

Dinamika Pencemaran Tanah oleh Logam Berat dan Potensi Bioremediasi sebagai Strategi Pemulihan Lingkungan di Pulau Lombok: Tinjauan Literatur

Dewi Saraswati^{1*}, Lolita Endang Susilowati²

^{1,2}Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Mataram
Jl. Pendidikan No.37, Dasan Agung Baru, Kec. Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Bar. 83125

*Correspondent email: dewisaraswatis23@gmail.com

Diterima: 27 Februari 2026 | Disetujui: 28 April 2026 | Diterbitkan: 29 April 2026

Abstract. *Soil plays an essential role in maintaining ecosystem balance, supporting agricultural productivity, and facilitating various biogeochemical processes. However, increasing human activities such as small-scale mining, intensive agriculture, waste disposal, and land use changes have increased the risk of heavy metal contamination in soils. Heavy metals including mercury (Hg), lead (Pb), cadmium (Cd), and arsenic (As) are toxic, persistent, and capable of accumulating in food chains, posing risks to environmental sustainability and human health. This study aims to examine the forms of soil contamination caused by heavy metals in Lombok Island, identify effective bioremediation approaches for reducing heavy metal concentrations in soil, and analyze the most promising methods for improving the quality of contaminated soils. The research employed a qualitative descriptive approach using a literature review method. Scientific articles were collected from academic databases such as Google Scholar, ScienceDirect, and SpringerLink, focusing on publications from the last decade related to soil contamination and bioremediation. The selected literature was analyzed and synthesized by categorizing findings based on sources of contamination, ecological impacts, and bioremediation strategies. The results indicate that soil contamination in Lombok is primarily influenced by artisanal gold mining activities, waste management practices, and uncontrolled land use changes. Various studies highlight that biological remediation approaches, particularly those involving microorganisms, have strong potential to reduce heavy metal toxicity while improving soil fertility and ecological functions. Therefore, bioremediation represents a sustainable and environmentally friendly strategy for restoring contaminated soils and supporting long-term environmental management.*

Keywords: *soil contamination; heavy metals; bioremediation; environmental management; Lombok Island*

PENDAHULUAN

Tanah merupakan komponen penting dalam sistem lingkungan yang berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem, mendukung produktivitas pertanian, serta menjadi media bagi berbagai proses biogeokimia. Namun, dalam beberapa dekade terakhir kualitas tanah mengalami tekanan akibat meningkatnya aktivitas manusia seperti pertambangan, pertanian intensif, pembuangan limbah, serta perubahan penggunaan lahan. Aktivitas tersebut berpotensi menyebabkan akumulasi logam berat di dalam tanah, yang pada konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Mohammad et al., 2025). Logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsen (As) bersifat toksik, tidak mudah terdegradasi secara alami, serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi (Islam et al., 2024).

Pencemaran logam berat di tanah menjadi isu lingkungan global karena dapat mengganggu aktivitas mikroorganisme tanah, menurunkan kesuburan tanah, serta menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, paparan logam berat melalui tanah, air, dan tanaman pangan dapat memicu berbagai gangguan kesehatan pada manusia, seperti kerusakan organ, gangguan saraf, hingga peningkatan risiko penyakit kronis (Tang et al., 2024). Oleh karena itu, upaya pengelolaan dan pemulihan tanah yang tercemar logam berat menjadi sangat penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan keamanan pangan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menangani pencemaran logam berat di tanah, mulai dari pendekatan fisik, kimia, hingga biologis. Metode konvensional seperti soil washing, stabilisasi kimia, atau



penggalian tanah memang mampu menurunkan konsentrasi logam berat secara cepat, namun sering kali membutuhkan biaya tinggi serta berpotensi menimbulkan dampak lingkungan sekunder. Oleh karena itu, pendekatan berbasis biologi seperti bioremediasi mulai banyak dikembangkan karena dianggap lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan mampu memperbaiki fungsi ekologis tanah secara berkelanjutan (Liu, 2025; Tang et al., 2024).

