi: 10.3390/molecules16021310.

- [37] A. Q. Jamil, "Perbedaan penyerapan logam Pb pada limbah cair antara tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* forsk), genjer (*Limnocharis flava*), dan semanggi (*Marsilea drummondii* L)," 2015.
- [38] I. Oktoviani, T. A. Hanifah, and G. F. Kartika, "Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediasi Ion Timbal (II)," *JOM FMIPA Univ. Riau*, vol. 2, pp. 1–7, 2015.
- [39] Priyanti and E. Yunita, "Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (*Limnocharis flava*) terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn)," *Pros. Semirata FMIPA Univ. Lampung*, pp. 283–290, 2013.
- [40] M. Delgado, M. Biegeriego, and E. Guardiola, "Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths," *Water Res.*, vol. 27, no. 2, pp. 269–272, 1993, doi: 10.1016/0043-1354(93)90085-V.
- [41] M. Mkandawire and E. G. Dudel, "Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany," *Sci. Total Environ.*, vol. 336, no. 1–3, pp. 81–89, 2005, doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.06.002.
- [42] J. A. Romero-Hernández, A. Amaya-Chávez, P. Balderas-Hernández, G. Roa-Morales, N. González-Rivas, and M. Á. Balderas-Plata, "Tolerance and hyperaccumulation of a mixture of heavy metals (Cu, Pb, Hg, and Zn) by four aquatic macrophytes," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 19, no. 3, pp. 239–245, 2017, doi: 10.1080/15226514.2016.1207610.
- [43] P. Sudarshan, M. K. Mahesh, and T. V. Ramachandra, "Dynamics of Metal Pollution in Sediment and Macrophytes of Varthur Lake, Bangalore," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 104, no. 4, pp. 411–417, 2020, doi: 10.1007/s00128-020-02816-x.
- [44] L. Polechońska and A. Klink, "Trace metal bioindication and phytoremediation potentialities of *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass)," *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 146, pp. 27–33, 2014, doi: 10.1016/j.gexplo.2014.07.012.
- [45] M. A. Jayasri and K. Suthindhiran, "Effect of zinc and lead on the physiological and biochemical properties of aquatic plant *Lemna minor*: its potential role in phytoremediation," *Appl. Water Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1253, 2017, doi: 10.1007/s13201-015-0376-x.
- [46] K. S. Wang, L. C. Huang, H. S. Lee, P. Y. Chen, and S. H. Chang, "Phytoextraction of cadmium by *Ipomoea aquatica* (water spinach) in hydroponic solution: Effects of cadmium speciation," *Chemosphere*, vol. 72, no. 4, pp. 666–672, 2008, doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.03.034.
- [47] X. Zhang, A. J. Lin, F. J. Zhao, G. Z. Xu, G. L. Duan, and Y. G. Zhu, "Arsenic accumulation by the aquatic fern *Azolla*: Comparison of arsenate uptake, speciation and efflux by *A. caroliniana* and *A. filiculoides*," *Environ. Pollut.*, vol. 156, no. 3, pp. 1149–1155, 2008, doi: 10.1016/j.envpol.2008.04.002.
- [48] Y. Uysal and F. Taner, "Effect of pH, temperature, and lead concentration on the bioremoval of lead from water using *Lemna minor*," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 11, no. 7, pp. 591–608, 2009, doi: 10.1080/15226510902717648.
- [49] N. Sinulingga, K. Nurtjahja, and A. Karim, "Fitoremediasi Logam Merku (Hg) pada Media Air oleh Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk)," *J. Biol. Lingkungan, Ind. dan Kesehat.*, vol. 2, no. 1, pp. 75–81, 2015.
- [50] M. Haryati, T. Purnomo, and K. Sunu, "Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda," *LenteraBio*, vol. 1, no. 3, pp. 131–138, 2012.
- [51] R. Yunus and N. S. Prihatini, "Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan," *Sainsmat J. Ilm. Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 7, no. 1, pp. 73–85, 2018.