

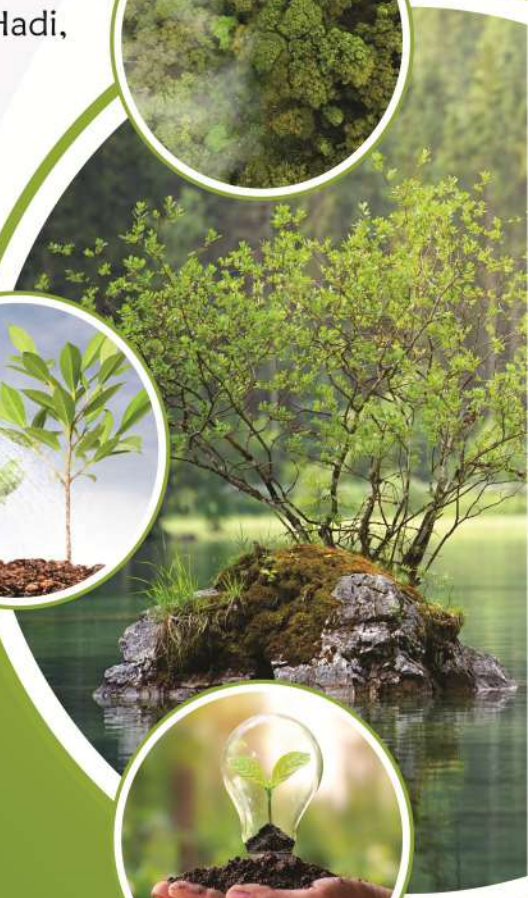


FITOREMEDIASI

SEBAGAI TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN: KONSEP DAN IMPLEMENTASI

Sri Rahayu Pudjiastuti, Nestiyanto Hadi,
Noer Sarifah Ainy, Iqbal Mujadid,
Ruri Anggara Akhirullah

Our Best
Services:



FITOREMEDIASI

SEBAGAI TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN: KONSEP DAN IMPLEMENTASI

Sri Rahayu Pudjiastuti, Nestiyanto Hadi,
Noer Sarifah Ainy, Iqbal Mujadid,
Ruri Anggara Akhirullah

FITOREMEDIASI SEBAGAI TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN: KONSEP DAN IMPLEMENTASI

Tim Penulis:

**Sri Rahayu Pudjiastuti, Nestiyanto Hadi, Noer Sarifah Ainy,
Iqbal Mujadid, Ruri Anggara Akhirullah**

Desain Cover:

Andi Juliandi

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Aas Masruroh

ISBN:

978-634-246-434-2

Cetakan Pertama:

November, 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: @penerbitwidina

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Rasa syukur yang teramat dalam dan tiada kata lain yang patut kami ucapkan selain mengucap rasa syukur. Karena berkat rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa, buku yang berjudul “Fitoremediasi Sebagai Teknologi Ramah Lingkungan: Konsep Dan Implementasi” telah selesai di susun dan berhasil diterbitkan, semoga buku ini dapat memberikan sumbangsih keilmuan dan penambah wawasan bagi siapa saja yang memiliki minat terhadap pembahasan tentang Fitoremediasi Sebagai Teknologi Ramah Lingkungan: Konsep Dan Implementasi.

Akan tetapi pada akhirnya kami mengakui bahwa tulisan ini terdapat beberapa kekurangan dan jauh dari kata sempurna, sebagaimana pepatah menyebutkan “*tiada gading yang tidak retak*” dan sejatinya kesempurnaan hanyalah milik tuhan semata. Maka dari itu, kami dengan senang hati secara terbuka untuk menerima berbagai kritik dan saran dari para pembaca sekalian, hal tersebut tentu sangat diperlukan sebagai bagian dari upaya kami untuk terus melakukan perbaikan dan penyempurnaan karya selanjutnya di masa yang akan datang.

Terakhir, ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan turut andil dalam seluruh rangkaian proses penyusunan dan penerbitan buku ini, sehingga buku ini bisa hadir di hadapan sidang pembaca. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat memberikan kontribusi bagi pembangunan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Pembelajaran	6
C. Manfaat Pembelajaran	6
D. Ruang Lingkup Materi	7
BAB II KONSEP DASAR FITOREMEDIASI	13
A. Pengertian Fitoremediasi	13
B. Pengertian Menurut Para Ahli	14
C. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Fitoremediasi	16
D. Prinsip Dasar Fitoremediasi	22
BAB III JENIS-JENIS FITOREMEDIASI	49
A. Fitodegradasi	49
B. Fitoekstraksi	54
C. Fitostabilisasi	88
D. Fitovolatilisasi	93
E. Rhizofiltrasi	99
BAB IV TANAMAN-TANAMAN FITOREMEDIATOR	123
A. Kriteria Tanaman Fitoremediator	123
B. Contoh Tanaman dan Spesialisasi Jenis Limbah	137
C. Studi Kasus Tanaman Lokal di Indonesia	169
BAB V METODE-METODE FITOREMEDIASI	177
A. Persiapan Tanaman	177
B. Sistem Reaktor Fitoremediasi	178
BAB VI PENERAPAN FITOREMEDIASI DI LINGKUNGAN	183
A. Fitoremediasi untuk Limbah Industri	184
B. Fitoremediasi untuk Limbah Pertanian	187
C. Fitoremediasi di Kawasan Pesantren dan Permukiman	191
D. Studi Kasus Lapangan Penerapan Fitoremediasi Pada Limbah Domestik di Pesantren Nurul Huda, Depok	197
BAB VII KELEBIHAN DAN KEKURANGAN FITOREMEDIASI	207
A. Kelebihan Fitoremediasi	207
B. Keterbatasan dan Tantangan	210
C. Perbandingan dengan Teknologi Remediasi Lainnya	212

BAB VIII IMPLEMENTASI FITOREMEDIASI DALAM PEMBELAJARAN..... 223

- A. Pembelajaran Kontekstual dan Proyek Lapangan 223
- B. Fitoremediasi Dalam Proyek Profil Pelajar Pancasila 225
- C. Rencana Proyek Mini Sekolah: "Kebun Remediasi" 227
- D. Integrasi Nilai Keagamaan dan Lingkungan..... 234

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu tantangan global yang semakin mendesak untuk ditangani. Perkembangan industri, ekspansi pertambangan, dan intensifikasi pertanian yang tidak terkendali telah menyebabkan kerusakan serius pada kualitas tanah dan air. Limbah-limbah berbahaya, seperti logam berat, pestisida, hidrokarbon, dan bahan kimia sintetis lainnya, sering kali dibuang ke lingkungan tanpa adanya proses pengolahan yang terstandar. Akibatnya, ekosistem menjadi rusak, keanekaragaman hayati menurun, dan kesehatan manusia turut terancam.

Pencemaran lingkungan merupakan isu krusial yang berdampak luas terhadap kualitas hidup manusia dan keberlangsungan ekosistem. Aktivitas antropogenik seperti industrialisasi, eksploitasi sumber daya alam melalui pertambangan, serta intensifikasi sektor pertanian telah menjadi penyumbang utama pencemaran tanah dan air. Limbah berbahaya yang dihasilkan, seperti logam berat (misalnya timbal, merkuri, dan kadmium), pestisida, hidrokarbon, serta senyawa organik sintetis lainnya, dapat terakumulasi dalam lingkungan dan menyebabkan gangguan ekologis serta kesehatan manusia.