Bioremediasi memanfaatkan aktivitas organisme hidup seperti mikroorganisme, tanaman, maupun kombinasi keduanya untuk menurunkan konsentrasi atau menstabilkan logam berat di lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa mekanisme seperti biosorpsi, bioakumulasi, transformasi enzimatis, serta interaksi antara tanaman dan mikroba tanah dapat meningkatkan efektivitas proses remediasi logam berat pada tanah yang tercemar (Khatoon et al., 2024; Naidu et al., 2025). Pendekatan ini tidak hanya berperan dalam mengurangi tingkat pencemaran, tetapi juga membantu memulihkan kualitas tanah serta mendukung keberlanjutan ekosistem. Wilayah kepulauan seperti Pulau Lombok, aktivitas pertambangan rakyat, pertanian intensif, serta perubahan penggunaan lahan berpotensi meningkatkan risiko pencemaran logam berat pada tanah. Kondisi tersebut menjadikan kajian mengenai karakteristik pencemaran tanah serta potensi penerapan teknologi bioremediasi menjadi sangat penting sebagai dasar dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai bentuk pencemaran tanah akibat logam berat yang terjadi di Pulau Lombok, mengidentifikasi pendekatan bioremediasi yang efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah, serta menganalisis metode bioremediasi yang paling berpotensi dalam meningkatkan kualitas tanah yang telah tercemar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif melalui metode kajian literatur (literature review) untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pencemaran tanah oleh logam berat serta potensi penerapan bioremediasi sebagai upaya pemulihan kualitas tanah. Pendekatan kajian literatur memungkinkan peneliti menghimpun, menelaah, dan mensintesis berbagai hasil penelitian yang telah dipublikasikan sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih sistematis mengenai kondisi pencemaran tanah serta perkembangan teknologi remediasi yang ramah lingkungan (Xu et al., 2024; Muhammad Lukman et al., 2025). Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel ilmiah pada beberapa basis data akademik, seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink. Proses pencarian literatur menggunakan beberapa kata kunci yang relevan, antara lain *pencemaran tanah*, *logam berat*, *soil contamination*, *heavy metal pollution*, dan *bioremediation*. Literatur yang digunakan terutama berasal dari publikasi ilmiah dalam kurun waktu lima hingga sepuluh tahun terakhir guna memastikan bahwa informasi yang dianalisis memiliki tingkat kebaruan serta relevan dengan perkembangan penelitian terkini dalam bidang pengelolaan lingkungan dan teknologi bioremediasi (Xu et al., 2024; Verasoundarapandian et al., 2021).

Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu memiliki keterkaitan dengan pencemaran tanah oleh logam berat, membahas sumber pencemar serta dampak lingkungan, serta memuat informasi mengenai penerapan bioremediasi dalam pemulihan tanah tercemar. Artikel yang memenuhi kriteria tersebut selanjutnya dianalisis secara deskriptif-kualitatif dengan cara mengelompokkan temuan penelitian berdasarkan jenis pencemaran logam berat, sumber aktivitas penyebab pencemaran, serta pendekatan bioremediasi yang digunakan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Hasil analisis kemudian disintesis dalam bentuk tabel ringkasan dan pembahasan naratif untuk membandingkan efektivitas berbagai metode bioremediasi yang dilaporkan dalam literatur. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih sistematis mengenai berbagai bentuk pencemaran tanah akibat logam berat yang terjadi di Pulau Lombok, sekaligus mengidentifikasi pendekatan bioremediasi yang efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat serta metode yang berpotensi meningkatkan kualitas tanah yang telah tercemar (Xu et al., 2024; Jain et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencemaran tanah oleh logam berat merupakan salah satu isu lingkungan yang semakin mendapat perhatian di Pulau Lombok. Tanah memiliki peran penting sebagai media penyangga kehidupan, penyedia unsur hara, serta bagian awal dari rantai makanan ekosistem darat. Oleh karena itu, ketika tanah tercemar oleh zat berbahaya seperti logam berat, maka dampaknya tidak hanya dirasakan oleh lingkungan tetapi juga oleh kesehatan manusia dan keberlanjutan sistem pertanian (Muslimah, 2017). Pencemaran tanah pada dasarnya



dapat dipicu oleh berbagai aktivitas manusia, seperti limbah domestik, limbah industri, serta penggunaan bahan kimia pertanian secara berlebihan. Seperti dijelaskan oleh Hanipah (2020), pencemaran tanah terjadi ketika suatu zat asing masuk ke dalam lingkungan tanah sehingga menurunkan kualitas tanah dan berpotensi membahayakan organisme yang hidup di dalamnya. Selain faktor aktivitas manusia, perubahan kondisi lingkungan dan pemanfaatan lahan yang tidak terkendali juga dapat mempercepat degradasi kualitas tanah dan meningkatkan risiko akumulasi logam berat di lingkungan (Rizqi et al., 2025).

Jenis Pencemaran Tanah Akibat Logam Berat di Lombok

Dampak ekologis pencemaran tanah di Lombok tercermin pada perubahan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah. Penurunan stok karbon tanah pada lahan pertanian intensif dibandingkan lahan hutan menunjukkan berkurangnya kapasitas tanah dalam menyimpan karbon dan menjaga struktur agregat (Bakti et al., 2021; Putri et al., 2025). Nilai Soil Organic Carbon (SOC) tertinggi ditemukan pada hutan sekunder dengan biomassa serasah dua kali lebih besar dibanding sistem agroforestri (Latifah et al., 2022), yang menunjukkan pentingnya tutupan vegetasi dalam menjaga stabilitas ekologis tanah. Intensitas penggunaan lahan yang tinggi juga berkontribusi terhadap penurunan indeks kualitas lingkungan ekologis di Lombok Barat (Salim, 2025). Pada lahan kering Lombok Timur, faktor degradasi tanah memiliki hubungan signifikan dengan penurunan produktivitas pertanian berdasarkan model regresi yang menunjukkan kontribusi variabel kualitas tanah terhadap hasil produksi (Ansyar & Herdiana, 2023).

