E-ISSN. 2809-9346
Journal of Global Forest and Environmental Science Vol. 4, No. 1 June 2024

FITOREMEDIASI DENGAN BERBAGAI JENIS TUMBUHAN : REVIEW

Phytoremediation with Various Types of Plants : Review

Maria Paulina[1*], dan Mela Faradika[1]
Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, 38371
[*]*Corresponding Author* : mariapaulina@unib.ac.id

ABSTRACT

Phytoremediation is the use of plants to reduce heavy metal content. There are several divisions of phytoremediation, namely, Phytoextraction, Rhizofiltration, Phytodegradation, Phytostabilization, and Phytovolatilization. There are several types of plants that are often used for phytoremediation, such as water hyacinth, water jasmine, Eleocharis dulcis, pistia stratiotes, and vetiver zizanioides. Phytoremediation by utilizing various types of plants can increase pH or can withstand acidic pH and can absorb heavy metals. The aim of this study is to discuss phytoremediation with various types of plants that are often used. The research method uses literature studies by reading, recording and collecting literature studies from various sources. Based on literature studies, water hyacinth is more effective in removing Cr in the first experiment 94%, the second 97%, and the third 91%. Water jasmine is able to have a significant effect on reducing BOD (Biological Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) levels in batik waste. Purun tikus can accumulate Fe and Mn with FBK of 1010.86 and 1.45, respectively. Apu wood can increase pH from 4.0 to 7.0, copper content from 7.0 to 0.9 mg/ln for 14 days, and can reduce Mn metal content by 55.56%-100% and Cd by 81.81-100%. The reduction of Pb metal in contaminated soil will be effective if the planting of fragrant roots is carried out for 25 days.

Keywords: Echhorni crassipes; Eleocharis dulcis; Phytoremediation; Pistia Stratiotes; Vetiver zizanioides

ABSTRAK

Fitoremediasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk menurunkan kandungan logam berat. Ada beberapa pembagian fitoremediasi yaitu, fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, dan fitovolatilisasi. Ada beberapa jenis tumbuhan yang sering digunakan untuk fitoremediasi, seperti eceng gondok, melati air, purun tikus, kayu apu, dan akar wangi. Fitoremediasi dengan memanfaatkan berbagai jenis tumbuhan dapat menaikkan pH ataupun dapat bertahan pada pH asam serta dapat menyerap logam berat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas fitoremediasi dengan berbagai jenis tumbuhan yang sering digunakan. Metode penelitian menggunakan studi literatur dengan membaca, mencatat dan mengumpulkan studi pustaka dari berbagai sumber. Berdasarkan studi literatur, eceng gondok lebih efektif dalam menghilangkan Cr pada percobaan pertama 94%, kedua 97%, dan ketiga 91%. Melati air mampu berpengaruh nyata terhadap penurunan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah batik. Purun tikus dapat mengakumulasi Fe dan Mn dengan FBK masing-masing sebesar 1010,86 dan 1,45. Kayu apu dapat menaikkan pH dari 4,0 menjadi 7,0, kandungan tembaga dari 7,0 menjadi 0,9 mg/l selama 14 hari, dan mampu menurunkan kandungan logam Mn 55.56%-100% dan Cd 81.81-100%. Penurunan logam Pb di tanah tercemar akan efektif bila penanaman akar wangi dilakukan selama 25 hari.

Keywords: Echhorni crassipes; Eleocharis dulcis; Fitoremediasi; Pistia Stratiotes; Vetiver zizanioides

PENDAHULUAN

Menurut (Undang-undang Republik Indonesia, 2009) pertambangan merupakan tahapan kegiatan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan

pemurnian, pengangkutan, dan penjualan serta kegiatan pascatambang. Berdasarkan hasil penelitian (Listiyani dan Nopliardy, 2016) dampak aktivitas pertambangan meliputi kerusakan lingkungan, tingkat pencemaran tanah, air dan udara yang tinggi, maupun kerusakan bangunan rumah dan fasilitas umum bagi masyarakat, sehingga pemerintah perlu menyelenggarakan fungsi mengatur, mengurus, dan mengawasi terhadap pengelolaan sumber daya alam.

