

## Kajian Fitoremediasi Berkelanjutan : Sumber Cemaran, Jenis Tanaman dan Pemusnahan

### *A Review of Sustainable Phytoremediation : Sources of Contaminants, Types of Plants and Disposal*

Didin Solahudin<sup>1</sup>, Putri Anggun Sari<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa  
solahudin045@gmail.com

#### **Abstract**

*Economic growth supported by population growth and industrial growth has contributed to the pollution of water resources. The lack of public awareness in managing domestic and industrial waste raises the potential for aquatic plants to decompose the waste water produced. Given the many locations of watery land areas and the various types of aquatic plants that can decompose wastewater, phytoremediation can be a reliable solution for sustainable and economical water recovery from organic and inorganic pollutants. This study was conducted to compare Indonesian aquatic plant species suitable for use in phytoremediation and possible post-phytoremediation biomass management strategies for the management of contaminated biomass. The research method used is to take journal references in the Scopus and SINTA databases to carry out systematic literature reviews and scientific data extraction. Phytoremediation using water reeds, water hyacinth and water jasmine is effective enough to reduce BOD and COD values in wastewater, while duckweed plants are able to collect microplastic particles that pollute surface water and *Limncharis flava* plants are able to absorb heavy metal Pb contamination in water. Plants used in phytoremediation of domestic waste and organic waste can be processed into alternative biomass, handicrafts, or as ornamental plants. Meanwhile, for plants used to treat waste contaminated with heavy metals, special handling is required, including by compaction of leachate, combustion, gasification, pyrolysis, torrefaction, and metal recovery*

**.Keywords:** *phytoremediation, wetland, hyperaccumulator plants, and waste water*

#### **Abstrak**

Pertumbuhan ekonomi yang ditunjang pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan industri berkontribusi pada pencemaran sumber daya air. Kurangnya kesadaran masyarakat dalam mengelola limbah domestik dan industri, memunculkan potensi tumbuhan air untuk menguraikan air limbah yang dihasilkan. Mengingat banyaknya lokasi kawasan daratan berair serta beragamnya jenis tumbuhan air yang dapat mengurai air limbah maka fitoremediasi dapat menjadi solusi yang handal untuk pemulihan air yang berkelanjutan dan ekonomis dari polutan organik dan anorganik. Kajian ini dilakukan untuk membandingkan spesies tanaman air Indonesia yang cocok untuk digunakan dalam fitoremediasi serta kemungkinan strategi pengelolaan biomassa pasca-fitoremediasi untuk pengelolaan biomassa yang terkontaminasi. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan mengambil referensi jurnal dalam database Scopus dan SINTA untuk melakukan tinjauan literatur sistematis dan ekstraksi data ilmiah. Fitoremediasi menggunakan tanaman air alang-alang air, eceng gondok dan melati air cukup efektif untuk menurunkan nilai BOD dan COD pada air limbah, sedangkan tanaman rumput bebek mampu mengumpulkan partikel mikroplastik yang mencemari air permukaan dan tanaman genjer mampu menyerap cemaran logam berat Pb pada air. Tanaman yang digunakan pada fitoremediasi limbah domestik dan limbah organik, dapat diolah menjadi bio massa alternatif, barang kerajinan, maupun sebagai tumbuhan hias. Sedangkan pada tanaman yang digunakan untuk mengolah limbah terkontaminasi logam berat, perlu dilakukan penanganan khusus, diantaranya dengan pemadatan lindi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, torefaksi, dan recovery logam.

**Kata kunci:** fitoremediasi, wetland, tanaman hiperakumulator, air limbah

#### **Pendahuluan**

Pertumbuhan industri memberikan dampak positif terhadap perekonomian, namun juga memberikan dampak negative diantaranya berupa penurunan kualitas lingkungan. Kegiatan industri tentunya menghasilkan sisa dari kegiatan/aktifitas produksinya yang memberikan dampak lingkungan hidup.

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, dijelaskan bahwa Dampak Lingkungan Hidup adalah pengaruh perubahan pada lingkungan hidup yang diakibatkan oleh suatu usaha dan/atau kegiatan. Banyak penghasil limbah baik aktifitas domestik maupun industri yang membuang limbahnya secara langsung ke badan air penerima tanpa melalui pengolahan yang baik terlebih dahulu, sehingga berdampak pada meningkatnya kadar bahan-bahan pencemar yang ada di badan air[1].