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, pencemaran tanah di Pulau Lombok terutama dipengaruhi oleh aktivitas pertambangan, pengelolaan sampah, serta perubahan penggunaan lahan. Salah satu contoh yang paling banyak dikaji adalah aktivitas pertambangan emas rakyat di Kecamatan Sekotong, Lombok Barat. Dalam proses pengolahan emas, penambang umumnya menggunakan merkuri (Hg) dan sianida karena kedua bahan tersebut dinilai efektif untuk memisahkan emas dari bijihnya. Namun, penggunaan bahan kimia tersebut juga menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan karena limbah yang dihasilkan seringkali dibuang langsung ke lingkungan tanpa proses pengolahan yang memadai. Sebaran merkuri dan sianida di lingkungan sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, seperti suhu, pelapukan batuan, serta proses biologis dan mikrobiologis yang terjadi di dalam tanah (Purbajati et al., 2024).

Akumulasi logam berat tersebut dapat terjadi pada lapisan tanah hingga kedalaman sekitar 75 cm dari permukaan tanah. Limbah merkuri dan mangan yang berasal dari proses pengolahan emas juga berpotensi masuk ke dalam ekosistem sungai, kemudian larut di dalam air dan mengendap pada sedimen dasar perairan. Dalam jangka panjang, logam berat yang terakumulasi di sedimen dapat masuk ke dalam jaringan organisme air sehingga menimbulkan proses bioakumulasi dalam rantai makanan (Purbajati et al., 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa pencemaran tanah tidak hanya berdampak pada lingkungan darat, tetapi juga dapat mempengaruhi kualitas ekosistem perairan di sekitarnya.

Selain dari aktivitas pertambangan, pencemaran logam berat juga dapat berasal dari pengelolaan sampah dan limbah domestik, khususnya pada kawasan tempat pemrosesan akhir (TPA). Penelitian di sekitar TPA Kebon Kongok di Lombok Barat menunjukkan bahwa air lindi dari timbunan sampah berpotensi mengandung logam berat seperti timbal (Pb), besi (Fe), tembaga (Cu), dan mangan (Mn). Meskipun sebagian kandungan logam tersebut masih berada di bawah baku mutu lingkungan, keberadaannya tetap menunjukkan potensi pencemaran tanah dan air tanah di wilayah sekitar TPA (Syuzita et al., 2022). Hal serupa juga ditemukan pada penelitian Soemeinaboedhy (2023) yang menunjukkan bahwa kandungan timbal pada tanah sawah di sekitar aliran air lindi berkisar antara 0,20–0,22 ppm, nilai yang masih berada di bawah baku mutu nasional namun tetap memerlukan pemantauan secara berkala.

Aktivitas lain yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas tanah adalah perubahan penggunaan lahan dan aktivitas penambangan bahan galian, seperti penambangan batu apung di Lombok Timur. Sistem penambangan terbuka (open pit mining) yang dilakukan dengan mengupas lapisan tanah penutup menyebabkan hilangnya lapisan topsoil yang kaya unsur hara. Kondisi ini berdampak pada penurunan pH tanah dari 7,94 menjadi 6,32, serta penurunan kandungan karbon organik dari 0,54% menjadi 0,14% setelah kegiatan penambangan berlangsung (Village & District, 2025; Hopiana et al., 2025). Penurunan kualitas tanah akibat aktivitas manusia tersebut menunjukkan bahwa perubahan pemanfaatan lahan yang tidak terkendali dapat mempercepat proses degradasi lingkungan dan meningkatkan potensi akumulasi logam berat di dalam tanah (Rizqi et al., 2025). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa berbagai aktivitas pemanfaatan sumber daya alam di Lombok dapat memicu degradasi kualitas tanah dan meningkatkan risiko pencemaran logam berat jika tidak dikelola secara berkelanjutan.



Bioremediasi yang Efektif untuk Menurunkan Logam Berat pada Tanah

Pencemaran tanah oleh logam berat merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang serius karena sebagian besar logam berat bersifat persisten dan tidak mudah terdegradasi secara alami dalam waktu singkat. Sifat tersebut menyebabkan logam berat dapat terakumulasi di dalam tanah dan berpotensi masuk ke dalam rantai makanan melalui tanaman maupun organisme tanah lainnya. Akumulasi tersebut tidak hanya menurunkan kualitas tanah, tetapi juga meningkatkan risiko gangguan kesehatan manusia serta ketidakseimbangan ekosistem tanah. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan logam berat di lingkungan tanah memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan lingkungan seperti yang dilaporkan oleh Gupta et al. (2024), serta berkaitan erat dengan aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap peningkatan kontaminasi logam berat di lingkungan (Aznur et al., 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pencemaran logam berat mendorong berkembangnya teknologi pemulihan lingkungan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah bioremediasi, yaitu metode pemulihan lingkungan yang memanfaatkan organisme hidup seperti mikroorganisme, tanaman, maupun enzim biologis untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar. Pendekatan ini dinilai lebih efektif karena mampu mengurangi toksisitas logam berat tanpa menimbulkan dampak sekunder terhadap lingkungan. Oleh karena itu, bioremediasi semakin banyak dikaji sebagai alternatif teknologi pengelolaan tanah tercemar yang berkelanjutan seperti yang dijelaskan oleh Gupta et al. (2024), serta didukung oleh penelitian lain yang menekankan pentingnya pendekatan biologis dalam pengendalian pencemaran logam berat (Widyasari & Wiratama, 2021).