Pencemaran berbagai jenis kandungan logam berat seperti Pb, Cu, dan Zn disebabkan karena tidak adanya penanganan terhadap lahan bekas tambang. Lingkungan dan manusia akan menjadi berbahaya karena adanya sifat racun yang dikeluarkan dari kandungan logam berat yang telah melebihi ambang batas. Menurut (Sarie, 2019) Kandungan logam Pb dalam buah pisang dan pepaya masing-masing sebesar 67 dan 53 mg/kg yang berada di atas batas aman SNI yaitu 0,5 mg/kg. Lahan bekas tambang yang akan dijadikan lahan pertanian perlu perencanaan evaluasi dan pengelolaan lahan yang komprehensif. Kandungan logam berat Cd dan Hg yang jauh melebihi ambang batas juga ditemukan di daerah sekitar penambangan emas di sungai Kuantan yaitu sebesar 0,19 ppm logam Cd, sedangkan 6,08 ppm merupakan kandungan logam Hg tertinggi pada lokasi T3 (Hatika, 2022).

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menurunkan kandungan logam berat yaitu dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan pembersihan lingkungan yang terkontaminasi menggunakan berbagai jenis tumbuhan. Kontaminasi tersebut dapat berupa logam, pestisida, bahan peledak maupun minyak. Tanaman juga dapat membantu supaya kontaminasi tidak menyebar terlalu luas melalui angin, hujan, dan aliran air tanah (EPA, 2012). Fitoremediasi juga dapat diartikan untuk mengasimilasi dan mengumpulkan bahan-bahan beracun dari dalam tanah dengan pemanfaatan tumbuhan. Penggunaan fitoremediasi dapat menghemat biaya operasional, efektif dalam monitoring perkembangan tanaman, dan dapat mempertahankan kondisi alamiah (Herniwanti, 2021)

Ada beberapa jenis tumbuhan yang dapat dipergunakan sebagai fitoremediasi, seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), ekor kucing (*Typha angustifolia*), purun tikus (*Eleocharis dulcis*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), dan sebagainya. Penggunaan jenis tumbuhan ekor kucing dari segi waktu dalam mengelola pH, Fe, dan Mn memiliki ketahanan hidup dibandingkan jenis tumbuhan lain pada air limbah asam tambang (Fridtriyanda, Sutoyo dan Herniti, 2022). Namun, yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air limbah pertanian, domestik dan industri adalah kiambang (*Salvinia molesta*) dan kayu apu. Selama fitoremediasi polutan dari air limbah terdapat 4 interaksi utama di rizosfer, yaitu fitostimulasi, rhizofiltrasi, rhizodegradasi, dan fitostabilisasi. Fitoremediasi dapat bekerja dengan baik selama terpenuhnya kebutuhan sinar matahari, nutrisi spesifik untuk pertumbuhan tanaman, suhu, kelembaban, dan sebagainya. Di negara tropis, fitoremediasi dinilai sangat cocok karena sinar matahari yang bersinar sepanjang tahun, serta adanya suhu dan kelembaban yang optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Imron, 2023). Tujuan dari tulisan ini adalah untuk membahas fitoremediasi dengan berbagai jenis tumbuhan yang sering digunakan

MATERI DAN METODE

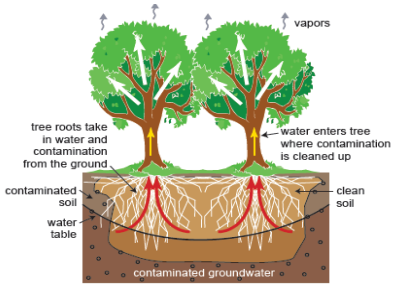
Kajian pustaka didapat dengan cara mencari berbagai studi literatur yang berkaitan dengan metode fitoremediasi serta berbagai jenis tumbuhan yang sering digunakan. Literatur tersebut dari beberapa sumber, baik dari jurnal, buku, maupun laporan sehingga menjadi informasi yang bermakna dan berguna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fitoremediasi dan Prinsipnya