Secara ekologis, pencemaran tanah dan air berdampak pada perubahan struktur komunitas mikroba, penurunan keanekaragaman hayati, serta rusaknya rantai makanan. Pencemaran juga mengakibatkan degradasi fungsi ekologis seperti penyerapan air, siklus nutrisi, dan kesuburan tanah. Dari sisi kesehatan, paparan terhadap senyawa berbahaya dapat menyebabkan penyakit degeneratif, kerusakan organ, bahkan risiko karsinogenik dalam jangka panjang. Pencemaran lingkungan merupakan salah satu persoalan serius yang dihadapi masyarakat global. Aktivitas industri, pertambangan, pertanian intensif, dan urbanisasi menghasilkan berbagai jenis limbah yang mencemari tanah dan air. Salah satu bentuk pencemaran yang paling berbahaya adalah kontaminasi logam berat, seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsenik (As), dan seng (Zn), yang bersifat toksik, persisten, dan sulit terurai di lingkungan (Alloway, 2013). Kontaminan tersebut dapat terakumulasi dalam rantai makanan, menurunkan produktivitas lahan, serta membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Ali et al., 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
- Alita Disanjaya. (2011). *Fitoremediasi (Phytoremediation)*. Diakses dari: <https://alitadisanjaya.blogspot.com/2011/03/fitoremediasi-phytoremediation.htm>
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer.
- Ashar, T. (n.d.). *Fitoremediasi*. Diakses dari: <https://text-id.123dok.com/document/oy8xpd5qr-fitoremediasi-dr-taufik-ashar-m-k-m.html>
- Cunningham, S. D., Berti, W. R., & Huang, J. W. (1996). Phytoremediation of Contaminated Soils. *Trends in Biotechnology*, 13(9), 393–397.
- Indonesia Students. (2016). *Pengertian Fitoremediasi dan Contoh Penerapan yang Berhasil*. Diakses dari: <https://www.indonesiastudents.com/pengertian-fitoremediasi-dan-contoh-penerapan-yang-berhasil>
- Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (2017). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*, 29(5), 1232–1238.
- Macek, T., Macková, M., & Káš, J. (2000). Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances*, 18(1), 23–34.
- Moenir, S. (2010). *Fitoremediasi dan Aplikasinya dalam Pengelolaan Lingkungan*. Universitas Sumatera Utara.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39.
- Pratomo, A., Widiatmaka, & Suharyanto. (2004). *Fitoremediasi: Teknologi Ramah Lingkungan untuk Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668.
- Suresh, B., & Ravishankar, G. A. (2004). Phytoremediation—A novel and promising approach for environmental clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology*, 24(2-3), 97–124.

- Tim Redaksi Ency UIN Malang. (2024). "Fitoremediasi." Diakses dari: <https://ency.uin-malang.ac.id/articles/fitoremediasi>
- Yuliani, E., Handayani, W., & Rini, R. (2020). Heavy metal contamination in Indonesian mining areas: Impacts and remediation strategies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 527.

BAB II

KONSEP DASAR FITOREMEDIASI

A. PENGERTIAN FITOREMEDIASI

Fitoremediasi berasal dari dua kata: “*phyto*” yang memiliki arti tumbuhan dan “*remediation*” yang memiliki arti perbaikan atau pemulihan. Fitoremediasi adalah suatu teknologi pemulihan lingkungan dengan menggunakan tanaman hijau untuk menghilangkan, menurunkan, atau menstabilkan kontaminan di tanah, air, atau udara. Teknologi ini merupakan metode ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai alternatif atau pelengkap dari teknologi remediasi konvensional yang biasanya mahal dan berdampak samping terhadap lingkungan.

Fitoremediasi merupakan teknologi pemulihan lingkungan yang memanfaatkan kemampuan biologis tanaman hijau untuk menyerap, mengakumulasi, mendegradasi, atau menstabilkan kontaminan yang terdapat di dalam tanah, air, maupun udara. Teknologi ini dikategorikan sebagai salah satu pendekatan **bioteknologi lingkungan** yang bersifat *in-situ*, berbiaya rendah, serta ramah lingkungan. Secara etimologis, istilah *fitoremediasi* berasal dari kata Yunani *phyto* yang berarti tumbuhan, dan *remedium* dari bahasa Latin yang berarti mengatasi atau memperbaiki. Dengan demikian, fitoremediasi berarti proses pemulihan kondisi lingkungan tercemar melalui intervensi biologis oleh tumbuhan.

Fitoremediasi adalah teknik pemulihan lingkungan yang menggunakan tanaman dan mikroorganisme terkait untuk menyerap, mengubah, menstabilkan, atau menghilangkan zat pencemar dari tanah, air, dan udara. Proses ini memanfaatkan kemampuan alami tanaman untuk berinteraksi dengan zat kimia dan biologis di sekitarnya. Fitoremediasi adalah sebuah teknologi pemulihan lingkungan yang inovatif dan berkelanjutan, yang memanfaatkan kemampuan alami tanaman serta mikroorganisme yang bersimbiosis dengannya untuk mengatasi berbagai bentuk pencemaran pada media lingkungan seperti tanah, air, dan udara. Teknologi ini bekerja melalui berbagai mekanisme biologis, kimia, dan fisik yang melibatkan penyerapan (absorpsi), transformasi (biotransformasi), stabilisasi, dan penghilangan (detoksifikasi) polutan oleh tanaman.

Dalam konteks ini, tanaman bertindak bukan hanya sebagai penyerap pasif, tetapi juga sebagai agen aktif pemulihan lingkungan. Akar tanaman dapat menyerap polutan dari tanah dan air, yang kemudian diakumulasi dalam jaringan tanaman, diubah menjadi senyawa tidak beracun, atau

BAB III

JENIS-JENIS FITOREMEDIASI

A. FITODEGRADASI

Fitodegradasi termasuk dalam fitoremediasi, konsep yang pertama kali dipopulerkan pada 1980–1990-an sebagai teknologi alternatif ramah lingkungan untuk remediasi. Menurut teori ekotoksikologi dan bioremediasi, polutan organik dalam lingkungan dapat diuraikan melalui mekanisme biologis, salah satunya dengan memanfaatkan enzim tanaman.

- Teori Ekologi Sistem → setiap organisme dalam ekosistem memiliki fungsi dalam menjaga keseimbangan. Tanaman tidak hanya berperan sebagai produsen, tetapi juga sebagai “agen pembersih” melalui fitodegradasi.
- Teori Biotransformasi → menjelaskan bahwa senyawa organik asing (*xenobiotik*) dapat diubah menjadi bentuk lain melalui aktivitas metabolisme organisme, dalam hal ini enzim tanaman.

1. Mekanisme Biokimia dalam Fitodegradasi

Berdasarkan teori enzimologi tanaman, fitodegradasi terjadi melalui aktivitas enzim fase I dan fase II metabolisme xenobiotik:

- Fase I (Transformasi) → enzim oksidase, peroksidase, dan dehidrogenase memodifikasi struktur kimia polutan (misalnya oksidasi, reduksi, atau hidrolisis).
- Fase II (Konjugasi) → produk fase I dikonjugasi dengan molekul alami dalam tanaman (misalnya glukosa, asam amino) agar lebih polar dan mudah ditranslokasikan atau disimpan.
- Fase III (Penyimpanan/Detoksifikasi) → senyawa hasil degradasi bisa dimineralisasi (menjadi CO₂ dan H₂O) atau disimpan dalam vakuola.