Salah satu pendekatan bioremediasi yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan mikroorganisme tanah, terutama plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Mikroorganisme ini hidup di sekitar sistem perakaran tanaman dan berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi tanah yang terkontaminasi logam berat. Menurut Gupta et al. (2024), PGPR memiliki kemampuan menurunkan toksisitas logam berat melalui berbagai mekanisme biologis seperti biosorpsi, bioakumulasi, biotransformasi, presipitasi, serta produksi senyawa siderofor dan ion pengkelat. Mekanisme tersebut memungkinkan logam berat diikat atau diubah menjadi bentuk yang lebih stabil sehingga mobilitas dan tingkat toksisitasnya di dalam tanah dapat berkurang (Gupta et al., 2024).

Kemampuan mikroorganisme dalam proses bioremediasi juga berkaitan erat dengan struktur sel yang dimilikinya. Dinding sel mikroorganisme mengandung berbagai gugus fungsional seperti karboksil, hidroksil, amino, fosfat, dan karbonil yang berperan sebagai tempat pengikatan logam berat. Gugus-gugus tersebut memungkinkan logam berat terikat pada permukaan sel melalui proses biosorpsi sehingga konsentrasinya di lingkungan dapat berkurang secara bertahap. Selain bakteri, organisme lain seperti fungi, alga, dan tanaman air juga memiliki potensi yang sama dalam proses remediasi logam berat melalui mekanisme biofiltrasi, bioakumulasi, biomineralisasi, serta biotransformasi seperti yang dilaporkan oleh Aznur et al. (2022).

Beberapa penelitian eksperimental juga menunjukkan bahwa mikroorganisme indigenous dari lingkungan tercemar memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap logam berat. Penelitian yang dilakukan oleh Widiatmono et al. (2020) menemukan bahwa bakteri indigenous yang diisolasi dari tanah tercemar air lindi di TPA Supit Urang Malang memiliki kemampuan resistensi terhadap logam berat timbal (Pb). Dari sepuluh isolat bakteri yang diperoleh, tiga isolat menunjukkan kemampuan reduksi Pb sebesar 35,3%, 69,1%, dan 60,8%. Hasil identifikasi morfologi dan uji biokimia menunjukkan bahwa bakteri tersebut termasuk dalam genus *Bacillus* yang dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang tercemar (Widiatmono et al., 2020).

Penelitian lain yang dilakukan pada kawasan pertambangan emas menunjukkan bahwa mikroorganisme lokal juga memiliki potensi besar dalam mereduksi logam berat merkuri. Irfan et al. (2024) melaporkan bahwa beberapa bakteri indigenous yang diisolasi dari tanah di sekitar lokasi pembuangan limbah pertambangan emas memiliki kemampuan tinggi dalam menurunkan konsentrasi merkuri. Dari tujuh isolat bakteri yang diperoleh, tiga isolat yang termasuk dalam genus *Clostridium* dan *Enterobacter* mampu menurunkan konsentrasi merkuri hingga lebih dari 97%. Temuan ini menunjukkan bahwa mikroorganisme lokal yang telah beradaptasi dengan lingkungan tercemar memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai agen bioremediasi yang efektif (Irfan et al., 2024).

Selain penggunaan mikroorganisme tunggal, pendekatan lain yang juga mulai dikembangkan adalah pemanfaatan konsorsium mikroba dalam proses bioremediasi. Konsorsium mikroorganisme dinilai lebih efektif karena masing-masing mikroorganisme memiliki jalur metabolisme yang berbeda sehingga dapat bekerja secara sinergis dalam proses degradasi atau immobilisasi kontaminan. Kajian literatur yang dilakukan oleh Evania dan Perdana (2025) menunjukkan bahwa konsorsium mikroba memiliki kemampuan adaptasi yang lebih tinggi dibandingkan isolat tunggal. Hal ini disebabkan oleh kemampuan konsorsium dalam membentuk biofilm serta



menghasilkan senyawa ekstraseluler yang meningkatkan stabilitas mikroorganisme di dalam tanah (Evania & Perdana, 2025).

Pendekatan bioremediasi juga berkembang melalui pemanfaatan enzim biologis yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme. Enzim tersebut mampu mengubah struktur kimia logam berat menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga tingkat toksisitasnya dapat berkurang. Salah satu inovasi yang mulai banyak digunakan adalah pemanfaatan eco-enzyme yang dihasilkan dari proses fermentasi limbah organik seperti sisa buah dan sayuran. Eco-enzyme diketahui mengandung berbagai enzim hidrolitik yang dapat meningkatkan kesuburan tanah sekaligus membantu proses degradasi logam berat pada tanah tercemar seperti yang dilaporkan oleh Widyasari dan Wiratama (2021).

Pendekatan lain yang juga menunjukkan hasil cukup efektif adalah teknologi vermikomposting yang memanfaatkan aktivitas cacing tanah dalam proses stabilisasi kontaminan. Penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah et al. (2025) menunjukkan bahwa teknologi vermikomposting mampu menurunkan konsentrasi logam timbal pada tanah tercemar hingga 50,7% dalam waktu 56 hari. Proses ini terjadi melalui interaksi antara aktivitas mikroorganisme, bahan organik, serta sistem pencernaan cacing tanah yang membantu mengubah bentuk kimia logam menjadi senyawa yang kurang berbahaya. Dengan demikian, teknologi vermikomposting dapat menjadi salah satu alternatif pendekatan bioremediasi yang efektif dalam pengelolaan tanah tercemar logam berat (Ardiansyah et al., 2025).