Fitoremediasi memerlukan waktu yang cukup lama (beberapa tahun) untuk membersihkan lahan dari kontaminasi. Ada beberapa faktor yang membuat lamanya fitoremediasi, yaitu tingginya konsentrasi kontaminan, luas atau dalamnya area yang terkontaminasi, masa tumbuh tanaman yang lama, dan waktu tanam yang singkat. Proses alami yang bisa dilakukan tanaman untuk membersihkan kontaminan sampai ke akar-akarnya yaitu dengan (1) menyimpan kontaminan pada akar, batang, dan daun, (2) mengubah menjadi bahan kimia yang tidak berbahaya di dalam tanaman, (3) mengubah menjadi uap dan dilepaskan ke udara, dan (4) menyerap (menempelkan) kontaminan ke akarnya karena adanya mikroba (EPA, 2012)

Menurut (Yan *et al.*, 2020) fitoremediasi menjadi teknik revegetasi tanah tercemar logam berat yang dapat diterima masyarakat dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik lainnya. Untuk memodifikasi tanaman seperti pertumbuhan cepat, produksi biomassa tinggi, toleransi dan akumulasi logam berat yang tinggi serta kondisi iklim dan geologi yang dapat beradaptasi dengan baik merupakan pendekatan rekayasa genetika yang dapat dilakukan. Peningkatan akumulasi atau toleransi logam berat pada tanaman dapat dimanipulasi.



Gambar 1. Mekanisme fotoremediasi tanaman (EPA, 2012)

Ada 5 pembagian fitoremediasi, yaitu :

1. Fitoekstraksi
   Fitoekstraksi atau dikenal juga dengan fitoakumulasi merupakan teknik yang lebih efisien dan bermanfaat, namun memiliki proses yang sulit. Tumbuhan menyerap zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan. Setelah akumulasi logam berat tingkat tinggi di bagian tanaman, tanaman dipanen dan kemudian dibakar setelah dikeringkan, sehingga menghasilkan bahan yang mengandung polutan pekat yang dibuang secara terpisah (Ghori *et al.*, 2016).
2. Rizofiltrasi
   Rizofiltrasi adalah absorpsi suatu kontaminan yang masuk ke dalam akar, dimana di sekitar zona akar kontaminan tersebut akan terlarut. Proses rhizofiltrasi bergantung pada waktu karena adanya mekanisme biosorpsi dan bioakumulasi. Rhizofiltrasi yang memanfaatkan tanaman untuk menyerap dan menetralisir polutan dalam air tanah merupakan alternatif ramah lingkungan yang potensial dalam

mitigasi pencemaran air tanah (Kristanti *et al.*, 2021).

3. Fitodegradasi
   Fitodegredasi yaitu proses isolasi racun yang memiliki atom kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan sub-atom yang tidak komplek yang dilakukan oleh tumbuhan, yang dapat menguntungkan perbaikan tumbuhan itu sendiri (Herniwanti, 2021).
4. Fitostabilisasi
   Fitostabilisasi merupakan zat-zat kontaminan yang menempel pada akar dan tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Prosesnya meliputi transpirasi dan pertumbuhan akar yang melumpuhkan kontaminan dengan mengurangi pencucian, mengendalikan erosi, menciptakan lingkungan aerobik di zona akar, dan menambahkan bahan organik ke substrat yang mengikat kontaminan. Aktivitas mikroba yang berhubungan dengan akar tanaman dapat mempercepat degradasi kontaminan organik seperti pestisida dan hidrokarbon hingga bentuk tidak beracun (Bolan *et al.*, 2011).
5. Fitovolatilisasi
   Fitovolatilisasi adalah zat kontaminan yang diserap dan ditranspirasikan oleh tanaman dalam bentuk larutan terurai sebagai zat yang tidak berbahaya yang kemudian diuapkan ke atmosfer. Senyawa organik yang mudah menguap dapat menguap dari batang atau daun (fitovolatisasi langsung) atau dari tanah akibat aktivitas akar tanaman (fitovolatisasi tidak langsung). Fluks kontaminan yang menguap dari tanaman sangatlah penting dalam berbagai skala, mulai dari tumpahan kontaminan lokal hingga fluks metana global yang berasal dari ekosistem yang secara biokimia mengurangi karbon organik (Limmer dan Burken, 2016).