Teori ini sejalan dengan konsep metabolisme xenobiotik dalam fisiologi tumbuhan.

2. Relevansi Ekologis

- Menurut teori ekologi lanskap, keberadaan tanaman remediasi tidak hanya menguraikan polutan tetapi juga meningkatkan keanekaragaman hayati, memperbaiki struktur tanah, dan menstabilkan ekosistem.
- Secara ekosistem jasa (*ecosystem services*), fitodegradasi memberi manfaat tambahan:

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alves, A.R.A., et al. (2022). *Plant growth-promoting bacteria in phytoremediation of metal-polluted soils*. (review). [ScienceDirect](#)
- Asghar, N., et al. (2024). *Advancement in nanomaterials for environmental pollutants remediation: a systematic review*. *Journal of Nanobiotechnology*. [BioMed Central](#)
- Audet, P., & Charest, C. (2007). *Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective*. *Environment International*. [ScienceDirect](#)
- Baker, A. J. M., & Brooks, R. R. (1989). *Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements — A review of their distribution, ecology and phytochemistry*. (Review). [ResearchGate](#)
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B., & Sizmur, T. (2011). A review of biochar's potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 159(12), 3269–3282.
- Bizily, S. P., et al. (1999). *merB expression in Arabidopsis confers methylmercury tolerance*. *PNAS*. [PNAS](#)
- Boyd R. S. (2007). *The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions*. *Plant and Soil*. (diskusi elemental-defense). [HERO](#)
- Cao, X., Ma, L. Q., & Shiralipour, A. (2003). Effects of compost and phosphate amendments on arsenic mobility in soils and arsenic uptake by the hyperaccumulator, *Pteris vittata* L. *Environmental Pollution*, 126(2), 157–167.
- Cheng, P., et al. (2021). *Contribution of nano-zero-valent iron and arbuscular mycorrhizal fungi to immobilization of heavy metals*. *Scientific Reports / PMC*. [PMC](#)
- Cherian, S., & Oliveira, M. M. (2005). Transgenic plants in phytoremediation: Recent advances and new possibilities. *Environmental Science & Technology*, 39(24), 9377–9390.

- Dhanapal, A. R., et al. (2024). *Nanotechnology approaches for the remediation of environmental pollutants: mechanisms and prospects*. (Review). [PMC](#)
- Eckley, C.S., & coauthors (2019). *The assessment and remediation of mercury contaminated sites — membahas fate, risiko & monitoring*. [PMC](#)
- Galdames, A., et al. (2020). *Zero-valent iron nanoparticles for soil and groundwater remediation*. *Frontiers / PMC*. [PMC](#)
- García-Ávila, F., et al. (2023). Application of ornamental and native plants in constructed wetlands for wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 331, 117307. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117307>
- García-Ávila, F., et al. (2023). *Application of ornamental plants in constructed wetlands for wastewater treatment: scientometric review (2002–2022)*. *ScienceDirect*. [ScienceDirect](#)
- Ghandali MV., et al. (2024). *Heavy metals immobilization and bioavailability in multi-contaminated soils (modified biochar)*. *Sci Rep*. [Nature](#)
- Guo, H., et al. (2021). *New insight into naturally formed nanosilver particles — role of root zone ligands/exudates*. *Environmental Science: Nano / RSC*. [RSC Publishing](#)
- Hanikenne M., et al. (2008). *Evolution of metal hyperaccumulation required cis-regulatory changes and triplication of HMA4*. (molecular evidence untuk HMA4). [PubMed](#)
- Hart, G., et al. (2022). *Evaluation of chelating agents used in phytoextraction*. *Plants*. [PMC](#)
- Hörger A.C., et al. (2013). *The current status of the elemental defense hypothesis in hyperaccumulators* (review). [PMC](#)
- Huang, Y., et al. (2017). *Interactions, transformations, and bioavailability of engineered nanomaterials in the rhizosphere*. *Environmental Science & Technology*. [ACS Publications](#)
- Kafle, A. (2022). *Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and ...* (review overview). [ScienceDirect](#)
- Khan, A. G., et al. (2005–2006). *Role of soil microbes & mycorrhiza in phytoremediation / mycorrhizoremediation reviews*. [PubMed+1](#)
- Khan, A. U., et al. (2022). *Phytoremediation of pollutants from wastewater: A concise review*. [Article]. *PMC*. [PMC](#)
- Khatoon Z., et al. (2024). *Microbial contributions to heavy metal phytoremediation*. *Microorganisms* (MDPI). [MDPI](#)
- Koźmińska, A., et al. (2018). *Recent strategies of increasing metal tolerance and phytoremediation potential using plant transformation*. [PMC](#)

- Kurzbaum, E. (2022). *The Partial Contribution of Constructed Wetland Processes to Organic Contaminant Removal*. Water (MDPI). [MDPI](#)
- LeDuc, D.L., et al. (2004). *Overexpression of selenocysteine methyltransferase increases Se volatilization*. (transgenic Se work). [PMC](#)
- Lee, S., et al. (2003). *Overexpression of Arabidopsis phytochelatin synthase ...* (PCS studies). [PMC](#)
- Limmer, M.A. & Burken, J.G. (2016). *Phytovolatilization of organic contaminants* (mechanisms and indirect effects). [American Chemical Society Publications](#)
- Ma Y., et al. (2022). *Plant–mycorrhizal fungi interactions in phytoremediation*. Frontiers in Microbiology. [Frontiers](#)
- Masoudi, F., et al. (2020). *Performance of new biodegradable chelants in enhancing phytoextraction*. (open access review). [PMC](#)
- McCutcheon, S. C., & Schnoor, J. L. (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. Wiley-Interscience.
- Meers, E., et al. (2009). *EDTA-assisted Pb phytoextraction — leaching risks*. [PubMed](#)
- Méndez MO, Maier RM (2008). *Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology*. Environ Health Perspect. [PubMed](#)
- Nowack, B. (2006). *Critical assessment of chelant-enhanced metal phytoextraction*. Environmental Science & Technology. [ACS Publications](#)
- Ó Lochlainn, S., et al. (2011). *Tandem quadruplication of HMA4 in the zinc and cadmium hyperaccumulator...* PLOS ONE. [PMC+1](#)
- Ofiera, L. M., et al. (2025). *Adsorbent modified constructed wetlands for advanced treatment (biochar/zeolite/GAC)*. Environmental Water Journal. [RSC Publishing](#)
- Olguín, E. J., Sánchez-Galván, G., & González-Portela, R. E. (2017). Potential of *Phragmites australis*, *Typha latifolia* and *Cyperus papyrus* for wastewater treatment and biomass production. *Bioresource Technology*, 223, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.044>
- Oustriere, N., et al. (2017). *Rhizofiltration of a Bordeaux mixture effluent in pilot-scale constructed wetland using Arundo donax L*. Journal Article. [ScienceDirect](#)
- Pilon-Smits, E. (2005). *Phytoremediation*. Annual Review of Plant Biology, 56, 15–39. doi:10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214. [PubMed+1](#)
- Pilson-Smits, E. (2005). *Phytoremediation*. Annual Review of Plant Biology, 56, 15–39.