Perkembangan teknologi bioremediasi juga menunjukkan adanya potensi peningkatan efisiensi melalui pendekatan rekayasa genetika terhadap mikroorganisme. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan strain mikroba yang memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mengikat maupun mentransformasi logam berat di lingkungan. Gupta et al. (2024) menjelaskan bahwa rekayasa genetika dapat meningkatkan kapasitas metabolisme mikroorganisme sehingga proses remediasi dapat berlangsung lebih cepat dan efektif. Oleh karena itu, inovasi teknologi berbasis rekayasa genetika berpotensi menjadi salah satu solusi masa depan dalam pengelolaan tanah yang tercemar logam berat.

Secara keseluruhan, berbagai penelitian menunjukkan bahwa bioremediasi merupakan pendekatan yang efektif dan ramah lingkungan dalam menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah. Metode ini tidak hanya mampu mengurangi tingkat toksisitas logam berat, tetapi juga berkontribusi dalam memperbaiki kualitas tanah melalui peningkatan aktivitas biologis serta kesuburan tanah. Dengan demikian, penerapan teknologi bioremediasi berbasis mikroorganisme, enzim biologis, maupun konsorsium mikroba perlu terus dikembangkan. Upaya tersebut penting dilakukan sebagai strategi pengelolaan tanah tercemar yang berkelanjutan seperti yang ditekankan dalam berbagai kajian penelitian terbaru mengenai remediasi lingkungan (Gupta et al., 2024; Aznur et al., 2022).

Bioremediasi yang sesuai dengan permasalahan yang ada di Pulau Lombok

Tabel 1. Bioremediasi yang Efektif dalam Meningkatkan Kualitas Tanah di Pulau Lombok

Jenis Bioremediasi	Mekanisme Utama	Efektivitas terhadap Logam Berat	Referensi
Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)	Mikroorganisme di zona perakaran tanaman yang bekerja melalui biosorpsi, bioakumulasi, biotransformasi, presipitasi, serta produksi siderofor dan ion pengkelat untuk mengikat atau menstabilkan logam berat.	Mampu menurunkan mobilitas dan toksisitas logam berat sekaligus meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres logam serta memperbaiki ketersediaan unsur hara tanah.	Gupta et al., 2024
Bakteri Tanah Tercemar Indigenous	Mikroorganisme lokal yang telah beradaptasi dengan kondisi tercemar sehingga mampu melakukan biosorpsi dan	Isolat bakteri genus <i>Bacillus</i> mampu mereduksi logam timbal (Pb) hingga 69,1%, menunjukkan potensi tinggi sebagai agen	Widiatmono et al., 2020



		bioakumulasi logam berat melalui gugus fungsional pada dinding sel.	bioremediasi.
Bakteri Mercuri (Hg)	Pereduksi	Mikroorganisme melakukan transformasi kimia logam berat melalui proses biotransformasi dan reduksi enzimatis sehingga merkuri berubah menjadi bentuk yang kurang toksik.	Isolat dari genus <i>Clostridium</i> dan <i>Enterobacter</i> mampu menurunkan konsentrasi merkuri hingga lebih dari 97% pada tanah tercemar.
Konsorsium Mikroorganisme		Kombinasi beberapa mikroorganisme yang bekerja secara sinergis melalui jalur metabolisme berbeda, membentuk biofilm, dan menghasilkan senyawa ekstraseluler yang meningkatkan stabilitas mikroba di tanah.	Lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan tercemar serta lebih efektif dalam menangani kontaminasi kompleks dibandingkan isolat tunggal.
Eco-enzyme limbah organik	berbasis	Cairan hasil fermentasi limbah buah dan sayuran yang mengandung enzim hidrolitik untuk membantu transformasi logam berat serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah.	Membantu menurunkan toksisitas logam berat sekaligus meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan aktivitas biologis tanah.
Vermikomposting (cacing tanah)		Interaksi antara mikroorganisme, bahan organik, dan sistem pencernaan cacing tanah yang mengubah struktur kimia logam berat serta meningkatkan stabilitas bahan organik tanah.	Mampu menurunkan konsentrasi timbal (Pb) hingga 50,7% dalam waktu 56 hari pada tanah tercemar.
Bioremediasi berbasis fungi, alga, dan tanaman air		Proses biofiltrasi, bioakumulasi, biomineralisasi, dan biotransformasi melalui gugus fungsional pada struktur sel organisme biologis.	Berpotensi mengikat dan menstabilkan logam berat melalui berbagai proses biologis pada sistem tanah dan air.

Irfan et al., 2024

Evania & Perdana, 2025

Widyasari & Wiratama, 2021

Ardiansyah et al., 2025

Aznur et al., 2022

Berdasarkan hasil kajian berbagai penelitian yang disajikan pada tabel 1, terdapat beberapa pendekatan bioremediasi yang dinilai efektif dalam meningkatkan kualitas tanah yang tercemar logam berat di Pulau Lombok. Pendekatan tersebut pada umumnya memanfaatkan proses biologis yang mampu menurunkan toksisitas logam berat sekaligus memperbaiki kesuburan tanah secara alami. Metode yang paling potensial meliputi pemanfaatan mikroorganisme tanah seperti plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) dan bakteri indigenous, penggunaan konsorsium mikroba, pemanfaatan eco-enzyme, serta teknologi vermikomposting. Berbagai pendekatan tersebut dinilai relevan untuk diterapkan karena sebagian besar sumber pencemaran di



Lombok berasal dari aktivitas pertambangan rakyat, pengelolaan limbah domestik, serta perubahan penggunaan lahan yang memicu akumulasi logam berat di dalam tanah.