Lahan Basah

Lahan basah adalah wilayah dimana air merupakan faktor utama yang mengendalikan lingkungan dan kehidupan tumbuhan dan hewan yang terkait. Hal ini terjadi ketika permukaan air berada pada atau dekat permukaan tanah, atau ketika tanah tertutup air. Pada pasal 1.1 konvensi ramsar, disebutkan bahwa lahan basah adalah “kawasan rawa, rawa, lahan gambut atau perairan, baik alami maupun buatan, tetap atau sementara, yang airnya diam atau mengalir, tawar, payau atau asin, termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya pada saat air surut tidak melebihi enam meter”. Tipe-tipe Lahan basah yang umumnya dikenal ada *marine* (kawasan laut), *estuarine* (kawasan muara), *lacustrine* (kawasan danau), *riverine* (kawasan sungai), dan *palustrine* (kawasan rawa) (US EPA, 2012).

Lahan basah sangat penting karena memberikan layanan berharga bagi manusia dan ekologi, seperti melindungi tanah dari banjir, erosi dan degradasi tanah. Hal ini sangat penting bagi keanekaragaman hayati, sebagai tempat berlindung bagi burung-burung yang bermigrasi. Air lahan basah digunakan untuk keperluan irigasi dan minum, sehingga sangat penting untuk mengetahui kualitas air dan tanah (Gajjar dan Solanki, 2021). Vegetasi memainkan peran penting dalam pengolahan air limbah lahan basah. Tumbuhan menyediakan substrat bagi

mikroorganisme, yang merupakan pengolah kontaminan air limbah yang paling penting. Tumbuhan juga menyediakan sumber karbon bagi mikroorganisme. Tumbuhan mengasimilasi unsur hara, namun seiring dengan bertambahnya usia tanaman, sebagian unsur hara dilepaskan kembali ke dalam air. Sebagian unsur hara tertahan di bagian serasah tanaman yang belum terurai dan terakumulasi di dalam tanah. Tanaman memberi oksigen pada zona akar dengan melepaskan oksigen dari akarnya, dan menyediakan habitat bagi mikroorganisme aerob di dalam tanah yang tereduksi (Brix, 2003).

Pemilihan Beberapa Tumbuhan untuk Fitoremediasi

Eceng Gondok (*Echhorni crassipes*)

Eceng gondok adalah makrofita akuatik yang mengambang bebas, berkembang biak baik secara vegetatif, melalui ramet yang terbentuk dari tunas ketiak pada stolon, dan secara seksual melalui produksi benih. Menurut (Karno *et al.*, 2020), perairan yang memiliki banyak nutrien menyebabkan kemampuan tumbuh eceng gondok menjadi sangat cepat yang dapat berkembang menjadi 2 kali lipat dalam waktu 7-10 hari.