Fitoremediasi merupakan suatu sistem dimana tumbuhan itu sendiri dapat menyerap, mengambil, dan mengubah zat kontaminan (pencemar / polutan) menjadi berkurang kadarnya, atau menjadi tidak berbahaya, atau bahkan menjadi bahan yang dapat digunakan kembali (*re-use*) [2]. Diantara tanaman air yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi adalah *Lemna minor* (rumput bebek), *Cyperus papyrus* (alang-alang air) , *Limnocharis flava* (genjer), *Eichhornia crassipes* (eceng gondok) dan *Enchinodorus palaeifolius* (melati air).

Fitoremediasi merupakan teknik hemat biaya dan ramah lingkungan yang memanfaatkan tanaman untuk melumpuhkan, menyerap, mengurangi toksisitas, menstabilkan, atau menurunkan senyawa yang dilepaskan ke lingkungan dari berbagai sumber [3]. Fitoremediasi adalah strategi yang realistis dan menjanjikan untuk menghilangkan logam berat dari daerah tercemar, berdasarkan penggunaan spesies tanaman hiper- akumulator yang sangat toleran terhadap logam berat yang ada di lingkungan/tanah [4]. Fitoekstraksi atau fitoakumulasi, melibatkan penyerapan logam beracun oleh akar tanaman diikuti dengan translokasi logam yang diserap ke pucuk dan pengendapan pada vakuola, dinding sel, membran sel, dan bagian lain yang tidak aktif secara metabolik dalam jaringan tanaman [4].

Mengingat kurangnya kesadaran masyarakat dalam mengelola limbah domestik dan industri, banyaknya lokasi kawasan daratan berair (*wetland*) serta kayanya jenis-jenis tumbuhan air yang dapat mengurai air limbah serta rendahnya biaya fitoremediasi dibandingkan dengan teknologi konvensional dan prinsip energi keberlanjutan terkait dengan tanaman dan penggunaan energi terbarukan menjadikan fitoremediasi sebagai solusi yang handal untuk pemulihan tanah dan air yang berkelanjutan serta ekonomis dari polutan organik dan anorganik. Namun diperlukan adanya perhatian terhadap manajemen pemanenan dan pemusnahan tanaman yang digunakan sebagai tanaman fitoremediasi.

Kajian ini dilakukan untuk membandingkan spesies tanaman air Indonesia yang cocok untuk digunakan dalam fitoremediasi melalui penggunaan berbagai mekanisme yang dapat meningkatkan efisiensi proses fitoremediasi. Tumbuhan yang beragam memulihkan polutan yang berbeda dengan laju yang berbeda melalui satu atau beberapa mekanisme. Kajian ini juga membahas kemungkinan strategi pengelolaan biomassa pasca-fitoremediasi untuk pengelolaan biomassa yang terkontaminasi. Strategi ini meliputi pengomposan, pemadatan lindi, gasifikasi, pirolisis, torefaksi, dan pemulihan logam. Selanjutnya, prospek komersial untuk memanfaatkan biomassa yang terkontaminasi.

## Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam melakukan kajian ini adalah dengan mengambil referensi jurnal dalam database Scopus dan SINTA untuk melakukan tinjauan literatur sistematis dan ekstraksi data ilmiah. Kata kunci dalam pencariannya adalah fitoremediasi, tanaman air, *wetland*, dan bio massa dalam periode tahun 2019 hingga 2022. Pencarian basis data mengidentifikasi total 753 studi. Basis data kemudian diperiksa secara manual untuk mengunduh literatur yang relevan. Data dari publikasi yang disaring diunduh dan digunakan dalam artikel ulasan. Literatur yang diambil, kemudian disusun berdasarkan sumber cemaran, jenis tanaman yang digunakan serta efektifitasnya, dan pemusnahan dari tanaman fitoremediasi.