Pendekatan bioremediasi yang paling banyak direkomendasikan adalah pemanfaatan mikroorganisme tanah, khususnya plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Mikroorganisme ini hidup di sekitar sistem perakaran tanaman dan berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi tanah yang terkontaminasi logam berat. Menurut Gupta et al. (2024), PGPR memiliki kemampuan menurunkan toksisitas logam berat melalui mekanisme biosorpsi, bioakumulasi, biotransformasi, dan presipitasi sehingga logam berat dapat diikat atau diubah menjadi bentuk yang lebih stabil. Mekanisme tersebut menyebabkan mobilitas logam berat di dalam tanah menjadi lebih rendah sehingga kualitas tanah dapat meningkat secara bertahap.

Selain PGPR, pemanfaatan bakteri indigenous dari lingkungan tercemar juga dinilai sangat efektif karena mikroorganisme tersebut telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang mengandung logam berat. Widiatmono et al. (2020) melaporkan bahwa bakteri dari genus *Bacillus* mampu menurunkan konsentrasi logam timbal (Pb) hingga 69,1%, sementara isolat lainnya menunjukkan reduksi sebesar 35,3% dan 60,8%. Kemampuan adaptasi yang tinggi tersebut membuat mikroorganisme lokal memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai agen bioremediasi pada tanah yang tercemar logam berat. Dengan demikian, penggunaan bakteri indigenous menjadi salah satu pendekatan yang realistis karena dapat memanfaatkan sumber daya mikroba yang telah tersedia secara alami di lingkungan.

Pendekatan lain yang menunjukkan efektivitas tinggi adalah pemanfaatan bakteri pereduksi merkuri yang berasal dari kawasan pertambangan emas. Irfan et al. (2024) menemukan bahwa bakteri indigenous dari genus *Clostridium* dan *Enterobacter* mampu menurunkan konsentrasi merkuri hingga lebih dari 97%. Hasil ini menunjukkan bahwa mikroorganisme lokal yang berasal dari lokasi tercemar memiliki kemampuan metabolisme yang kuat dalam mereduksi logam berat. Oleh karena itu, penggunaan mikroba indigenous menjadi salah satu strategi bioremediasi yang sangat potensial untuk diterapkan pada wilayah pertambangan di Lombok, khususnya pada kawasan pertambangan emas rakyat di Kecamatan Sekotong.

Selain penggunaan isolat mikroorganisme tunggal, pendekatan konsorsium mikroba juga dinilai lebih efektif dalam menangani pencemaran yang bersifat kompleks. Konsorsium mikroorganisme memungkinkan beberapa jenis mikroba bekerja secara sinergis karena masing-masing memiliki jalur metabolisme yang berbeda. Kajian literatur yang dilakukan oleh Evania dan Perdana (2025) menunjukkan bahwa konsorsium mikroba memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik dibandingkan isolat tunggal karena mampu membentuk biofilm serta menghasilkan senyawa ekstraseluler yang meningkatkan stabilitas mikroorganisme di dalam tanah. Kondisi tersebut memungkinkan proses remediasi berlangsung lebih stabil pada lingkungan tanah yang memiliki tingkat pencemaran tinggi.

Pendekatan bioremediasi lainnya yang cukup menjanjikan adalah pemanfaatan eco-enzyme yang berasal dari fermentasi limbah organik seperti sisa buah dan sayuran. Eco-enzyme mengandung berbagai enzim biologis yang dapat membantu memperbaiki kualitas tanah serta mendukung proses transformasi logam berat menjadi bentuk yang lebih stabil. Widyasari dan Wiratama (2021) menjelaskan bahwa penggunaan eco-enzyme tidak hanya berperan dalam proses degradasi kontaminan, tetapi juga dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan bioremediasi berbasis limbah organik dapat menjadi alternatif teknologi yang relatif murah dan ramah lingkungan untuk mendukung pengelolaan tanah tercemar.

Selain itu, teknologi vermikomposting juga menunjukkan hasil yang cukup efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat di dalam tanah. Penelitian Ardiansyah et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan vermikomposting mampu menurunkan konsentrasi logam timbal (Pb) hingga 50,7% dalam waktu 56 hari. Proses ini terjadi melalui interaksi antara aktivitas mikroorganisme, bahan organik, serta sistem pencernaan cacing tanah yang mampu mengubah struktur kimia logam berat menjadi bentuk yang lebih stabil dan kurang berbahaya. Dengan demikian, teknologi vermikomposting tidak hanya berfungsi sebagai metode remediasi, tetapi juga berperan dalam meningkatkan kandungan bahan organik serta memperbaiki struktur tanah.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa bioremediasi berbasis mikroorganisme merupakan pendekatan yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas tanah yang tercemar logam berat di Pulau Lombok. Metode ini dinilai unggul karena mampu menurunkan konsentrasi logam berat secara alami, meningkatkan aktivitas biologis tanah, serta mendukung pemulihan kesuburan tanah secara berkelanjutan. Kombinasi antara mikroorganisme indigenous, konsorsium mikroba, eco-enzyme, dan vermikomposting berpotensi menjadi strategi terpadu dalam pengelolaan tanah tercemar logam berat. Oleh karena itu, pengembangan teknologi bioremediasi berbasis sumber daya hayati lokal perlu terus didorong sebagai bagian dari upaya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan di Pulau Lombok.