Penurunan TDS dan logam berat dapat berpengaruh dengan adanya pemberian eceng gondok, kayu apu dan kombinasi. Penurunan TDS dapat berkurang 50-65% selama 20 hari. Terjadi penurunan paling tinggi sebesar 303 ppm pada ulangan ke-2 pada tanaman kayu apu, 243 ppm, ulangan ke-3 pada tanaman eceng gondok, serta 299 ppm terjadi penurunan dengan kombinasi (Hidayah dan Soeprobowati, 2018). Tak hanya itu, eceng gondok juga mampu secara efektif menghilangkan Cr dan Li pada konsentrasi rendah. Cr tidak menunjukkan efek berbahaya pada tanaman, sedangkan Li menunjukkan beberapa efek negatif. Efeknya terus meningkat seiring dengan peningkatan dosis Li (hingga 40 ppm). Pada Cr dan Li, eceng gondok menghilangkan konsentrasi Cr yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan Li, menunjukkan bahwa eceng gondok lebih efektif untuk menghilangkan Cr yaitu 94%, 97%, dan 91% Cr dihilangkan masing-masing setelah pengaturan percobaan pertama, kedua dan ketiga (Hayyat *et al.*, 2023). Begitu juga dengan hasil penelitian (Buta *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa eceng gondok memiliki fitoremediasi yang tinggi untuk polutan air limbah umum dengan hasil 99–100% untuk nitrogen amoniak, 95% untuk fosfor, 96% untuk besi, dan 94% untuk kromium. Namun, kapasitas remediasi untuk nitrat dan nitrit kurang signifikan.

Melati Air (*Echinodorus palaefolius*)

Perlakuan bobot tanaman melati air yang digunakan memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah batik. Parameter BOD dengan perlakuan 0,5 Kg mempunyai kemampuan degradasi paling baik dibandingkan dengan perlakuan 1 kg dan 0,75 kg (Nur dan Slamet, 2020). Melati air juga mampu mengatasi pencemaran air limpasan *stockpile* batubara pada parameter pH. Aktivitas biokimiawi mikroorganisme yang terdapat pada media air dan akar tanaman menyebabkan kenaikan nilai pH. Efektivitas dalam pencapaian pH netral dipengaruhi dengan adanya jumlah (bobot) tanaman melati air dan lamanya waktu eksperimen. Perubahan fisik yang terjadi pada tanaman melati air yaitu daun yang

layu pada beberapa helai namun tetap ada tunas baru yang muncul (Ramadhani *et al.*, 2023).

Sejalan dengan hasil penelitian (Susanto *et al.*, 2021) pada akhir fitoremediasi, melati air mampu meningkatkan kualitas air dengan menurunkan pH, suhu, BOD, dan kadar LAS (*Linear Alkylbenzene Sulphonate*) dari 20 ppm menjadi 0,078 ppm. Morfologi daun seperti klorosis, nekrosis, dan layu karena dipengaruhi kadar LAS. Adapun morfologi melati air di awal dan akhir perlakuan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Morfologi melati air pada awal dan akhir perlakuan

Hari ke-	Morfologi daun	Keterangan
0		Daun berwarna hijau dan tampak segar
1		Mulai ditemukan kekuningan dan terdapat bercak kecoklatan, namun daun masih segar
2		Semakin banyak bercak kecoklatan pada daun
3		Bercak kecoklatan semakin banyak dan daun tampak mengering
4		Terlihat pada daun yang semakin mengering dan bercak kecoklatan semakin banyak
5		Daun terlihat semakin kering dan semakin banyak dan pada keseluruhan tepi daun terdapat bercak kecoklatan

6		Daun terlihat keriput dan terdapat daun yang kering seluruhnya
7		Tampak mengering, keriput, dan layu di hampir seluruh daun

Sumber : (Susanto *et al.*, 2021)

Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*)

Sebagai hiperakumulator logam Fe, purun tikus mampu menyerap logam Fe sebesar 1% bobot keringnya atau setara dengan 1.560 mg kg^{-1} Fe. Akumulasi logam hiperakumulator mencapai 11% dari berat kering (Napisah dan Annisa, 2020). Menurut (Juswardi *et al.*, 2023), kemampuan akar dan pucuk purun tikus dalam mengakumulasi logam berat Fe tergolong hiperakumulator karena BCF (*Bio Concentration Factor*) > 1 dimana terjadi penurunan kadar Fe pada inlet AMD ke outlet dari 7,89 ppm menjadi 0,25 ppm dan logam Mn pada inlet AMD (*Acid Mine* Drainage) dari 1,72 ppm menjadi 0,76 ppm pada outlet.