## Hasil dan Pembahasan

### Sumber Cemaran

Sumber cemaran yang digunakan dalam kajian ini ada yang berasal dari cemaran domestik, industri rumah tangga serta limbah buatan (*artificial*) yang mengandung cemaran Timbal (Pb). Selain itu, kajian ini juga membahas cemaran yang disebabkan mikroplastik, yaitu jenis polietilen (fragmen dengan ukuran rata-rata  $149 \pm 75 \mu\text{m}$ ) [5].

Limbah cair domestik memiliki karakteristik COD (*Chemical Oxydation Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), TSS (Total Suspended Solid), Fosfat, Total Coliforms, dan pH [6]. Cemaran industri rumah tangga

meliputi cemaran dari limbah industri tahu dan limbah industri tapioca. Limbah tahu memiliki kandungan pencemar seperti BOD sebesar 5000-10.000 mg/L dan COD 7000- 12.000 mg/L serta tingkat kemasaman yang sangat rendah, yaitu 4-5 [7]. Sedangkan limbah industri tapioka mengandung kebutuhan oksigen biokimia (*Biochemical Oxygen Demand, BOD*), kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand, COD*), jumlah padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid, TSS*) serta Sianida yang tinggi [1].

## Jenis Tanaman dan Efektifitasnya

### *Lemna minor* (rumput bebek)

Rumput bebek yang digunakan berasal dari budidaya pada skala Laboratorium. Pada tahap awal, dilakukan percobaan jangka pendek (uji pendahuluan) untuk memilih konsentrasi awal mikroplastik untuk percobaan jangka panjang. Percobaan dilanjutkan dengan paparan jangka panjang, pertumbuhan spesifik, panjang akar, dipantau untuk mengevaluasi stres yang disebabkan oleh kehadiran mikroplastik. Selanjutnya, bioadhesi mikroplastik ke jaringan tanaman dipantau dan dilakukan penilaian terhadap kelemahan dan kekuatan pengikatan mikroplastik [5].

Berdasarkan hasil percobaan jangka pendek, konsentrasi yang dipilih untuk percobaan jangka panjang adalah pada 100 mg/L (9600 mikroplastik/L). Eksperimen dilakukan selama 12 minggu. Laju pertumbuhan spesifik dan panjang akar *L. minor* diukur setiap minggu. Jumlah mikroplastik yang menempel pada *L. minor* dihitung setiap minggu selama 12 minggu percobaan jangka panjang dan daun serta akarnya diperiksa keberadaan mikroplastik dengan mikroskop stereo Motic SMZ-171 [5].

Tingkat pertumbuhan spesifik *L. minor* tidak dipengaruhi oleh mikroplastik selama durasi percobaan. Panjang akar secara signifikan berkurang akibat mikroplastik selama 8 minggu pertama, sedangkan pada empat minggu terakhir daya hambatnya menjadi berkurang. Namun tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara panjang akar pada control dan pada wadah perlakuan mikroplastik [5].

Selama percobaan jangka panjang, partikel mikroplastik menempel pada daun dan akar. Jumlah mikroplastik yang menempel dengan lemah minimum  $0,65 \pm 0,33$  dan maksimum  $1,93 \pm 0,53$  partikel/mg berat tanaman segar. Sedangkan jumlah mikroplastik yang menempel kuat minimum  $0,23 \pm 0,05$  dan maksimum  $0,47 \pm 0,14$  partikel/mg berat tanaman segar.

### *Cyperus papyrus* (alang-alang air)

Pengujian efektifitas Fitoremediasi alang-alang air dilakukan dengan metode *Range finding test*, yaitu tahapan yang dilakukan untuk mengetahui batas kritis konsentrasi yang ada pada tanaman [6]. *Range finding test* dilakukan dengan menggunakan aquarium dengan kapasitas 7 liter, volume air yang digunakan sebanyak 7 liter dan dilakukan selama 15 hari kerja. Tahap kritis pada konsentrasi ini akan dapat diketahui pada berapa persen campuran limbah domestik yang tidak memberi efek kematian pada tumbuhan alang-alang air. Sampel yang digunakan adalah limbah domestik cair yang sudah melalui tahap pretreatment (filtrasi) terlebih dahulu.