SIMPULAN

Pencemaran tanah oleh logam berat di Pulau Lombok menunjukkan pola yang erat kaitannya dengan aktivitas manusia, terutama pertambangan emas rakyat, pengelolaan limbah di sekitar TPA, serta perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali. Kondisi ini mendorong terjadinya akumulasi logam berat dalam tanah yang berdampak pada penurunan kualitas tanah, terganggunya keseimbangan ekosistem, serta meningkatnya risiko terhadap kesehatan manusia melalui rantai makanan. Kajian ini menegaskan bahwa permasalahan pencemaran tanah di Lombok tidak bersifat lokal semata, melainkan merupakan hasil interaksi berbagai aktivitas yang berlangsung secara terus-menerus.

Pendekatan bioremediasi terbukti menjadi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan dalam menurunkan konsentrasi logam berat sekaligus memulihkan kualitas tanah. Berbagai metode seperti pemanfaatan mikroorganisme tanah, PGPR, bakteri indigenous, konsorsium mikroba, eco-enzyme, serta vermikomposting menunjukkan potensi yang tinggi karena mampu bekerja melalui mekanisme biologis alami dan adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat. Metode berbasis mikroorganisme lokal dan kombinasi beberapa teknik bioremediasi menjadi pendekatan yang paling menjanjikan untuk diterapkan secara berkelanjutan dalam pengelolaan tanah tercemar di Pulau Lombok.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyar, M., & Herdiana, H. (2023). Analysis of the factors causing a decline in soil quality and their solutions as an effort to increase agricultural productivity in dry areas. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 3875–3882. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.3226>.
- Ardiansyah, A. H., Sari, G. L., & Ratnawati, K. (2025). Bioremediasi Tanah Tercemar Timbal pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Jalupang Kabupaten Karawang menggunakan Teknologi Vermicomposting. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 13(2), 126-135. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v13i2.94608>.
- Aznur, B. S., Nisa, S. K., & Septriono, W. A. (2022). Agen biologis potensial untuk bioremediasi logam berat. *Jurnal Maiyah*, 1(4), 186-198. <https://doi.org/10.20884/1.maiyah.2022.1.4.7442>.
- Bakti, L. A. A., Wandiatari, F. D., Kusumo, B. H., Sukartono, Fahrudin, Virgiawan, M. A., & Suwardji. (2021). Soil carbon stocks in various types of land use in West Lombok. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012022>.
- Evania, A., & Perdana, A. T. (2025). Aplikasi Mikroorganisme untuk Bioremediasi Tanah Tercemar: Suatu Tinjauan Pustaka. *Mikroba: Jurnal Ilmu Tanaman, Sains Dan Teknologi Pertanian*, 2(3), 114-126. <https://doi.org/10.62951/mikroba.v2i3.540>.
- Gupta, R., Khan, F., Alqahtani, F. M., Hashem, M., & Ahmad, F. (2024). Plant growth-promoting Rhizobacteria (PGPR) assisted bioremediation of Heavy Metal Toxicity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196(5), 2928-2956. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04545-3>.
- Hanipah, P. (2020). Pencemaran tanah akibat limbah industri. *Logika: Journal of Multidisciplinary Studies*. 10.1088/1755-1315/824/1/012022.
- Hopiana, N., Kusnarta, IGM., & Dewi, R. A., (2025). Dampak penambangan batu apung pada beberapa sifat kimia tanah di Kelurahan Ijobalit Kecamatan Labuhan Haji Kabupaten Lombok Timur.
- Irfan, M., Mayasari, U., & Rasyidah, R. (2024). Potensi Isolat Bakteri Indigenos pada Tanah Sekitar Pembuangan Limbah Pertambangan Emas Martabe sebagai Agen Bioremediasi Merkuri (Hg). *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5(3), 355-368. <https://doi.org/10.55241/spibio.v5i3.429>.
- Islam, M. M., Saxena, N., & Sharma, D. (2024). Phytoremediation as a green and sustainable prospective method for heavy metal contamination: a review. *Rsc Sustainability*, 2(5), 1269-1288. <https://doi.org/10.1039/D3SU00440F>.