- Poplar/willow for organics (reviews & trials). [Taylor & Francis Online+1](#)
- Porras-Socias, P., et al. (2024). *Removal of metals and emergent contaminants from liquid wastes using constructed wetlands: review and perspectives*. *Science of the Total Environment / PMC*. [PMC](#)
- Prakash, P. (2023). *Nano-phytoremediation: advancing phytoremediation efficiency through nanotechnology integration*. *MDPI (Nanomaterials / Environmental DB)*. [MDPI](#)
- Pulford, I. D., & Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. *Environment International*, 29(4), 529–540.
- Radziemska, M., Gusiatin, Z. M., et al. (2021). *Nano zero valent iron (nZVI) as an amendment for phytostabilization of highly multi-PTE contaminated soil*. *Materials*, 14, 2559. [MDPI](#)
- Rahman, M. E., et al. (2020). *Design, Operation and Optimization of Constructed Wetlands*. *International Journal / Review*. [PMC](#). [PMC](#)
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181.
- Raskin, I., & Ensley, B. D. (Eds.). (2000). *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*. John Wiley & Sons. [cabidigitallibrary.org+1](#)
- Reeves, R. D., et al. (2018). *A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid elements*. *New Phytologist*. (Database & review). [NPH Online Library](#)
- Review: *Phytoextraction: A Review on Enhanced Metal Availability and Plant Accumulation*. (ResearchGate PDF, review essay summarizing teknik-teknik peningkatan). [ResearchGate](#)
- Ruiz, O.N., et al. (2009). *Genetic engineering to enhance mercury phytoremediation*. (review & transgenic studies). [PMC](#)
- Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P. B. A., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). *Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants*. *Biotechnology (N Y)*, 13(5), 468–474. [PubMed](#)
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668.
- Sarkar, M. (2022). *Effect of silver nanoparticles on nitrogen-cycling bacteria in constructed wetlands*. *Nanotechnology for Environmental Engineering* (review). [SpringerLink](#)

- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(2), 168–214. <https://doi.org/10.1080/10643380902718418>
- Shi Y., et al. (2022). *Biochar enhanced phytostabilization of heavy metal contaminated soils*. *Frontiers in Environmental Science*. [Frontiers](#)
- Singh, S., et al. (2016). Role of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in phytoremediation of heavy metals from contaminated soil and water: A review. *Ecological Engineering*, 86, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.023>
- Singh, Y., et al. (2022). *Insights into nano-bioremediation of environmental pollutants*. *Frontiers in Microbiology*. [Frontiers](#)
- Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647–658.
- Sun, X.-D., et al. (2023). *Magnetite nanoparticle coating chemistry regulates root interactions and iron supply in plants*. *PNAS*. [PNAS](#)
- Tózsér, D., et al. (2023). *Heavy metal uptake by Populus species: a meta-analysis*. [PMC](#)
- Trippe KM et al. (2021). *Phytostabilization of acidic mine tailings with biochar–lime–biosolids and microbes (PMCID full text)*. [PMC](#)
- van der Ent A., Baker A. J. M., Reeves R. D., Pollard A. J., & Schat H. (2013). *Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction*. *Plant and Soil*. [SpringerLink](#)
- Verbruggen, N., Hermans, C., & Schat, H. (2009). Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist*, 181(4), 759–776.
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*, 44(17), 5949–5961. <https://doi.org/10.1021/es101403q>
- Wang, J., & others (2002). *Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in Pteris vittata*. *New Phytologist*. [PMC+1](#)
- Wang, J., et al. (2022). *A Review on Microorganisms in Constructed Wetlands for Pollutant Removal*. *Frontiers / PMC*. [PMC](#)
- Wang, X., et al. (2023). *Nanoparticles in plants: uptake, transport and physiological impacts*. *Review (PMC)*. [PMC](#)
- Wei, L., et al. (2024). *Nanoparticle-specific transformations dictate environmental behaviour — role of root exudates and sap*. *Nature Communications*. [Nature](#)

- Yan A., et al. (2020). *Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation...* Frontiers in Plant Science (review mekanisme & aplikasi). [Frontiers](#)
- Yeh, T. Y. (2008). *Removal of Metals in Constructed Wetlands: Review*. ASCE. [ASCE Library](#)
- Yu, G., et al. (2022). *Enhanced removal of heavy metals and metalloids by constructed wetlands: review of approaches and mechanisms*. *Science of the Total Environment*. [ScienceDirect](#)
- Zhakypbek, Y., et al. (2024). Reducing heavy metal contamination in soil and water: Role of rhizofiltration and phytostabilization using native species. *Plants*, 13(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants13020259>
- Zhang, J., et al. (2015). *Arsenic methylation and volatilization by ArsM (microbial methyltransferase evidence)*. [PMC](#)

BAB IV

TANAMAN-TANAMAN FITOREMEDIATOR

A. KRITERIA TANAMAN FITOREMEDIATOR

Tujuh kriteria utama tanaman fitoremediator yang ideal menurut teori fitoremediasi:

1. Toleransi terhadap polutan
Tanaman mampu bertahan hidup dan tetap berfungsi meskipun berada pada lingkungan dengan konsentrasi polutan tinggi (logam berat, senyawa organik, radionuklida).
2. Kemampuan akumulasi dan translokasi polutan
Tanaman dapat menyerap polutan ke akar, lalu mentranslokasikannya ke batang/daun sehingga bisa dipanen (fitoekstraksi).
3. Sistem akar yang ekstensif
Akar dalam/lebar memperbesar zona remediasi, mendukung aktivitas mikroba rizosfer, serta mencegah erosi atau pergerakan polutan.
4. Pertumbuhan cepat dan biomassa tinggi
Semakin cepat tumbuh dan semakin besar biomassa, semakin banyak polutan yang bisa diserap, serta siklus remediasi jadi lebih singkat.
5. Keamanan lingkungan & non-invasif
Tanaman tidak bersifat invasif, tidak menjadi gulma berbahaya, serta tidak masuk ke rantai makanan (tidak dimakan ternak/manusia).
6. Kompatibilitas ekologi (lokal/adaptif)
Spesies lokal yang sudah adaptif terhadap iklim dan kondisi tanah setempat lebih diutamakan agar tidak mengganggu biodiversitas.
7. Keamanan biomassa pasca-panen
Biomassa hasil remediasi (yang sudah mengandung polutan) harus dapat dikelola dengan aman, misalnya melalui pembakaran (*incineration*), biochar, atau produksi bioenergi, agar tidak mencemari kembali.

Ketujuh kriteria ini sering dijadikan patokan pemilihan tanaman fitoremediator baik untuk remediasi tanah, air, maupun sedimen.