Tabel 1 Pengamatan Hasil Range Finding Test

Konsentrasi Limbah	Kondisi Tanaman <i>Cyperus Papyrus</i>
0%	tidak terdapat perubahan pada fisik tanaman
20%	ujung tanaman mulai sedikit berubah warna
40%	ujung tanaman mulai menguning namun tidak
membusuk 60%	tanaman menguning namun tidak terjadi pembusukan
80%	sebagian besar tanaman menguning
100%	sebagian besar tanaman menguning dan hampir mati

Setelah dilakukan tahap RFT, tanaman *Cyperus Papyrus* mampu bertahan hidup pada kadar limbah cair domestik sebesar 60%. Oleh karena itu, pada proses *phyto-treatment* digunakan konsentrasi limbah cair domestik sebesar 60%.

Tabel 2 Pengujian Efektifitas Pengolahan

No.	Parameter Konsentrasi	Satuan	Baku mutu*	Sebelum	Konsentrasi Setelah
1	BOD	mg/L	30	64	4,61
2	COD	mg/L	50	67	10,94

### *Limnocharis Flava* ( Genjer )

Penelitian terkait kemampuan tanaman genjer dalam menurunkan kadar logam Pb menggunakan sampel air limbah artifisial logam berat Timbal (Pb) pada konsentrasi 15 mg/l [8] . Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial menggunakan 2 faktor perlakuan, yaitu faktor jumlah tanaman dengan variasi 5, 10, dan 15 tanaman, serta faktor waktu paparan dengan variasi 3, 5, dan 7 hari. Sistem pengujian menggunakan sistem *batch reactor*.

Setelah menjalani proses Fitoremediasi selama 7 hari, berdasarkan pengamatan visual didapati tanaman genjer mengalami sejumlah perubahan fisik, seperti perubahan warna batang dan daun, serta kerontokan pada akar. Perubahan warna daun dan batang dapat disebabkan karena logam berat yang masuk pada sel tanaman, sehingga mengakibatkan gejala klorosis dan nekrosis. Gejala klorosis merupakan gejala yang disebabkan oleh klorofil tanaman yang tidak berkembang dengan baik, sehingga menyebabkan perubahan warna menjadi kekuningan. Sedangkan gejala nekrosis merupakan matinya jaringan tubuh tanaman, yang berakibat pada mengeringnya jaringan tubuh tanaman tersebut [8].

Tabel 3 Pengujian Efektifitas Pengolahan

No.	Reaktor	Satuan	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Hari ke-3	Konsentrasi Hari ke-5	Konsentrasi Hari ke-7
1	Kontrol	mg/L Pb	14,03	2,44	1,48	0,21
2	5 Tanaman	mg/L Pb	14,03	1,38	0,92	0,06
3	10 Tanaman	mg/L Pb	14,03	0,76	0,68	0,06
4	15 Tanaman	mg/L Pb	14,03	0,64	0,67	0,06

### *Eichhornia crassipes* (Eceng Gondok)

Proses mediasi menggunakan tanaman eceng gondok dilakukan selama 25 hari [9]. Wadah yang digunakan untuk proses ini adalah wadah tong dengan volume 30 Liter berisi limbah domestik. Sedangkan parameter yang diukur meliputi pH, BOD dan COD.

Tabel 4. Hasil Pengujian Limbah

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir
pH	pH	9	7
BOD	mg/L	14,8	9,6
COD	mg/L	296,45	80,85

Penelitian lain terhadap efektifitas Eceng gondok dalam pengolahan air limbah adalah dengan metode *Free Water Surface (FWS) constructed wetlands* secara batch. Parameter pencemar yang diteliti yaitu BOD, COD, TSS dan Sianida yang ada dalam air limbah industri tapioka dengan beberapa konsentrasi mulai dari 20, 40, 60, 80 dan 100%. Sedangkan waktu pengamatan dalam penelitian ini yaitu selama 10 hari

dimana dilakukan pengambilan sampel uji pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8 dan 10. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *constructed wetlands* mampu menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan Sianida masing-masing mencapai 97,9%, 84,4%, 45,6% dan 99,9% [1].

Eceng gondok juga dapat menekan laju pertumbuhan alga [10]. Salah satu alga yang berbahaya adalah *Microcystis aeruginosa*, menghasilkan sianotoksin yang dapat meningkatkan faktor risiko primer kanker hati dan kerusakan ginjal. Metode paparan racun yang biasanya terjadi yaitu dari sumber air yang tercemar melalui konsumsi, baik dengan meminum airnya atau memakan ikan yang ada berasal dari air [10].