- Jain KR, Desai C, van Hullebusch ED and Madamwar D (2021) Editorial: Advanced Bioremediation Technologies and Processes for the Treatment of Synthetic Organic Compounds. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 9:721319. 10.3389/fbioe.2021.721319.
- Khatoon, Z., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Santoyo, G. (2024). Microbial contributions to heavy metal phytoremediation in agricultural soils: A review. *Microorganisms*, 12(10), 1945. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12101945>.
- Latifah, S., Hidayati, E., & Valentino, N. (2022). Soil Characteristics of Six Management Regimes in Lombok Indonesia. *Jurnal Belantara*, 5(1): 59-71. <https://doi.org/10.29303/jbl.v5i1.889>.
- Liu, R. (2025). Research Progress on Bioremediation Technologies for Heavy Metal Contaminated Soils. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 153, 415-423. <https://doi.org/10.54097/mgcqfj14>.
- Mohammad, S. J., Ling, Y. E., Halim, K. A., Sani, B. S., & Abdullahi, N. I. (2025). Heavy metal pollution and transformation in soil: a comprehensive review of natural bioremediation strategies. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 11(3), 528-544. <https://doi.org/10.1007/s43994-025-00241-6>.
- Mohammad, S.J., Ling, Y.E., Halim, K.A. *et al.* Heavy metal pollution and transformation in soil: a comprehensive review of natural bioremediation strategies. *J.Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci.* 11, 528-544 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43994-025-00241-6>.
- Muhammad Lukman, M. A. F., Ahmad Mokhtar, A. M., Yaakop, A. S., Mohd Zaini Makhtar, M., & Kamaruzaman, N. A. (2026). A systematic literature review on evaluation of microbial fuel cell in bioremediating toxic compounds from wastewater sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 23(2), 137. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06885-5>.
- Muslimah. (2017). Dampak pencemaran tanah dan langkah pencegahan. *Jurnal Penelitian Agrisamudra*, 2(1), 11-20. <https://doi.org/10.33059/jpas.v2i1.224>.
- Naidu, R., Biswas, B., Nuruzzaman, M. *et al.* Bioremediation of heavy metal(loid)s in agricultural soils and crops. *Nat Rev Bioeng* 3, 1005-1018 (2025). <https://doi.org/10.1038/s44222-025-00345-y>.
- Purbajati, L. K., Rizki, A. S., Murtawan, H., Bahri, S., & Hadi, A. P. (2024). Analisis limbah tambang emas konvensional di Kecamatan Sekotong Kabupaten Lombok Barat. *Bioindikator: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 1(2), 57-61. <https://doi.org/10.71024/bioindikator/2024/v1i2/78>.
- Putri, B. D. A. N., Bakti, L. A. A., Arifin, Z., & Zaki, M. (2025). Analysis of soil carbon content variation in four different land use types in West Lombok. *Journal of Biology, Environment, and Edu-Tourism*, 1(2), 67-75. <https://journals.widhatulfaeha.id/index.php/jbee/article/view/78>.
- Rizqi, I. T., Ariani, D., & Pelly, D. A. (2025). Analisis dampak pemanfaatan perkembangan tanah dalam pengelolaan lingkungan. *Jurnal Psikososial dan Pendidikan*, 1(2), 863-875. <https://publisherqu.com/index.php/psikosopen/article/view/2657>.
- Salim, M. (2025). The impact of land use intensity and environmental management policies on the ecological environmental quality index in West Lombok. *Rimba Torean Journal*, 1(1), 37-44. <https://sangiangglobalnusantara.or.id/RTJ/article/view/13>.
- Soemeinaboedhy, I. N. (2023). Status Pb (Plumbum) dan Hg (Hydrargyrum) pada tanah sawah yang air irigasinya berasal dari penyatuan air lindi TPA Regional Kebon Kongok Lombok Barat. *Journal of Soil Quality and Management*, 2(2), 61-66. <https://doi.org/10.29303/jsqm.v2i2.155>.
- Syuzita, A., Meiliyadi, L. A. D., & Bahtiar, B. (2022). Tingkat pencemaran lindi pada air tanah dangkal di sekitar TPA Kebon Kongok menggunakan parameter fisika dan kimia. *Jurnal Fisika Flux*, 19(2), 126-134. <http://dx.doi.org/10.20527/flux.v19i2.13030>.



Tang, H., Xiang, G., Xiao, W., Yang, Z., & Zhao, B. (2024). Microbial mediated remediation of heavy metals toxicity: mechanisms and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1420408. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1420408>.

Verasoundarapandian, G., Wong, C. Y., Shaharuddin, N. A., Gomez-Fuentes, C., Zulkharnain, A., & Ahmad, S. A. (2021). A review and bibliometric analysis on applications of microbial degradation of hydrocarbon contaminants in arctic marine environment at metagenomic and enzymatic levels. *International journal of environmental research and public health*, 18(4), 1671. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041671>.

Widiatmono, B. R., Susanawati, L. D., & Agustianingrum, R. (2020). Bioremediasi logam timbal (Pb) menggunakan bakteri indigenous pada tanah tercemar air lindi (Leachate). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(3), 11-18. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2019.006.03.2>.

Widyasari, N. L., & Wiratama, I. G. N. M. (2021). Studi teknik bioremediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan eco-enzyme. *Jurnal Ecocentrism*, 1(2), 89-95. <https://doi.org/10.36733/jeco.v1i2.2303>.

Xu, L., Zhao, F., Xing, X., Peng, J., Wang, J., Ji, M., & Li, B. L. (2024). A review on remediation technology and the remediation evaluation of heavy metal-contaminated soils. *Toxics*, 12(12), 897. <https://doi.org/10.3390/toxics12120897>.