1. Toleransi terhadap Polutan

- 1) Teori dasar: Tanaman fitoremediator harus mampu bertahan hidup dalam kondisi tercemar tanpa mengalami kerusakan fisiologis yang signifikan. Toleransi terhadap polutan adalah kemampuan tanaman untuk bertahan hidup, tumbuh, dan bereproduksi pada lingkungan yang mengandung konsentrasi pencemar tinggi (misalnya logam

DAFTAR PUSTAKA

- Abhayawardhana, M.L.D.D.; Bandara, N.J.G.J.; Rupasinghe, S.K.L.S. *Removal of Heavy Metals and Nutrients from Municipal Wastewater using Salvinia molesta and Lemna gibba*. Journal of Tropical Forestry and Environment. [Journals SJP](#)
- Accumulation of heavy metals in a macrophyte Phragmites australis... wadis – Arabian Peninsula*. [PubMed](#)
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Assessment of Phytokinetic Removal of Pollutants of Paper Mill Effluent Using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *PubMed*. [PubMed](#)
- Buta, E., Paulette, L., Mihăiescu, T., Buta, M., & Cantor, M. “The Influence of Heavy Metals on Growth and Development of *Eichhornia crassipes* Species, Cultivated in Contaminated Water.” *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. [Notulae Botanicae](#)
- Comparative Phytoremediation Potential of *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, and *Pistia stratiotes* in Two Treatment Facilities in Cluj County, Romania. *MDPI*. [MDPI](#)
- Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11(8), 664–691.
- Doty, S. L. (2008). Enhancing phytoremediation through the use of transgenics and endophytes. *New Phytologist*, 179(2), 318–333.
- Evaluation of heavy metal accumulation and tolerance in oxalic acid-treated Phragmites australis wetlands for textile effluent remediation*. [PubMed](#)
- Fahrudin, F. (2020). “Absorption of Heavy Metal Lead (Pb) by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Its Influence to Total Dissolved Solids of Groundwater in Phytoremediation.” *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*, 13(1):10-15. [Unhas Journal+1](#)
- Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* — Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, Indonesia. jtsl.ub.ac.id

- Githuku, Catherine R., Musyoka, Ndambuki Julius, Salim, Wanjala Ramadhan, Badejo, Adedayo A. *Treatment potential and phytoextraction capacity of Phragmites australis in the removal of heavy metals from constructed wetlands*. Int. J. Environment and Waste Management, 2021. [Astrophysics Data System](#)
- Huang, X., Zhao, F., Gao, Y., Song, C., Zeng, P. *Removal of Cu, Zn, Pb, and Cr from Yangtze Estuary Using the Phragmites australis Artificial Floating Wetlands*. BioMed Research International, 2017. [Wiley Online Library](#)
- Laboratory Assessment of Cadmium, Copper, and Zinc Phytoaccumulation by Ipomoea aquatica, Peltandra virginica, and Salvinia molesta for Phytoremediation Potential*. Malaysian Journal of Applied Sciences. [UniSZA Journal](#)
- Lead Heavy Metal Toxicity Induced Changes on Growth and Antioxidative Enzymes Level in Water Hyacinths (*Eichhornia crassipes*). *Journal* (PMC). [PubMed](#)
- Mesele Bahre. *Horizontal Subsurface Constructed Wetland for Removal of Heavy Metals from Leachate Using Phragmites australis*. Addis Ababa University, Ethiopia. [AAU-ETD](#)
- Municipal Solid Waste Landfill Leachate Treatment by Phragmites australis, Typha latifolia and Scirpus validus through Constructed Wetlands*. Journal of Ecological Engineering. [DOAJ](#)
- Pandey, V. C., & Bajpai, O. (2019). Phytoremediation of heavy metals by native aquatic macrophytes. *Environmental Sustainability*, 2, 113–122.
- Paulo, A.M.S., Caetano, N.S., Castro, P.M.L., & Marques, A.P.G.C. (2023). *Phytomanagement of Zn- and Cd-Contaminated Soil: Helianthus annuus Biomass Production and Metal Remediation Abilities with Plant-Growth-Promoting Microbiota Assistance*. *Soil Systems*, 7(3):69. [MDPI](#)
- Phytoremediation Efficiency of Helianthus annuus L. for Reclamation of Heavy Metals-Contaminated Industrial Soil* (Jaipur, Uttrakhand, India) [PubMed](#)
- Phytoremediation of Industrial Sewage Sludge with *Eichhornia crassipes*, *Salvinia molesta*, dan *Pistia stratiotes* dalam constructed wetlands bebas aliran — *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. [SpringerLink](#)
- Phytoremediation Potentials of Sunflowers ... for Metals in Soils Contaminated with Zinc & Lead Nitrates” (Adesodun et al., Nigeria) [FUNAAB](#)

- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(2), 168–214.
- Potensi Fitoremediasi *Salvinia molesta* terhadap Logam Berat di Limbah Cair: Analisis BCF & TF — Jurnal Serambi Engineering, Malaysia / Indonesia. [Jurnal Serambi Engineering](#)
- Potensi *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* dalam Penurunan Fosfat, BOD, COD pada Limbah Laundry — Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya, Indonesia. [Jurnal Unipasby](#)
- Potential of sunflower (Helianthus annuus L.) for phytoremediation of nickel (Ni) and lead (Pb) contaminated water (hidroponik + chelator)* [OSTI](#)
- Productivity and Nutrient Uptake of Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. Economic Botany. [SpringerLink](#)
- R. China (2010) *Chemical oxygen demand, nitrogen and phosphorus removal by subsurface wetlands with Phragmites vegetation in different models*. Engineering in Life Sciences. [Analytical Science Journals](#)
- Role of *Eichhornia crassipes* Uptake in the Removal of Nitrogen and Phosphorus from Eutrophic Waters. EcoAgri (China). [ecoagri.ac.cn](#)
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668.
- Sequestration of Precious and Pollutant Metals in Biomass of Cultured Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). PubMed. [PubMed](#)
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(2), 168–214. <https://doi.org/10.1080/10643380902718418>
- Soares, E., Hamid, A., & Mangkoedihardjo, S. (2021). *Phytoremediation of zinc polluted soil using sunflower (Helianthus annuus L.)*. *Journal of Phytology*, Vol. 13, 2021. [Update Publishing](#)
- Sultana, T., Arooj, F., Nawaz, M., Alam, S., Iqbal, M. N., Ashraf, A., & Kashif, S.-U.-R. (2019). *Phytoremediation Efficiency of Sunflower (Helianthus annuus) and Bryophyllum (Bryophyllum pinnatum) in Removing Heavy Metals from Polluted Soil*. *International Journal of Alternative Fuels and Energy*. [PSM Journals](#)

Synergism of Consortium of Heterotrophic Bacterial Strains with *Pistia stratiotes* dan *Salvinia molesta* dalam Domestic Wastewater — *HAYATI Journal of Biosciences*. [IPB Journal](#)

Uptake Prediction of Nine Heavy Metals by *Eichhornia crassipes* Grown in Irrigation Canals: A Biomonitoring Approach.” *PubMed*. [PubMed](#)

Zhakypbek, Y., et al. (2024). Reducing heavy metal contamination in soil and water: Role of rhizofiltration and phytostabilization using native species. *Plants*, 13(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants13020259>

BAB V

METODE-METODE FITOREMEDIASI

A. PERSIAPAN TANAMAN

Pada Bab 4 tentang tanaman-tanaman fitoremediator telah dibahas mengenai kriteria-kriteria yang terdapat pada setiap tanaman yang meliputi:

1. Toleransi terhadap polutan
2. Kemampuan akumulasi dan translokasi polutan
3. Sistem akar yang ekstensif
4. Pertumbuhan cepat dan biomassa tinggi
5. Keamanan lingkungan & non-invasif
6. Kompatibilitas ekologi (lokal/adaptif)
7. Keamanan biomassa pasca-panen

Pada Bab ini akan dibahas pada titik persiapan tanaman yang telah memiliki kriteria di atas. Tanaman yang telah dipilih sebagai fitoremediator akan dilakukan terlebih dahulu proses propagasi dan aklimatisasi.