### ***Echinodorus palaefolius* (Melati air)**

Kemampuan tanaman melati air dalam sistem *constructed wetland* pada media pasir dan biochar untuk menurunkan kandungan BOD dan COD air limbah industri tahu dilakukan dengan cara *subsurface wetland* aliran kontinu dengan debit aliran 0,0027 m<sup>3</sup>/jam, pada waktu tinggal 12 jam dan 18 jam dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Seleksi tanaman melati air yang digunakan berdasarkan kriteria yaitu berumur kurang lebih 2 bulan dengan kesamaan ukuran panjang batang kurang lebih 50 cm dan panjang daun antara 20–27 cm dan diameter masing-masing batang antara 0,5–1 cm. [7].

Variasi reaktor yang digunakan terdiri dari 4 variasi. Reaktor A berisi media pasir dengan waktu tinggal 12 hari, Reaktor B berisi media pasir dengan waktu tinggal 18 hari. Reaktor C berisi media *biochar* sekam padi dengan waktu tinggal 12 hari, dan Reaktor D berisi *biochar* sekam padi dengan waktu tinggal 18 hari. Masing-masing reaktor terdiri dari 3 buah tanaman melati air dengan jumlah batang untuk masing-masing tanaman antara 5–7 tangkai [7].

Kondisi fisik air limbah yang digunakan dalam percobaan berwarna kuning keruh, berbau asam, dan terdapat gumpalan-gumpalan ampas tahu berukuran kecil. Pengolahan awal dilakukan dengan penyaringan sederhana. Dari data awal diperoleh kadar BOD sebesar 1899,9 mg/L dan kadar COD sebesar 4895,9 mg/L. Sedangkan nilai pH pada semua reaktor rata-rata berkisar antara 6,4-6,6 [7].

Tabel 5. Efektifitas BOD<sub>5</sub> Removal Limbah Tahu

Variasi	Efektifitas BOD <sub>5</sub> Removal, %				
	Reaktor	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Reaktor A	26,22	32,32	21,08	23,35	26,9
Reaktor B	31,19	27,51	38,87	37,63	36,73
Reaktor C	32,94	30,68	35,36	26,38	25,14
Reaktor D	50,52	41,89	47,26	40,80	44,72

Tabel 6. Efektifitas COD Removal Limbah Tahu

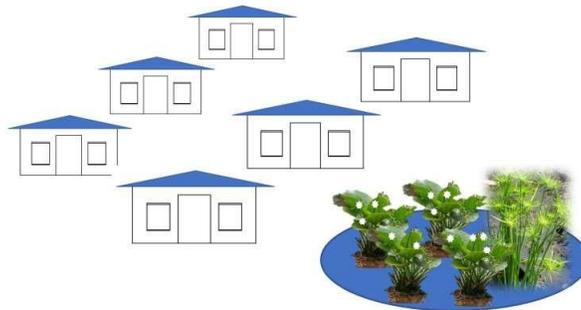
Variasi	Efektifitas COD Removal, %				
	Reaktor	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Reaktor A	18,02	28,09	21,08	28,25	22,03
Reaktor B	35,08	29,32	41,68	38,1	37,97
Reaktor C	35,5	34,36	25,65	25,56	31,09
Reaktor D	55,02	46,59	49,81	42,11	45,91

### **Pemusnahan Tanaman Fitoremediasi**

Tanaman yang digunakan dalam proses remediasi pertumbuhan/perkembangannya dikendalikan dengan beberapa cara. Pada tanaman yang mengurai limbah domestik dan limbah organik, perkembangan dari

jumlah tumbuhan dikendalikan dengan cara dipanen dan dapat dioleh menjadi bio massa alternatif, barang kerajinan, maupun sebagai tumbuhan hias. Sedangkan pada tanaman yang digunakan untuk mengolah limbah terkontaminasi logam berat, perlu dilakukan penanganan khusus.