Pada pH <4 purun tikus dapat tumbuh dengan baik. Purun tikus dapat mengakumulasi Fe dan Mn dengan FBK (Faktor Bio Konsentrasi) masing-masing sebesar 1010,86 dan 1,45. Penurunan konsentrasi Fe dan Mn karena efisiensi kinerja lahan basah buatan masing-masing antara (87,11 – 95,28)% dan (70,08 – 79,84)% (Yunus dan Prihatini, 2018). Pengukuran pH, Fe, Mn pada hari ke-29 masing-masing menunjukkan naik 28% dari 5.29 menjadi 6.76, Fe turun sebesar 70% dari 12.19 menjadi 0.06 (ppm), dan Mn turun 38% dari 6,43 menjadi 3,97 (ppm) (Herniwanti *et al.*, 2013)

Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*)

Menurut (Novita, Moersidik dan Priadi, 2019), dalam waktu 14 hari *Pistia stratiotes* mampu mengubah kadar pH sebanyak 75% dengan kadar pH awal 4,0 hingga 7,0. Begitu juga untuk kandungan tembaga pada air asam tambang buatan dari 7 mg/l menjadi 0,9 mg/l dalam waktu 14 hari, dengan efisiensi penyisihan sebesar 88%. Terjadi juga perubahan morfologi akibat paparan air asam tambang buatan dapat diketahui dari perubahan warna pada daun, serta klorosis dan nekrosis pada kayu apu terlihat pada Gambar 2. Hasil penelitian (Prajapati, Meravi dan Singh, 2012) *Pistia stratiotes* dapat digunakan untuk fitoremediasi badan air yang tercemar logam beracun Cr dan Co secara berkelanjutan. Menurut (Purnama, Kusumawati dan Susanto, 2018) kandungan logam Mn dan Cd dalam air kolam bekas tambang batubara mampu diturunkan dengan adanya kayu apu masing-masing sebesar 55.56%-100% dan 81.81-100%.

Hari	Konsentrasi Cu 5 mg/l	Konsentrasi Cu 7 mg/l	Kontrol
0			
3			
7			
14			

Gambar 2. Perubahan morfologi pada *Pistia stratiotes*

Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*)

Tanaman akar wangi dapat mengakumulasi logam (Cd^{2+}) dari TPA Tamangapa Makassar sebesar 0,298 mg/Kg. namun, dengan adanya penambahan kompos kemampuan tanaman akar wangi menyerap Cd tidak memberikan pengaruh signifikan. Penyerapan logam Cd tertinggi pada kontrol dan terjadi fluktuasi pada perbandingan [5:1] dan [4:2]. Pada minggu ke-3 yaitu perbandingan [4,5:1,5] terjadi peningkatan penyerapan kemudian setelah minggu berikutnya terjadi penurunan (Patandungan, HS dan Aisyah, 2016). Penurunan logam Pb di tanah tercemar akan efektif bila penanaman akar wangi dilakukan selama 25 hari. Faktor transfer tanah tercemar ke tanaman akar wangi antara 0,4 – 0,7 (Rinarti dan Kamil, 2010).

KESIMPULAN

Eceng gondok, melati air, purun tikus, kayu apu, dan akar wangi adalah beberapa jenis tumbuhan yang sering digunakan sebagai fitoremediasi yang sudah terbukti untuk menaikkan pH, dapat menurunkan kadar logam berat seperti Cr, Pb, Fe, maupun Mn.

DAFTAR PUSTAKA

Bolan, N. S. *et al.* (2011) *Phytostabilization: A green Approach to Contaminant Containment, Advances in Agronomy*. doi: 10.1016/B978-0-12-385538-1.00004-4.