1. Tahap Propagasi

Tahap propagasi tanaman dapat disebut dengan tahap memperbanyak tumbuhan. Pada tahap propagasi ini berfungsi untuk menyediakan stok tumbuhan yang akan digunakan pada saat penelitian. Selama masa propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*). Tumbuhan yang menjadi *second generation* inilah yang akan digunakan digunakan pada setiap tahapan penelitian (Raisa & Tangahu., 2017).

2. Tahap Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian tanaman dengan lingkungan baru atau kondisi yang berada di luar ekosistemnya. Tanaman akan diairi dengan air biasa atau dengan air limbah yang berasal dari tempat awalnya. Tujuan dari proses aklimatisasi ini agar tanaman tidak mati pada saat proses penelitian dilakukan atau dengan kata lain tanaman dapat tumbuh dengan baik pada saat uji coba dilakukan. Reaktor atau bak pada tahap aklimatisasi dilakukan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan media tanam yang akan dijadikan fitoremediator yaitu air dengan pH netral pada reaktor atau bak, kemudian masukan tanaman uji ke dalam media.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia. (2017). Penurunan BOD,COD, dan Fosfat Pada Limbah Laundry Menggunakan Fitoremediasi dengan SSF-Wetland Aliran Kontinyu. *tesis*.
- Rahmawati, A., Zaman, B., & Purwono. (2016). Kemampuan Tanaman Kambiang (*Salvina Molesta*) Dalam Menyisihkan BOD dan Fosfat Pada Limbah Domestik (Grey Water) Dengan Sistem Fitoremediasi Secara Kontinyu. *Journal Teknik Lingkungan*, 1-10.
- Raisa, D. G., & Tangahu., d. V. (2017). Fitoremediasi air yang tercemar limbah laundry dengan menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes*). *Jurnal Teknik ITS*, F233-F237.
- Retnaningdyah, C. &. (2018). . Efektivitas proses fitoremediasi air irigasi tercemar bahan organik melalui sistem batch culture menggunakan hidromakrofit lokal. *Jurnal Biologi Indonesia*, 33-41.
- Silvia, C. S., Ikhsan, M., & & Ikhwali, M. (2023). Domestic wastewater reduction using constructed wetlands. 1-13.
- Suharto, B. S. (2011). Penurunan kandungan logam Pb dan Cr leachate melalui fitoremediasi bambu air (*Equisetum hyemale*) dan zeolit. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 148-158.

BAB VI

PENERAPAN FITOREMEDIASI DI LINGKUNGAN

Pendahuluan

Pencemaran lingkungan oleh zat-zat berbahaya seperti logam berat (*heavy metals*), senyawa organik, limbah industri, pertambangan, dan limbah domestik merupakan masalah global yang serius. Polutan-polutan ini dapat merusak kualitas tanah, air, udara, serta menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia dan biota. Teknik-teknik konvensional untuk remediasi lingkungan (contoh: penggalian tanah tercemar, pencucian tanah, insinerasi, atau penggunaan bahan kimia) meskipun efektif, seringkali mahal, mengganggu ekosistem, dan membutuhkan energi tinggi.

Fitoremediasi merupakan alternatif yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan relatif biaya rendah. Istilah “fitoremediasi” berasal dari kata *phyto* (tumbuhan) dan *remedium* (pemulihan), yaitu penggunaan tanaman hidup untuk membersihkan atau menetralkan pencemar dalam tanah, air, atau lingkungan secara keseluruhan. Tanaman dapat menyerap, mengakumulasi, memetakannya ke dalam bagian tanaman tertentu, atau mengubahnya menjadi bentuk yang kurang toksik melalui mekanisme seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitodegradasi, fitovolatilisasi, dan rizofiltrasi.

[Myedisi+2GeeksforGeeks+2](#)

Di Indonesia, penerapan fitoremediasi telah diuji pada berbagai konteks dan jenis pencemaran. Beberapa studi menunjukkan potensi tanaman lokal atau spesies adaptif dalam mengurangi kadar logam berat di lingkungan pesisir, tanah bekas tambang, atau limbah domestik. Contoh:

- Tanaman mangrove seperti *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, dan *Bruguiera gymnorhiza* mampu mengakumulasi timbal (Pb) dari sedimen pesisir urban Surabaya. [Jurnal Universitas Lancang Kuning](#)
- Penggunaan *Hydrilla verticillata* dalam air sungai untuk mengurangi kandungan besi (Fe). [Walisongo Journal](#)
- Fitoremediasi limbah domestik dengan gabungan gulma-gulma air seperti eceng gondok, kiambang, dan kayu apu pada kolam retensi di Palembang. [Undip E-Journal](#)

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A. R., & Hoque, S. (2018). *Phytoremediation of industrial wastewater by culturing aquatic macrophytes, Trapa natans L. and Salvinia cucullata Roxb.* Jahangirnagar University Journal of Biological Sciences, 6(2), 19-27. [Banglajol](#)
- Alfian Chrisna Aji. *Fitoremediasi sawah tercemar logam kromium di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar sebagai upaya menuju pertanian sehat ramah lingkungan.* Tesis Pascasarjana Ilmu Lingkungan, UNS. [UNS Digital Library](#)
- Desy Prastitianti, Ipung Fitri Purwanti. *Kajian literatur: Fitoremediasi air tanah tercemar besi di lahan bekas TPA Keputih.* Jurnal Purifikasi, 2024. [Purifikas](#)
- Karyadi & Eko Istiono. (2008). *Fitoremediasi bahan aktif Carbofuran® menggunakan enceng gondok (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms).* AGROMEDIA: Berkala Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian. [Jurnal STIP Farming Semarang](#)
- Kaswari, K. D. & Slamet, I. (2020). *The Effectiveness of Pistia stratiotes as Phytoremediation Agents in Reducing Lead (Pb) Levels in Batik Household Industrial Wastewater in Bakaran Village, Central Java-Indonesia.* Asian Journal of Biology, 10(4), 68-73. [Asian Journal of Biology](#)
- Nama Penulis, et al. (tahun). *Application of organic matter to enhance phytoremediation of mercury contaminated soils using local plant species: case study on small-scale gold mining locations in Banyuwangi of East Java.* Journal of Degraded and Mining Lands Management. [Directory of Open Access Journals](#)
- Nama Penulis, et al. (tahun). *Phytoremediation of Aluminum and Iron from Industrial Wastewater Using Ipomoea aquatica and Centella asiatica.* Applied Sciences. [MDPI](#)
- Nama Penulis, et al. (tahun). *Sustainable treatment of combined industrial wastewater: synergistic phytoremediation with Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes, and Arundo donax in biofilm wetlands.* [PubMed](#)
- Novita, Elida; Hermawan, A. A. G.; Wahyuningsih, S. (2023). *Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air.* Jurnal Agroteknologi Universitas Jember. [Journal of Southeast Asian Human Rights](#)

- Nurhidayanti et al. *Treatment of Domestic Wastewater with Combination of Phytoremediation and Filtration Using Activated Carbon of Tea Dregs*. Jurnal Presipitasi. [Undip E-Journal](#)
- Nurhidayanti, Nisa; Huda, Helbi Nurul; Ardiatma, Dodit. *Fitoremediasi limbah domestik (greywater) menggunakan tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius) dan Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. Ecotrophic Vol. 16 No. 2 (2022). [Open Journal Systems](#)
- Pande Kadek Yusika Ryanita, I. Nyoman Arsana & Ni Ketut Ayu Juliasih. *Fitoremediasi dengan tanaman air untuk mengolah air limbah domestik*. Jurnal Widya Biologi, Vol. 11 No. 2 (2020). [E-Journal Universitas Hindu Indonesia](#)
- Pengolahan air limbah domestik secara fitoremediasi sistem constructed wetland dengan tanaman Pandanus amaryllifolius dan Azolla microphylla*. Skripsi / tesis UGM. [ETD UGM](#)
- Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Perbaikan kualitas air limbah domestik dengan kombinasi beberapa gulma air: studi kasus kolam retensi Talang Aman Kota Palembang*. Jurnal Ilmu Lingkungan Undip. [Undip E-Journal](#)
- Permatasari, F. D., Aditya, H. F., Mindari, W. (2023). *Phytoremediation potential of Avicennia marina, Rhizophora mucronata, and Bruguiera gymnorrhiza in lead (Pb) contaminated urban coastal areas*. Jurnal Ilmiah Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Purity S. A. Ajiningrum & Intan A. K. Pramushinta. *Penghilangan limbah pestisida tebukonazol dengan sistem fitoremediasi menggunakan enceng gondok (Eichornia crassipes)*. STIGMA: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNIPA Surabaya. [Jurnal Unipasby](#)
- Ratna Sari, Nurul Puspita Palupi, Roro Kesumaningwati, Rabiatul Jannah. *Penyerapan logam berat besi (Fe) dengan metode fitoremediasi pada tanah sawah menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica)*. Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab. [eJournals Universitas Mulawarman](#)
- Retno Rosariastuti, Supriyadi, & Wiwin Widiastuti. *Teknologi fitoremediasi untuk penanganan pencemaran logam berat di lahan pertanian di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar*. Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah. [Jateng Journal](#)

- Sekarjannah, F. A., Mansur, I., Abidin, Z., Fauzi, A. M. (tahun). *Phytoremediation of Acid Mine Drainage with Melaleuca cajuputi, Nauclea orientalis, and Vetiveria zizanioides in Floating Treatment Wetland*. HAYATI Journal of Biosciences. [IPB Journal](#)
- Siahaan, Bonauli Christianoyd et al. (2013). *Fitoremediasi tanah tercemar merkuri (Hg) limbah tailing tambang emas menggunakan Lindernia crustacea, Digitaria radicata, dan Cyperus rotundus*. Universitas Brawijaya. [UB Repository](#)
- Solahudin, D. & Anggun Sari, P. (2023). *Kajian Fitoremediasi Berkelanjutan: Sumber Cemar, Jenis Tanaman dan Pemusnahan*. SAINTEK. [Jurnal Pelita Bangsa](#)
- Suami Indarwati, et al. *Kemampuan eceng gondok dalam fitoremediasi limbah tempe*. Poltekkes Kemenkes TanjungKarang. [E-Jurnal Malahayati](#)
- Trifando, R. Y., Sutanto, H. B., & Prihatmo, G. (2022). *The reducing of organic loading and phosphate (PO₄) in domestic wastewater treatment by constructed wetland system using Canna indica and Cyperus alternifolius*. BIOLINK. [Jurnal Online Universitas Medan Area](#)
- Waluyo, Agus; Kuku Nirmala; Awalina Satya; dan lain-lain. (2024). *Effect of Light Intensity on Ammonium Removal and Biomass Growth in Different Levels of Aquaculture Effluent Using Duckweed (Lemna perpusilla)*. Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia. [Ejournal Portal](#)

BAB VII

KELEBIHAN DAN KEKURANGAN FITOREMEDIASI

Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat aktivitas manusia, seperti industri, pertanian, dan pertambangan, menjadi salah satu permasalahan serius yang mengancam keberlanjutan ekosistem. Berbagai upaya penanggulangan telah dilakukan, namun sebagian besar metode konvensional seperti penggunaan bahan kimia dan teknologi fisik cenderung membutuhkan biaya tinggi, berpotensi menimbulkan dampak lanjutan, serta kurang ramah terhadap lingkungan.

Salah satu alternatif yang berkembang adalah fitoremediasi, yaitu teknik pemanfaatan tanaman untuk membersihkan, menstabilkan, atau mengurangi pencemar pada tanah, air, maupun udara. Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman dan interaksinya dengan mikroba akar untuk menghilangkan, menstabilkan, memecah, atau mengubah zat pencemar (logam berat, senyawa organik, nutrisi berlebih) dalam tanah, sedimen atau air (Yan, 2020). Metode ini menawarkan sejumlah kelebihan, di antaranya lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta mampu meningkatkan nilai estetika kawasan yang tercemar. Namun demikian, fitoremediasi juga memiliki keterbatasan, seperti proses yang membutuhkan waktu relatif lama dan efektivitas yang bergantung pada jenis tanaman serta karakteristik polutan. Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangannya, kajian mengenai fitoremediasi menjadi penting untuk menilai sejauh mana metode ini dapat dijadikan solusi yang berkelanjutan dalam mengatasi pencemaran lingkungan.

A. KELEBIHAN FITOREMEDIASI

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan (dan mikroorganisme yang berasosiasi) untuk menahan, mengakumulasi, menguraikan, atau menstabilkan polutan di tanah, air, atau udara. Metode ini dianggap ramah lingkungan, relatif murah, dan berkelanjutan dibanding teknologi konvensional seperti ekskavasi atau pengangkutan limbah berbahaya.

[Frontiers+1](#)

DAFTAR PUSTAKA

- Alsafran, M., et al. (2022). *Understanding the Phytoremediation Mechanisms: A Review*. (PMC article). [PMC](#)
- Alsafran, M., et al. (2022). *Understanding the Phytoremediation Mechanisms via Proteomics and Molecular Approaches*. (open access review). [PMC](#)
- Azab, E., et al. (2020). *Monitoring the Efficiency of Rhazya stricta L. Plants in (case study using BCF/TF metrics)*. Environmental Science – Pollution Research. [PMC](#)
- Ba, V. N., et al. (2024). *Bioconcentration and translocation of elements from soil to plant: indicators for phytoremediation potential*. (Journal article). [ScienceDirect](#)
- Bayuo, J., et al. (2024). *Recent and sustainable advances in phytoremediation of aquatic systems*. Journal of Environmental Management. [ScienceDirect](#)
- Kafle, A., et al. (2022). *Mechanisms, plant selection and enhancement by natural amendments*. ScienceDirect review. [ScienceDirect](#)
- Kumar, A. (2024). *Phytoremediation: Sustainable Approach for Heavy Metal*. (review, 2024). [PMC](#)
- Mocek-Plóćiniak, A., et al. (2023). *Phytoremediation as an Effective Remedy for Removing Contaminants*. Environmental Science (PMC). [PMC](#)
- Mukherjee, S., et al. (2025). *Sustainable management of post-phytoremediation biomass*. Energy/Environmental journal. [SpringerLink](#)
- Sharma, J. K., Kumar, A., & others. (2023). *Phytoremediation technologies and their mechanism for heavy metals*. Environmental Reviews / comprehensive review. [PMC](#)
- Shen, X., et al. (2022). *A critical review on the phytoremediation of heavy metals: limitations and opportunities*. Science of The Total Environment. [ScienceDirect](#)
- Tamma, A. A., et al. (2025). *Advancing Phytoremediation: A Review of Soil Amendment-Assisted Phytoremediation*. MDPI Sustainability. [MDPI](#)
- Vidali, M. (2001). *Bioremediation: An Overview*. Pure Applied Chemistry.
- Wijekoon, W., et al. (2025). *Review and Prospects of Phytoremediation: Harnessing biomass for remediation and bioenergy*. Sustainability. [MDPI](#)