Melati air (*Echinodorus palaefolius*), Alang-alang air (*Cyperus papyrus*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dikombinasikan untuk membuat taman tumbuhan air yang berfungsi secara fitoremediasi maupun berfungsi estetis. Metode ini dapat diterapkan pada pemukiman penduduk dengan membuat taman fitoremediasi komunal, misalnya dengan membangun taman tanaman air di area tanah fasilitas umum. Air yang diolah adalah air limbah domestik dari masyarakat setempat. Sedangkan sampah dari tumbuhan yang ada di kolam tersebut dapat dibuat menjadi media tanam (pupuk kompos) atau bisa juga dengan menjadikannya menjadi bahan baku bio massa briket.



Gambar 1. Communal Wetland Garden

Hasil panen dari Eceng gondok juga dapat bernilai komersial dengan mengolahnya menjadi produk kerajinan. Batang serat eceng gondok dengan ukuran pangkal tangkai dan tangkai daun sedikit ramping, cocok digunakan sebagai material produk kerajinan berukuran kecil dan sedang. Contoh penerapannya pada produk gelang, lapisan alas sandal, tali pada sandal, tali selempang untuk tas, tali pegangan untuk produk keranjang, tali gantungan wadah pot, dan pelindung HP. Untuk menjadi sebuah produk karya kerajinan, serat eceng gondok harus melalui banyak proses, meliputi proses pemilihan eceng gondok saat dipanen, proses pengeringan, proses pemipihan serat, dan cara olah dari tiap produk yang akan mempengaruhi produk dari segi estetikanya [11].

Eceng Gondok juga mengandung nutrisi seperti vitamin A, vitamin B1, dan vitamin C. Tak kalah dengan sayuran, nutrisi dalam eceng gondok juga dapat memberikan manfaat bagi kesehatan dan kecantikan. Salah satunya adalah pembuatan masker wajah dengan bahan baku utama dari serbuk Eceng Gondok. Daun Eceng gondok dipercaya mampu mengatasi jerawat lantaran memiliki senyawa yang bersifat anti radang. Bahkan masyarakat Filipina telah memanfaatkan daun ini dengan dicampur air lemon untuk mengobati masalah kulit seperti jerawat [12].

Hasil pemanenan tanaman fitoremediasi non logam berat juga dapat digunakan sebagai bio massa berupa arang briket dan biogas. Pembuatan arang briket berbahan dasar Eceng gondok misalnya, dilakukan melalui proses pengeringan bahan, pencampuran bahan, pembakaran bahan-bahan, pencampuran tepung, pembentukan priket, penjemuran briket serta uji coba hasil produk briket [13]. Konsep dasarnya adalah proses pengurangan tanaman fitoremediasi, untuk kemudian dimanfaatkan sisa kalor pada arangnya.

Sedangkan pengolahan hasil pemanenan tanaman fitoremediasi menjadi biogas dilakukan dengan cara *digesting*. Biogas adalah suatu jenis gas yang bisa dibakar, yang diproduksi melalui proses fermentasi anaerobik bahan organik seperti kotoran ternak dan manusia, biomassa limbah pertanian atau campuran keduanya, didalam suatu ruang pencernaan (*digester*) [14]. Tahapan pengolahannya adalah dengan proses pengasaman substrat dengan  $H_2SO_4$  5% hingga pH 2, kemudian dipanaskan pada suhu  $170^{\circ}C - 200^{\circ}C$  selama 1 jam. Setelah dihidrolisis, substrat diberi penambahan NaOH 1 M untuk mengembalikan pH susbtrat pada kisaran normal 6,8-8. Substrat kemudian ditambahkan biostarter dengan dosis 1:1 yang berasal dari campuran kotoran sapi dan usus bekicot. Setelah 61 hari proses *digesting*, 50 gram substrat dan 50 gram biostarter dapat menghasilkan 102 ml biogas [14].

Pemanfaatan tanaman fitoremediasi terkontaminasi logam berat dapat menyebabkan cemaran lanjutan (polusi sekunder) jika tidak ditangani dengan benar. Tanaman tersebut tergolong limbah biologis berbahaya yang memerlukan penanganan tepat untuk pemanfaatannya maupun pemusnahannya [15]. Paparan tinggi logam berat pada manusia, ditemukan mempengaruhi sistem saraf pusat, ginjal, metabolisme, dan inaktivasi enzim,

mengakibatkan kerusakan DNA. Toksisitas logam berat juga menyebabkan masalah imunologi, reproduksi, kardiovaskular, gangguan ginjal, neurologis, dan kehamilan. Selain itu, penyakit ginjal kronis, hipertensi, penyakit kardiovaskular, aborsi, peningkatan indeks mitosis sel kulit, pneumonitis, disfungsi ginjal, demineralisasi tulang, cedera sel endotel, dan endositosis protein juga dapat menjadi ancaman potensial. Logam berat berpotensi terserap di ginjal, hati, paru-paru, testis, limpa, timus, jantung, epididimis, prostat, dan kelenjar ludah dan dapat menimbulkan ancaman kesehatan serius bagi masyarakat [16].

Metode potensial untuk mengelola biomassa fitoremediasi, diantaranya adalah pengomposan, pemadatan lindi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, torefaksi, dan *recovery* logam. Untuk mengukur keberlanjutan teknik fitoremediasi dan ekstraksi logam berat, penilaian siklus hidup (*Life Cycle Assessment*) dan biaya siklus hidup (*Life Cycle Costing*) perlu dilakukan. Penilaian siklus hidup dan biaya siklus hidup adalah alat pengambilan keputusan dan penilaian yang vital. Dengan penilaian menggunakan penilaian siklus hidup dan biaya siklus hidup menunjukkan bahwa pembuangan biomassa yang tepat pada hasil fitoremediasi logam berat merupakan bio produk yang berharga [17].

## Kesimpulan

Fitoremediasi menggunakan tanaman air *Cyperus papyrus* (alang-alang air), *Eichhornia crassipes* (eceng gondok) dan *Enchinodorus palaefolius* (melati air) cukup efektif untuk menurunkan nilai BOD dan COD pada air limbah. Alang-alang air mampu mengurai kandungan COD dan BOD pada air limbah domestik, pada konsentrasi limbah 60% dengan waktu penguraian 15 hari kerja, dari nilai BOD 64 mg/L menjadi 4,61 mg/L nilai COD 67 mg/L menjadi 10,94 mg/L. Eceng gondok mampu mengurai kandungan COD dan BOD pada air limbah domestik, dengan waktu penguraian 25 hari, dari nilai BOD 14,8 mg/L menjadi 9,6 mg/L dan nilai COD 296,45 mg/L menjadi 80,85 mg/L. Sedangkan melati air, dengan media tanam biochar sekam padi dengan waktu tinggal 18 hari, mampu menurunkan nilai BOD limbah pabrik tahu sebesar 45,04% dari konsentrasi awal 18899,9 mg/L dan mampu menurunkan nilai COD sebesar 47,89% dari konsentrasi awal 4895,9 mg/L.

Tanaman rumput bebek, mampu mengumpulkan parikel mikroplastik yang mencemari air permukaan. Selama percobaan 12 minggu, jumlah mikroplastik yang menempel dengan lemah minimum  $0,65 \pm 0,33$  dan maksimum  $1,93 \pm 0,53$  partikel/mg berat tanaman segar. Sedangkan jumlah mikroplastik yang menempel kuat minimum  $0,23 \pm 0,05$  dan maksimum  $0,47 \pm 0,14$  partikel/mg berat tanaman segar.

Tanaman genjer mampu menyerap cemaran logam berat Pb pada air. Setelah proses penyerapan 3 hari, konsentrasi 2,44 mg/L Pb pada reaktor kontrol berbanding dengan 0,65 mg/L Pb pada reaktor dengan 15 tanaman genjer.

Pada tanaman yang mengurai limbah domestik dan limbah organik, perkembangan dari jumlah tumbuhan dikendalikan dengan cara dipanen dan dapat diolah menjadi bio massa alternatif, barang kerajinan, maupun sebagai tumbuhan hias. Sedangkan pada tanaman yang digunakan untuk mengolah limbah terkontaminasi logam berat, perlu dilakukan penanganan khusus, diantaranya dengan pemadatan lindi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, torefaksi, dan *recovery* logam.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Ibu Putri Anggun Sari, S.Pt., M.Si. selaku penulis korespondensi sehingga review jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik.

## Daftar Rujukan

- [1] E. Siswoyo, N. Kumalasari, Faisal, and Kasam, "CONSTRUCTED WETLANDS DENGAN TUMBUHAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAPIOKA," 2020.
- [2] D. Kebun *et al.*, "Persepsi Penerapan Fitoremediasi melalui Taman Tematik Akuatik The Perception of Phytoremediation Through Aquatic Thematic Collection in Purwodadi Botanic Gardens," 2019.
- [3] A. Kafle, A. Timilsina, A. Gautam, K. Adhikari, A. Bhattarai, and N. Aryal, "Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents," *Environmental Advances*, vol. 8. Elsevier Ltd, Jul. 01, 2022. doi: 10.1016/j.envadv.2022.100203.
- [4] S. A. Bhat *et al.*, "Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach," *Chemosphere*, vol. 303, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134788.
- [5] U. Rozman, A. Jemec Kokalj, A. Dolar, D. Drobne, and G. Kalčíková, "Long-term interactions between

- microplastics and floating macrophyte *Lemna minor*: The potential for phytoremediation of microplastics in the aquatic environment,” *Science of the Total Environment*, vol. 831, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154866.
- [6] A. Rahmawati *et al.*, “Perencanaan Sistem Lahan Basah Buatan dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman *Cyperus papyrus*,” 2022. [Online]. Available: <http://envirotek.upnjatim.ac.id/>
- [7] M. al Kholif, J. Sutrisno, and W. Sulistyono Dewi, “Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada Constructed Wetland untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu,” *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 107–115, 2020, [Online]. Available: <http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/alard/index>
- [8] R. Lidiana, D. Suprayogi, and S. Nengse, “CAPABILITY OF YELLOW VELVETLEAF (*LIMNOCHARIS FLAVA*) TO REDUCE THE LEVELS OF HEAVY METAL LEAD ON ARTIFICIAL WASTEWATER,” *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 8, no. 1, pp. 72–83, 2022.
- [9] A. Rahmawati and W. -, “Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk Menghasilkan Air Bersih di Perumahan Green Tombro Kota Malang,” *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2020, doi: 10.26760/jrh.v4i1.1-8.
- [10] J. Auchterlonie, C. L. Eden, and C. Sheridan, “The phytoremediation potential of water hyacinth: A case study from Hartbeespoort Dam, South Africa,” *S Afr J Chem Eng*, vol. 37, pp. 31–36, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.sajce.2021.03.002.
- [11] F. Ari Dartono, P. Studi Kriya Seni, and F. Seni Rupa dan Desain, “Studi Kasus Serat Eceng Gondok Pada Produk Kerajinan Di Industri Kreatif Bengok Craft,” 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.isi-ska.ac.id/index.php/ornamen/>
- [12] O. Research Paper Pemanfaatan Tanaman Eceng Gondok Menjadi Produk Bernilai Ekonomis Berbasis Zero Waste di Kelurahan Semayan Bq Rani Dewi Wulandani *et al.*, “under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license. Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA,” 2021, doi: 10.29303/jpmipi.v3i2.1057.
- [13] O. Research Paper Pemanfaatan Eceng Gondok untuk Briket Sebagai Bahan Bakar Energi Alternatif di Kelurahan Panji Sari *et al.*, “Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA,” 2021, doi: 10.29303/jpmipi.v3i2.942.
- [14] J. S. Tangio, “Pemanfaatan Biomassa Eceng Gondok Dari Danau Limboto Sebagai Penghasil Biogas,” *Jamb.J.Chem*, no. 1, pp. 27–33, 2019.
- [15] Z. Liu and K. Q. Tran, “A review on disposal and utilization of phytoremediation plants containing heavy metals,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 226. Academic Press, Dec. 15, 2021. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112821.
- [16] R. Nag, S. M. O'Rourke, and E. Cummins, “Risk factors and assessment strategies for the evaluation of human or environmental risk from metal(loid)s – A focus on Ireland,” *Science of the Total Environment*, vol. 802. Elsevier B.V., Jan. 01, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149839.
- [17] A. H. A. Khan *et al.*, “Sustainability of phytoremediation: Post-harvest stratagems and economic opportunities for the produced metals contaminated biomass,” *Journal of Environmental Management*, vol. 326. Academic Press, Jan. 15, 2023. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116700.