Brix, H. (2003) "Plants Used in Constructed Wetlands and Their Functions," *1st International Seminar on the use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands, edit. Dias V., Vymazal J.*, (December), hal. 81–109. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/230563384.

Buta, E. *et al.* (2023) "Comparative Phytoremediation Potential of Eichhornia crassipes, Lemna minor, and Pistia stratiotes in Two Treatment Facilities in Cluj County, Romania," *Horticulturae*, 9(4). doi: 10.3390/horticulturae9040503.

EPA (2012) *A Citizen ' s Guide to*. Tersedia pada: www.epa.gov/radon.

Fridtriyanda, A., Sutoyo, H. D. dan Herniti, D. (2022) "Studi Literatur Jenis Tanaman Pengelola Air Asam Tambang Batubara dengan Cara Fitoremediasi Pada Sistem Lahan Basah Buatan," *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, (November), hal. 494–500. Tersedia pada: https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/3689/1490.

Gajjar, J. dan Solanki, H. (2021) "A Review : Wetlands as Treasure of Earth by Providing Ecological Benefits, Threats to Wetlands and Conservation of Wetlands," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 8(2), hal. 136–140. doi: 10.32628/ijsrst218227.

Ghori, Z. *et al.* (2016) "Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soil," *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques*, (December), hal. 385–409. doi: 10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1.

Hatika, R. G. (2022) "Kandungan Logam Berat dalam Tanah pada Daerah Sekitar Penambangan Emas di Sungai Kuantan," *Sainsmat*, XI(1), hal. 95–103.

Hayyat, M. U. *et al.* (2023) "Evaluating the Phytoremediation Potential of Eichhornia crassipes for the Removal of Cr and Li from Synthetic Polluted Water," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), hal. 1–17. doi: 10.3390/ijerph20043512.

Herniwanti *et al.* (2013) "Water Plants Characteristic for Phytoremediation of Acid Mine Drainage Passive Treatment," *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13(6), hal. 1–14.

Herniwanti, H. (2021) *Fitoremediasi Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (AAT)*. Diedit oleh M. Afrida. Solok: Penerbit Mitra Cendekia Media. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/355666655.

Hidayah, N. dan Soeprobowati, T. R. (2018) "Fitoremediasi Limbah Air Tambang Batubara menggunakan Eceng Gondok dan Kiapu sebagai Alternative Pengelolaan Lingkungan," *Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurship V*, (Madaniyah), hal. 316–321. Tersedia pada: http://prosiding.upgris.ac.id/index.php/snsev/snse2018/paper/view/3011.

Imron, M. F. (2023) *Mekanisme Fitoremediasi dalam Pengolahan Air Limbah dan Tantangan dalam Penerapannya*, *UNAIR News*. Tersedia pada: https://unair.ac.id/mekanisme-fitoremediasi-dalam-pengolahan-air-limbah-dan-tantangan-dalam-penerapannya/ (Diakses: 15

November 2023).

Juswardi, J. *et al.* (2023) "Effectiveness of Waterchestnut (Eleocharis dulcis (Burm.f.) Trin. ex Henschel) in Phytoremediation of Coal Mine Acid Drainage in Constructed Wetlands," *Journal of Scientific Development and Research*, 8(6), hal. 1768–1772. Tersedia pada: www.ijsdr.org.
Karno *et al.* (2020) *Biogas Eceng Gondok dengan Digester Polyethilane*. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/345545836.

Kristanti, R. A. *et al.* (2021) "Rhizofiltration for Removal of Inorganic and Organic Pollutants in Groundwater: A review," *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), hal. 12326–12347. doi: 10.33263/BRIAC114.1232612347.

Limmer, M. dan Burken, J. (2016) "Phytovolatilization of Organic Contaminants," *Environmental Science and Technology*, 50(13), hal. 6632–6643. doi: 10.1021/acs.est.5b04113.
Listiyani, N. dan Nopliardy, R. (2016) "Dampak Pertambangan Terhadap Lingkungan Hidup di Kalimantan Selatan dan Implikasinya Bagi Hak-hak Warga Negara," *Prosiding Hasil-hasil Penelitian*, hal. 225–236.