- Wired (2001). *Fern Fronds Ferret Out Toxins* — laporan penemuan *Pteris vittata* sebagai hiperakumulator arsenik. [WIRED](#)
- Yan, A., et al. (2020). *Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation and Restoration of Contaminated Soils*. *Frontiers in Plant Science*. [Frontiers](#)
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M., Ghosh, S., Chen, Z., & others. (2020). *Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Soil*. *Frontiers in Plant Science*. [Frontiers](#) (akses: *Frontiers in Plant Science*, 2020)

BAB VIII

IMPLEMENTASI FITOREMEDIASI DALAM PEMBELAJARAN

Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan tanaman untuk mengurangi, menghilangkan, atau menstabilkan polutan dari tanah, air, maupun udara. Konsep ini tidak hanya relevan dalam bidang lingkungan, tetapi juga memiliki potensi besar untuk diintegrasikan dalam dunia pendidikan, khususnya sebagai media pembelajaran berbasis sains dan ekologi. Melalui penerapan fitoremediasi, peserta didik dapat memahami keterkaitan antara teori biologi, kimia, dan lingkungan dengan praktik nyata dalam menjaga kelestarian ekosistem.

Implementasi fitoremediasi dalam pembelajaran memberikan pengalaman langsung (*experiential learning*) yang mendukung keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta kesadaran lingkungan siswa. Selain itu, metode ini sejalan dengan pendekatan pembelajaran abad 21 yang menekankan keterpaduan pengetahuan, keterampilan, sikap, serta literasi lingkungan hidup. Dengan demikian, fitoremediasi bukan hanya menjadi topik kajian, tetapi juga dapat dijadikan model pembelajaran kontekstual yang menghubungkan konsep ilmiah dengan kehidupan sehari-hari.

Penerapan fitoremediasi sebagai bagian dari pembelajaran juga mendukung tujuan pendidikan untuk mencetak generasi yang peduli lingkungan dan memiliki kompetensi dalam menghadapi tantangan pencemaran. Hal ini menjadikan fitoremediasi sebagai inovasi strategis dalam mengintegrasikan isu lingkungan ke dalam kegiatan belajar mengajar secara aplikatif, kreatif, dan berkelanjutan.

A. PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL DAN PROYEK LAPANGAN

Pembelajaran kontekstual (CTL) adalah pendekatan yang mengaitkan materi pembelajaran dengan konteks kehidupan nyata peserta didik sehingga pembelajaran menjadi bermakna dan dapat ditransfer ke situasi praktis. Proyek lapangan atau pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning* / PBL) adalah bentuk pembelajaran yang menempatkan siswa pada tugas/proyek otentik di luar kelas (lapangan) untuk menyelidiki masalah nyata, menghasilkan produk/solusi, sekaligus membangun pengetahuan dan keterampilan. Kedua pendekatan saling melengkapi: CTL memberi “kerangka” relevansi dan keterkaitan konsep, sedangkan proyek lapangan menyediakan

DAFTAR PUSTAKA

- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). *Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning*. Educational Psychologist, 26(3–4), 369–398. [SCIRP](#)
- Contextual Teaching and Learning (CTL) — practical overview/guide (various practitioner PDFs). (lihat ringkasan dan pedoman CTL). [iiscsci.org+1](#)
- Cunningham, S. D., & Berti, W. R. (2000). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology*, 18(9), 393–400. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01426-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01426-5)
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Macmillan.
- Hamzah, A., & Rauf, R. (2020). Fitoremediasi sebagai metode pembelajaran berbasis lingkungan. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 6(2), 123–132.
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi [Kemendikbudristek]. (2020). *Profil Pelajar Pancasila*. Jakarta: Kemendikbudristek.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall. [ResearchGate](#)
- Larmer, J., & Mergendoller, J. R. (Buck Institute). *Setting the standard for project based learning / Gold Standard PBL*. Buck Institute for Education. [ASCD Files+1](#)
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press. [Cambridge University Press & Assessment](#)
- Leopold, A. (1949). *A Sand County Almanac*. Oxford University Press.
- McFague, S. (1993). *The body of God: An ecological theology*. Fortress Press.
- Mulyasa, E. (2005). *Menjadi Guru Profesional: Menciptakan Pembelajaran Kreatif dan Menyenangkan*. Remaja Rosdakarya. [opac.ut.ac.id](#)
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
- Rusman. (2018). *Model-model Pembelajaran*. (buku referensi populer untuk guru tentang model pembelajaran). [rajagrafindo.co.id](#)
- Studi PBL di konteks Indonesia: Rati, N. W. (...); dan artikel-artikel penerapan PBL di jurnal pendidikan (lihat JPI / jurnal lokal) — contoh: *Model Pembelajaran Berbasis Proyek* (Undiksha / JPI). [Ejournal Undiksha+1](#)

- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation. bobpearlman.org
- UNESCO. (1978). *The Tbilisi Declaration: Final report — Intergovernmental conference on environmental education*. UNESCO.
- Wahyuni, S., & Kurniawati, D. (2021). Implementasi pembelajaran kontekstual melalui fitoremediasi. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 12(1), 45–53.
- White, L., Jr. (1967). The historical roots of our ecologic crisis. *Science*, 155(3767), 1203–1207.

FITOREMEDIASI

**SEBAGAI TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN:
KONSEP DAN IMPLEMENTASI**

Fitoremediasi sebagai Teknologi Ramah Lingkungan: Konsep dan Implementasi merupakan kajian ilmiah yang membahas potensi tumbuhan sebagai agen pembersih lingkungan dari kontaminan berbahaya, baik di tanah, air, maupun udara. Fitoremediasi adalah teknologi hijau yang memanfaatkan kemampuan alami tanaman dalam menyerap, mengakumulasi, mentransformasi, atau menstabilkan zat pencemar, seperti logam berat, senyawa organik, maupun limbah beracun lainnya.

Buku ini menguraikan dasar-dasar konsep fitoremediasi, mulai dari mekanisme kerja (fitodegradasi, fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, dan rizofiltrasi) hingga pemilihan jenis tanaman yang sesuai berdasarkan jenis pencemaran dan karakteristik lahan tercemar. Selain itu, dibahas pula keunggulan teknologi ini dibandingkan metode konvensional, seperti biayanya yang relatif murah, dampak minimal terhadap lingkungan, serta kontribusinya dalam menjaga keanekaragaman hayati.



SCANME

 www.penerbitwidina.com
 [@penerbitwidina](https://twitter.com/penerbitwidina)
 [penerbit widina](https://www.facebook.com/penerbitwidina)
 penerbitwidina@gmail.com
 [widina store](#)
 [widina bookstore](#)

Hubungi Penerbit & Distributor Buku
 0815-7000-699

Ilmu Alam, Matematika & Statistika

ISBN 978-634-246-434-2



9

786342

464342