Napisah, K. dan Annisa, W. (2020) "Peran Purun Tikus (Eleocharis dulcis) sebagai Penyerap dan Penetral Fe di Lahan Rawa Pasang Surut," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(1), hal. 53–59. doi: 10.21082/jsdl.v13n1.2019.53-59.
Novita, V. Z., Moersidik, S. S. dan Priadi, C. R. (2019) "Phytoremediation Potential of Pistia stratiotes to Reduce High Concentration of Copper (Cu) in Acid Mine Drainage," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355(1). doi: 10.1088/1755-1315/355/1/012063.

Nur, F. dan Slamet, I. (2020) "The phytoremediation of Echinodorus palaefolius (Water Jasmine) in Reducing BOD and COD of Liquid Waste - Batik Industry 'X' in Pekalongan," *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 12(3), hal. 215–222. doi: 10.30574/gscbps.2020.12.3.0303.

Patandungan, A., HS, S. dan Aisyah, A. (2016) "Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (Vetiver zizanioides) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar," *Al-Kimia*, 4(2), hal. 8–21. doi: 10.24252/al-kimia.v4i2.1676.

Prajapati, S. K., Meravi, N. dan Singh, S. (2012) "Phytoremediation of Chromium and Cobalt using Pistia stratiotes: A sustainable approach," *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(2), hal. 136–138.

Purnama, M. S., Kusumawati, E. dan Susanto, D. (2018) "Fitoremediasi Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Dalam Kolam Bekas Tambang Batubara Terhadap Penyerapan Logam Mangan (Mn) dan Kadmium (Cd)," *Bioprospek*, 13(1), hal. 33–39. Tersedia pada: https://fmipa.unmul.ac.id/jurnal/index/Bioprospek.

Ramadhani, A. C. *et al.* (2023) "Analisis Pengaruh Tanaman Melati Air sebagai Fitoremediasi dalam Mengatasi Pencemaran Air Limpasan Stockpile Batubara," *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(2), hal. 2050–2060. doi: 10.33087/jiubj.v23i2.3209.

Rinarti, A. dan Kamil, I. M. (2010) "Penggunaan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria zizanioides) untuk Menyisihkan Logam Timbal pada Tanah Tercemar Lindi Studi Kasus : Leuwigajah, Kota Cimahi," *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(1), hal. 21–30.

Sarie, H. (2019) "Potensi Bahaya Kontaminasi Logam Berat di Lahan Bekas Tambang

Batubara yang Digunakan Sebagai Lahan Pertanian," *Buletin Loupe*, 15(02), hal. 37–41. doi: 10.51967/buletinloupe.v15i02.40.

Susanto, A. D. *et al.* (2021) "Kemampuan Melati Air (Echinodorus palaefolius) sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkybenzene Sulphonate (LAS) Deterjen," *Prosiding SEMNAS BIO 2021 Universitas Negeri Padang*, (72), hal. 845–856.

Undang-undang Republik Indonesia (2009) *Undang Undang Republik Indonesia tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Uu No 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Dan Batubara*. Tersedia pada: https://eiti.ekon.go.id/v2/wp-content/uploads/2017/07/UU-4-TAHUN-2009.pdf (Diakses: 6 November 2023).

US EPA (2012) "What are Wetlands?," (1). Tersedia pada: http://water.epa.gov/type/wetlands/what.cfm.

Yan, A. *et al.* (2020) "Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land," *Frontiers in Plant Science*, 11(April), hal. 1–15. doi: 10.3389/fpls.2020.00359.

Yunus, R. dan Prihatini, N. S. (2018) "Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT Phytoremediation of Fe and Mn Acid of Coal Mine with Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) and LBB System at," *Jurnal Sainsmat*, VII(1), hal. 73–85. Tersedia pada: http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat.