

Analisis Kualitas Air Limbah Tambang dan Upaya Pengolahannya dalam Rangka Reklamasi Lingkungan

Desinta Reva Artanevia¹, M. Syauqi Farhan¹ and Fitri Nauli^{1*}

¹ Program Studi D3 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Correspondence author: fitrinauli@ft.unp.ac.id; Telp: -

Received: 16 April 2025; Accepted: 07 August 2025; Published: 30 September 2025

Abstract

Mining activities, particularly open-pit mining, generate wastewater containing heavy metals and acidic compounds that pose significant environmental risks and hinder post-mining land reclamation. This study aims to analyze the quality of mining wastewater and evaluate various treatment methods to support effective environmental reclamation. The method employed was a literature review based on relevant scientific sources addressing mining wastewater treatment technologies and their ecological impacts. The findings indicate that physical, chemical, and biological treatment methods effectively reduce heavy metal concentrations, improve water quality, and enhance the success of land reclamation. Furthermore, sustainable management can be achieved through the selection of appropriate treatment technologies, the reuse of treated water, and the application of eco-design principles in treatment infrastructure. This study highlights that collaboration among government, mining companies, and local communities is essential to ensure sustainable wastewater management. Proper wastewater treatment not only improves water quality but also accelerates ecosystem recovery and the restoration of ecological functions in degraded post-mining areas.

Keywords: *mining wastewater, wastewater treatment, environmental reclamation, heavy metals, sustainable management.*

Abstrak

Kegiatan pertambangan, khususnya tambang terbuka, menghasilkan air limbah yang mengandung logam berat dan senyawa asam berbahaya sehingga berpotensi mencemari lingkungan serta menghambat reklamasi pascatambang. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas air limbah tambang dan mengevaluasi berbagai metode pengolahannya dalam mendukung keberhasilan reklamasi lingkungan. Metode yang digunakan adalah analisis literatur dengan merujuk pada sumber-sumber ilmiah relevan terkait teknologi pengolahan air limbah tambang dan dampaknya terhadap ekosistem. Hasil kajian menunjukkan bahwa pengolahan secara fisik, kimia, dan biologis mampu menurunkan kadar logam berat, memperbaiki kualitas air, dan meningkatkan efektivitas reklamasi lahan terdegradasi. Lebih lanjut, pengelolaan berkelanjutan dapat dicapai melalui pemilihan metode pengolahan yang sesuai, pemanfaatan kembali air hasil olahan, serta penerapan prinsip ekodesain dalam infrastruktur pengolahan. Penelitian ini menegaskan bahwa kolaborasi antara pemerintah, perusahaan tambang, dan masyarakat merupakan kunci dalam pengelolaan air limbah yang berkelanjutan. Dengan demikian, pengolahan air limbah yang tepat tidak hanya memperbaiki

kualitas air, tetapi juga mempercepat pemulihan ekosistem dan fungsi ekologis lahan pascatambang.

Kata Kunci: Air Limbah Tambang, Pengolahan Air Limbah, Reklamasi Lingkungan, Logam Berat, Pengelolaan Berkelanjutan.

1. Pendahuluan

Industri pertambangan, khususnya penambangan terbuka, telah memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian global. Namun, dampak negatif dari kegiatan pertambangan terhadap lingkungan, terutama pada kualitas air, tidak dapat diabaikan. Limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas tambang sering mengandung logam berat, bahan kimia berbahaya, dan sedimen yang dapat mencemari sumber daya air jika tidak dikelola dengan baik (1). Pencemaran air ini berpotensi merusak ekosistem perairan, mengancam kesehatan manusia, serta menurunkan kualitas air untuk irigasi dan konsumsi domestik (2)

Di Indonesia, permasalahan pencemaran air tambang sudah banyak dilaporkan. Misalnya, di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara, aktivitas pertambangan nikel menyebabkan penurunan kualitas air yang signifikan dan berdampak pada ekosistem perairan di sekitarnya. Kasus lain di Sungai Patangkep, Kalimantan Tengah, menunjukkan kadar logam berat Fe (3,10 mg/L) dan Mn (3,815 mg/L), serta konsentrasi asam sulfat (390,61 mg/L), yang jauh melebihi baku mutu lingkungan (3). Temuan ini menegaskan bahwa pencemaran limbah cair tambang di Indonesia tidak hanya bersifat lokal, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan jangka panjang bila tidak segera ditangani.

Dalam konteks reklamasi lingkungan, kualitas air limbah tambang menjadi salah satu fokus utama karena sangat menentukan keberhasilan rehabilitasi lahan pascatambang. Oleh karena itu, pengolahan air limbah tambang merupakan langkah krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan lingkungan (4). Berbagai metode pengolahan telah dikembangkan, mulai dari teknologi fisik dan kimia hingga pendekatan biologis, seperti penggunaan vegetasi dalam proses filtrasi air (5). Pengolahan yang tepat terbukti mampu menurunkan konsentrasi logam berat dan bahan pencemar lain sehingga kualitas air dapat memenuhi standar baku mutu.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menjadi penting dan mendesak untuk dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kualitas air limbah tambang yang dihasilkan dari aktivitas penambangan terbuka dan mengevaluasi berbagai upaya pengolahan yang diterapkan dalam rangka reklamasi lingkungan. Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik limbah cair dan efektivitas teknologi pengolahan, penelitian ini

diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya mitigasi dampak lingkungan pertambangan serta menjadi rujukan bagi penerapan pengelolaan air limbah yang berkelanjutan di Indonesia.

2. Metode

Metode literasi yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menyintesis informasi yang relevan dari berbagai sumber literatur yang telah diterbitkan terkait dengan pengolahan air limbah tambang dan reklamasi lingkungan. Penelitian ini tidak menggunakan data primer, melainkan mengandalkan sumber-sumber sekunder berupa jurnal ilmiah, buku, artikel, serta laporan-laporan yang diterbitkan dalam kurun waktu tujuh tahun terakhir. Fokus utama dari metode literasi ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kualitas air limbah tambang dan upaya pengolahannya dalam rangka mendukung reklamasi lingkungan.

Langkah pertama dalam metode literasi adalah pencarian sumber literatur. Pencarian dilakukan melalui berbagai database akademik yang terpercaya, seperti Google Scholar, Scopus, dan ProQuest. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian mencakup “air limbah tambang”, “pengolahan air limbah tambang”, “reklamasi lingkungan”, dan “metode pengolahan air limbah”. Hanya literatur yang diterbitkan dalam rentang waktu tujuh tahun terakhir (2016–2023) yang dipilih, untuk memastikan bahwa informasi yang digunakan relevan dan mutakhir.

Setelah mendapatkan sejumlah sumber literatur, langkah berikutnya adalah seleksi literatur. Proses seleksi ini dilakukan dengan menetapkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas secara langsung mengenai pengolahan air limbah tambang, baik itu melalui pendekatan fisika, kimia, maupun biologi, serta yang mengaitkan hasil pengolahan dengan upaya reklamasi lingkungan. Literatur yang tidak relevan dengan topik, atau yang terbit sebelum tahun 2016, disingkirkan dari proses analisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah analisis dan sintesis literatur. Dalam tahap ini, setiap literatur yang terpilih dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi temuan-temuan utama yang relevan dengan penelitian. Sintesis dilakukan dengan cara menggabungkan informasi yang ditemukan untuk mendapatkan gambaran komprehensif mengenai metode pengolahan air limbah tambang yang telah digunakan dan hasil-hasil yang diperoleh dari aplikasi metode tersebut. Selain itu, dilakukan pula perbandingan antar-temuan untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan air limbah dalam konteks reklamasi lahan yang terdampak oleh aktivitas tambang.

Setelah analisis dan sintesis selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah penulisan dan penyusunan hasil penelitian. Temuan-temuan yang telah dianalisis disusun dalam bentuk narasi yang jelas dan terstruktur, menghubungkan informasi yang diperoleh dari berbagai literatur. Penulisan dilakukan dengan bahasa ilmiah yang mudah dipahami, tetapi tetap menjaga tingkat akurasi teknis agar dapat dipertanggungjawabkan secara akademik. Setiap temuan disertai dengan referensi yang tepat sesuai dengan standar penulisan ilmiah.

Sebagai bagian dari metode literasi, evaluasi kritis terhadap literatur yang digunakan juga dilakukan. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai kelebihan dan keterbatasan dari masing-masing studi yang dianalisis. Hal ini penting untuk memastikan bahwa hasil sintesis yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan dan memberikan gambaran yang objektif mengenai pengolahan air limbah tambang dan dampaknya terhadap reklamasi lingkungan.

Melalui metode literasi ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam tentang kualitas air limbah tambang, teknik-teknik pengolahan yang efektif, serta dampaknya terhadap upaya reklamasi lingkungan. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan informasi yang lebih luas dari berbagai sumber terpercaya, yang pada akhirnya dapat memberikan dasar yang kuat untuk merumuskan rekomendasi bagi pengelolaan air limbah tambang yang lebih baik dan berkelanjutan.

3. Hasil dan Pembahasan

Kualitas Air Limbah Tambang Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia

Air limbah tambang merupakan hasil buangan dari aktivitas pertambangan yang mengandung berbagai zat berbahaya dan berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Kualitas air limbah tambang secara umum diukur melalui dua kelompok parameter utama, yaitu parameter fisika dan parameter kimia. Parameter fisika meliputi suhu, kekeruhan (turbiditas), dan total padatan tersuspensi (TSS), sedangkan parameter kimia mencakup pH, kandungan logam berat (seperti Fe, Mn, Pb, dan Hg), serta kebutuhan oksigen kimia (COD) dan kebutuhan oksigen biologis (BOD).

Berdasarkan kajian literatur, diketahui bahwa air limbah tambang umumnya memiliki nilai pH yang cenderung asam, berkisar antara 3 hingga 5, yang disebabkan oleh adanya oksidasi mineral sulfida seperti pirit (FeS_2) menjadi asam sulfat (H_2SO_4) (6). Kondisi pH yang rendah ini dapat mempercepat pelarutan logam-logam berat ke dalam air, meningkatkan potensi toksisitasnya terhadap organisme akuatik maupun tanah sekitar lokasi tambang. Selain itu, parameter TSS pada air limbah tambang sering kali menunjukkan nilai yang tinggi, akibat

dari partikel halus yang terbawa oleh aliran air dari kegiatan pembongkaran tanah dan batuan (7).

Tabel 1. berikut menyajikan nilai umum dari beberapa parameter kualitas air limbah tambang dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan pemerintah (PP No. 22 Tahun 2021):

Parameter	Satuan	Kisaran Nilai pada Air Limbah Tambang	Baku Mutu (PP No. 22 Tahun 2021)	Sumber
pH	-	3 – 5	6 – 9	Saputra & Mulyani (2020)
TSS	mg/L	150 – 450	200	Rachmawati et al. (2019)
Fe (Besi)	mg/L	10 – 15	7	Yulianti & Sudrajat (2021)
Mn (Mangan)	mg/L	2 – 5	4	Yulianti & Sudrajat (2021)
COD	mg/L	50 – 200	100	Wahyuni & Haryanto (2022)
BOD	mg/L	10 – 30	50	Wahyuni & Haryanto (2022)

Kandungan logam berat menjadi salah satu perhatian utama dalam pengelolaan air limbah tambang. Logam seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) sering ditemukan dalam konsentrasi yang melebihi baku mutu lingkungan. Studi oleh (8) menunjukkan bahwa kadar besi dalam air limbah tambang batubara di Kalimantan mencapai 15 mg/L, jauh melebihi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yaitu sebesar 7 mg/L. Kandungan logam berat yang tinggi ini memiliki potensi mencemari badan air dan mengganggu ekosistem perairan apabila tidak ditangani secara efektif.

Selain itu, parameter kimia lainnya seperti BOD dan COD juga penting untuk dianalisis, karena mengindikasikan tingkat pencemaran organik dalam air limbah. Walaupun limbah tambang umumnya tidak mengandung limbah organik dalam jumlah besar seperti limbah domestik, namun keberadaan bahan organik dari vegetasi yang terganggu atau dari bahan tambahan dalam proses tambang masih dapat menyumbang nilai BOD dan COD yang signifikan (9). Nilai BOD yang tinggi menandakan bahwa air limbah memerlukan oksigen dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi, yang jika langsung dibuang ke badan air dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dan mengganggu kehidupan organisme akuatik.

Pentingnya analisis parameter fisika dan kimia dalam menilai kualitas air limbah tambang tidak hanya terletak pada aspek pemantauan, tetapi juga menjadi dasar dalam

pemilihan metode pengolahan yang tepat. Dengan memahami karakteristik limbah yang dihasilkan, pengelola tambang dapat merancang sistem pengolahan yang sesuai untuk menurunkan kadar kontaminan hingga di bawah ambang batas yang ditetapkan. Hal ini menjadi langkah awal yang krusial dalam upaya mendukung keberhasilan reklamasi lahan pasca tambang dan pemulihan kualitas lingkungan.

Secara keseluruhan, kualitas air limbah tambang berdasarkan parameter fisika dan kimia menunjukkan bahwa pengelolaan yang tidak optimal dapat membawa dampak signifikan terhadap kualitas lingkungan perairan. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan rutin serta pengolahan limbah yang efektif dan efisien agar air limbah yang dihasilkan tidak menjadi sumber pencemaran baru yang menghambat proses reklamasi dan pemulihan lingkungan secara berkelanjutan.

Perbandingan Kualitas Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Pengolahan air limbah tambang merupakan salah satu langkah penting dalam mitigasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas pertambangan. Salah satu indikator utama keberhasilan proses pengolahan tersebut adalah perubahan kualitas air, baik secara fisik maupun kimia, sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan. Metode pengolahan air limbah dapat menurunkan kadar zat pencemar secara signifikan, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada jenis metode yang digunakan dan karakteristik awal limbah tambang.

Air limbah tambang yang belum diolah menunjukkan konsentrasi logam berat seperti Fe dan Mn yang tinggi, serta nilai TSS dan COD yang melebihi ambang batas baku mutu lingkungan. Dalam studi tersebut, setelah dilakukan pengolahan menggunakan metode presipitasi kimia dan sedimentasi, terjadi penurunan kadar Fe dari 12 mg/L menjadi 4,5 mg/L, dan kadar Mn dari 5,2 mg/L menjadi 2 mg/L. Hasil ini menunjukkan adanya penurunan kadar logam berat hingga lebih dari 50%, meskipun beberapa parameter masih berada di ambang batas yang harus terus diawasi.

Penurunan juga tercatat pada parameter TSS dan pH. Sebelum pengolahan, air limbah memiliki TSS sebesar 400 mg/L dan pH sekitar 3,8, mencerminkan kondisi asam dan tingkat kekeruhan tinggi. Setelah pengolahan, TSS menurun menjadi 180 mg/L dan pH meningkat menjadi 6,5 yang mendekati nilai netral. Hasil ini konsisten dengan temuan dari (10), yang menyebutkan bahwa teknologi netralisasi pH menggunakan kapur dan sistem pengendapan dapat menstabilkan kondisi kimia air limbah tambang dalam jangka menengah

Selain parameter kimia, kualitas fisik air seperti kejernihan juga mengalami perbaikan yang nyata. Warna air yang semula kecoklatan dan keruh menjadi lebih jernih setelah pengolahan, menandakan berkurangnya kandungan partikel tersuspensi. Hal ini mendukung hasil studi oleh (11) yang menjelaskan bahwa penurunan kadar TSS dapat dicapai dengan kombinasi metode flokulasi dan filtrasi yang baik.

Tabel 2. Perbandingan Kualitas Air Limbah Tambang Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Parameter	Sebelum Pengolahan	Sesudah Pengolahan	Baku Mutu (PP No. 22 Tahun 2021)
pH	3.8	6.5	6 - 9
TSS (Total Suspended Solids)	400 mg/L	180 mg/L	200 mg/L
Fe (Besi)	12 mg/L	4.5 mg/L	7 mg/L
Mn (Mangan)	5.2 mg/L	2 mg/L	4 mg/L
COD (Chemical Oxygen Demand)	120 mg/L	50 mg/L	100 mg/L
BOD (Biological Oxygen Demand)	30 mg/L	15 mg/L	50 mg/L

Namun, tidak semua parameter menunjukkan penurunan yang signifikan dalam setiap metode pengolahan. Beberapa logam berat seperti Hg dan Pb, yang bersifat persisten dan sulit terurai, memerlukan proses pengolahan tambahan yang lebih kompleks seperti metode adsorpsi dengan karbon aktif atau pengolahan biologis berbasis mikroorganisme. Studi oleh (12) menunjukkan bahwa kadar Pb yang tinggi dalam air limbah hanya dapat diturunkan secara efektif setelah melalui proses adsorpsi lanjutan, yang tidak umum diterapkan pada tahap awal pengolahan limbah tambang.

Secara umum, perbandingan kualitas air sebelum dan sesudah pengolahan menunjukkan adanya peningkatan kualitas lingkungan yang signifikan. Pengolahan air limbah tambang tidak hanya menurunkan kadar pencemar, tetapi juga meningkatkan kemungkinan untuk memanfaatkan air hasil olahan kembali ke dalam sistem pertambangan, atau bahkan untuk kegiatan reklamasi dan revegetasi lahan pasca tambang. Oleh karena itu, evaluasi berkala terhadap efektivitas pengolahan menjadi aspek penting dalam memastikan keberlanjutan dan keberhasilan upaya pengelolaan lingkungan tambang secara keseluruhan.

Efektivitas Metode Fisik, Kimia, dan Biologis dalam Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah tambang memerlukan berbagai metode yang efektif untuk mengurangi kontaminasi dan memulihkan kualitas air agar sesuai dengan standar lingkungan. Beberapa metode yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah tambang meliputi metode fisik, kimia, dan biologis. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan keterbatasannya tergantung pada karakteristik limbah yang dihasilkan dan tujuan pengolahan.

Metode fisik dalam pengolahan air limbah tambang meliputi teknik seperti filtrasi, sedimentasi, dan flotasi. Teknik filtrasi sering digunakan untuk menghilangkan partikel tersuspensi atau padatan yang lebih besar dari air limbah. Proses sedimentasi digunakan untuk memisahkan partikel-partikel berat yang terendap di dasar wadah, sementara flotasi digunakan untuk memisahkan partikel ringan yang dapat mengapung ke permukaan air (11). Filtrasi dan sedimentasi efektif dalam mengurangi kadar TSS, yang berperan dalam meningkatkan kejernihan air limbah tambang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode filtrasi menggunakan filter pasir dapat menurunkan kadar TSS dari 400 mg/L menjadi 180 mg/L, sedangkan proses sedimentasi dapat menurunkan kadar tersebut menjadi 210 mg/L.

Metode kimia lebih banyak digunakan untuk mengurangi kadar logam berat dan mengatur pH air limbah. Salah satu teknik yang paling umum adalah menggunakan bahan kimia seperti kapur untuk netralisasi pH, serta agen pengendap (flocculants) untuk mengikat logam berat agar bisa diendapkan. Penggunaan kapur untuk menetralkan pH sangat efektif pada air limbah dengan pH rendah, seperti yang ditemukan pada air limbah tambang batubara yang cenderung bersifat asam (pH 3-4). Penurunan pH air limbah tambang menjadi lebih mendekati nilai netral ini memungkinkan pengurangan toksisitas logam berat yang terlarut dalam air (13). Selain itu, penggunaan flokulan seperti polialuminium klorida (PAC) telah terbukti efektif dalam mengendapkan logam berat seperti Fe dan Mn. penggunaan PAC dapat menurunkan kadar Fe dari 15 mg/L menjadi 4 mg/L, serta Mn dari 6 mg/L menjadi 2,5 mg/L.

Metode biologis, yang melibatkan penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi kontaminan organik atau logam berat, semakin banyak digunakan dalam pengolahan air limbah tambang. Beberapa mikroorganisme, seperti bakteri sulfat reduksi dan mikroba pengurai logam, memiliki kemampuan untuk mengubah bentuk logam berat yang berbahaya menjadi bentuk yang kurang toksik. Proses ini disebut bioremediasi dan telah terbukti efektif untuk mengurangi kadar logam berat dalam air limbah tambang, terutama di lokasi-lokasi yang memiliki kadar logam berat yang sangat tinggi. Studi oleh (14) menunjukkan bahwa penggunaan bakteri sulfat reduksi dalam pengolahan air limbah tambang dapat mengurangi

kadar logam seperti arsenik (As) dan kadmium (Cd) hingga lebih dari 50%. Selain itu, penggunaan tanaman untuk fitoremediasi juga dapat membantu dalam menurunkan kadar logam berat pada air limbah tambang (15).

Berdasarkan penelitian oleh (16), kombinasi metode fisik, kimia, dan biologis menunjukkan hasil yang lebih optimal dalam pengolahan air limbah tambang. Misalnya, pengolahan awal dengan filtrasi dan sedimentasi untuk mengurangi TSS diikuti dengan netralisasi pH menggunakan kapur, dan kemudian diselesaikan dengan proses bioremediasi, dapat mengurangi kadar logam berat serta memperbaiki kualitas fisik air secara lebih menyeluruh. Kombinasi ini memungkinkan tercapainya kualitas air yang lebih baik dengan biaya operasional yang lebih efisien jika dibandingkan dengan penggunaan metode tunggal.

Masing-masing metode pengolahan air limbah tambang memiliki keunggulan dan keterbatasannya. Metode fisik seperti filtrasi dan sedimentasi efektif untuk mengurangi TSS dan memperbaiki kejernihan air, namun tidak cukup efektif untuk menghilangkan logam berat. Sementara itu, metode kimia efektif dalam menurunkan kadar logam berat dan menstabilkan pH, namun penggunaannya dapat menambah biaya dan memerlukan pengelolaan yang hati-hati terkait bahan kimia yang digunakan. Metode biologis menawarkan solusi ramah lingkungan, namun pengolahan biologis memerlukan waktu yang lebih lama dan hanya efektif untuk jenis kontaminan tertentu. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada kondisi spesifik air limbah dan tujuan pengolahan.

Secara keseluruhan, keberhasilan pengolahan air limbah tambang sangat dipengaruhi oleh pemilihan metode yang sesuai dengan karakteristik limbah yang dihasilkan. Kombinasi metode fisik, kimia, dan biologis memberikan potensi yang lebih besar dalam menurunkan kadar kontaminan secara signifikan dan dapat membantu dalam mendukung kegiatan reklamasi dan pemulihan lingkungan tambang.

Dampak Pengolahan Air Limbah terhadap Upaya Reklamasi Lingkungan

Pengolahan air limbah tambang tidak hanya berperan penting dalam meningkatkan kualitas air yang dibuang ke lingkungan, tetapi juga memiliki dampak signifikan terhadap upaya reklamasi lingkungan pasca tambang. Aktivitas pertambangan sering kali meninggalkan jejak ekologis yang serius, seperti kontaminasi air, erosi tanah, dan kehilangan biodiversitas. Oleh karena itu, pengolahan air limbah yang efektif menjadi salah satu langkah penting dalam mendukung upaya reklamasi untuk memulihkan kondisi lahan yang terdegradasi akibat kegiatan pertambangan.

Air limbah yang berasal dari kegiatan pertambangan, terutama pertambangan terbuka, sering kali mengandung bahan kimia berbahaya, termasuk logam berat dan senyawa asam yang dapat merusak ekosistem sekitarnya. Oleh karena itu, pengolahan air limbah sangat penting untuk mengurangi dampak negatif tersebut. Hasil pengolahan yang berhasil dapat menyediakan sumber daya air yang lebih aman bagi kegiatan reklamasi lahan, seperti penyiraman tanaman dan proses revegetasi. Menurut penelitian oleh Sari & Kurniawan (2020), setelah pengolahan, kualitas air limbah yang digunakan dalam reklamasi menunjukkan perbaikan yang signifikan pada parameter seperti pH, TSS, dan kadar logam berat. Penggunaan air olahan dengan kualitas yang lebih baik dapat mempercepat proses pemulihan vegetasi dan meningkatkan peluang keberhasilan reklamasi (17).

Air limbah yang mengandung logam berat seperti arsenik, kadmium, dan merkuri dapat menyebabkan keracunan pada organisme akuatik dan tanaman yang tumbuh di sekitar area tambang. Oleh karena itu, pengolahan air limbah tidak hanya bertujuan untuk memulihkan kualitas air tetapi juga untuk mengurangi toksisitas yang dapat membahayakan kehidupan. Penelitian oleh (18) menunjukkan bahwa pengolahan air limbah tambang menggunakan metode kimia dan biologis dapat menurunkan kadar logam berat hingga mencapai standar baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh pemerintah. Dengan kualitas air yang lebih baik, organisme akuatik dan tanaman yang digunakan dalam reklamasi tidak hanya memiliki peluang hidup yang lebih tinggi, tetapi juga dapat berkembang dengan optimal, sehingga mempercepat pemulihan ekosistem.

Kegiatan reklamasi lahan pascatambang bertujuan untuk memulihkan tanah yang terdegradasi dan mengembalikan fungsi ekologisnya, baik untuk tujuan konservasi maupun untuk penggunaan lahan lainnya. Dalam hal ini, pengolahan air limbah tambang berperan penting dalam memastikan kelangsungan jangka panjang keberhasilan reklamasi. Dengan menyediakan air yang berkualitas untuk pemulihan tanah dan vegetasi, pengolahan air limbah mendukung keberlanjutan upaya reklamasi dalam jangka panjang. Menurut penelitian oleh (19) pengolahan air limbah yang efisien tidak hanya memperbaiki kualitas air tetapi juga memperkuat ekosistem yang baru, sehingga mengurangi risiko erosi tanah dan menjaga kesuburan tanah untuk pertumbuhan tanaman.

Secara keseluruhan, pengolahan air limbah tambang memberikan kontribusi penting terhadap upaya reklamasi lingkungan dengan memastikan bahwa air yang digunakan dalam kegiatan reklamasi tidak mencemari ekosistem sekitar. Upaya ini juga memperkecil potensi terjadinya kontaminasi air tanah yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan flora fauna

sekitar. Selain itu, kualitas air yang terjaga akan mendukung keberlanjutan ekosistem dan membantu dalam mengurangi dampak buruk dari pertambangan terhadap lingkungan.

Keberhasilan pengolahan air limbah juga berperan dalam meningkatkan citra industri pertambangan di mata masyarakat. Dengan adanya teknologi pengolahan yang baik, perusahaan tambang dapat menunjukkan komitmennya terhadap perlindungan lingkungan dan kontribusinya dalam pemulihan lahan pasca tambang. Hal ini akan memperkuat keberlanjutan industri pertambangan dalam jangka panjang, sesuai dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan yang saat ini semakin ditekankan di banyak negara.

Tabel 3. Perbandingan Kualitas Air Limbah Sebelum dan Sesudah Pengolahan untuk Reklamasi

Parameter	Sebelum Pengolahan	Sesudah Pengolahan	Baku Mutu Reklamasi
Ph	3.8	6.5	6 – 7
TSS (Total Suspended Solids)	400 mg/L	180 mg/L	200 mg/L
Fe (Besi)	12 mg/L	4.5 mg/L	7 mg/L
Mn (Mangan)	5.2 mg/L	2 mg/L	4 mg/L
COD (Chemical Oxygen Demand)	120 mg/L	50 mg/L	100 mg/L
BOD (Biological Oxygen Demand)	30 mg/L	15 mg/L	50 mg/L

Pengolahan air limbah tambang memiliki dampak yang sangat positif terhadap upaya reklamasi lingkungan. Penggunaan teknologi pengolahan yang tepat tidak hanya meningkatkan kualitas air, tetapi juga memberikan manfaat besar dalam pemulihan ekosistem dan keberlanjutan pembangunan. Oleh karena itu, penting bagi industri pertambangan untuk terus mengembangkan dan mengimplementasikan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Implikasi Lingkungan dan Rekomendasi Pengelolaan Berkelanjutan

Pengelolaan air limbah tambang yang efektif memiliki implikasi besar terhadap keberlanjutan lingkungan. Air limbah tambang yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan kerusakan ekologis yang serius, seperti pencemaran air tanah, penurunan kualitas habitat, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami dampak lingkungan yang timbul akibat kegiatan pertambangan dan pengolahan air limbah, serta menerapkan rekomendasi pengelolaan yang berbasis pada prinsip keberlanjutan.

Salah satu dampak terbesar dari air limbah tambang adalah pencemaran air tanah. Logam berat dan zat-zat kimia lainnya yang terkandung dalam air limbah dapat meresap ke dalam tanah, mencemari sumber daya air yang digunakan oleh manusia dan ekosistem. Jika air limbah tidak diolah dengan baik, kandungan logam berat seperti arsenik, merkuri, dan kadmium dapat terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik dan menyebabkan keracunan. Menurut penelitian oleh (20), kontaminasi air tanah oleh logam berat dapat menyebabkan degradasi kualitas air tanah yang digunakan untuk keperluan pertanian dan konsumsi. Oleh karena itu, pengolahan air limbah harus dilakukan dengan tepat untuk menghindari kerusakan jangka panjang pada ekosistem dan sumber daya alam.

Pengelolaan air limbah tambang yang berkelanjutan tidak hanya berfokus pada proses pengolahan, tetapi juga pada upaya meminimalkan dampak lingkungan. Tiga strategi utama dapat diterapkan. Pertama, pemilihan metode pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah, baik fisik, kimia, maupun biologis, sangat penting untuk mencapai hasil optimal. Kombinasi metode kimia dan biologis, misalnya, terbukti efektif menurunkan kadar logam berat hingga memenuhi baku mutu lingkungan (21). Kedua, penerapan prinsip daur ulang, di mana air limbah yang telah diolah dapat digunakan kembali dalam operasi pertambangan atau reklamasi lahan, sehingga mengurangi ketergantungan pada air bersih. Ketiga, pembangunan infrastruktur pengolahan berbasis ekodesain, yaitu sistem yang hemat energi, ramah lingkungan, dan meminimalkan limbah, guna memastikan keberlanjutan jangka Panjang.

Dalam mencapai pengelolaan air limbah yang berkelanjutan, peran pemerintah dan perusahaan tambang sangat penting. Pemerintah perlu menetapkan regulasi yang ketat mengenai pengelolaan air limbah, serta menyediakan insentif bagi perusahaan yang menerapkan teknologi ramah lingkungan. Di sisi lain, perusahaan tambang harus berkomitmen untuk mengimplementasikan teknologi pengolahan yang lebih efisien dan bertanggung jawab terhadap dampak lingkungannya.

Peningkatan kesadaran masyarakat dan keterlibatan stakeholder juga berperan besar dalam pengelolaan air limbah yang berkelanjutan. Masyarakat yang memahami dampak buruk dari pengolahan air limbah yang tidak tepat akan lebih mendukung kebijakan pemerintah dan perusahaan tambang yang mengutamakan keberlanjutan lingkungan. Selain itu, keterlibatan pihak-pihak terkait seperti Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) lingkungan, akademisi, dan masyarakat lokal dalam proses perencanaan dan evaluasi reklamasi tambang akan menghasilkan solusi yang lebih efektif dan tepat sasaran. Sebagai contoh, penelitian oleh (22) menunjukkan bahwa keterlibatan masyarakat dalam kegiatan reklamasi dapat mempercepat

pemulihan ekosistem dan mengurangi potensi konflik sosial yang mungkin terjadi akibat dampak lingkungan dari pertambangan.

Pemantauan kualitas air limbah dan ekosistem yang terlibat dalam reklamasi harus dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa standar kualitas air tetap terjaga. Pemantauan yang berkelanjutan memungkinkan deteksi dini terhadap potensi pencemaran dan memungkinkan perusahaan tambang untuk mengambil tindakan korektif dengan cepat. Evaluasi berkala juga penting untuk menilai efektivitas teknologi pengolahan yang digunakan dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem yang lebih berkelanjutan.

Tabel 4. Rekomendasi Pengelolaan Berkelanjutan dalam Pengolahan Air Limbah Tambang

Rekomendasi	Tujuan	Keterangan
Pemilihan Metode Pengolahan yang Tepat	Mengoptimalkan pengolahan air limbah	Pilih teknologi yang sesuai dengan jenis limbah tambang.
Recycling dan Penggunaan Kembali Air Limbah	Mengurangi penggunaan air bersih	Teknologi filtrasi untuk mendaur ulang air limbah.
Penerapan Prinsip Ekodesain dalam Infrastruktur	Membangun infrastruktur yang ramah lingkungan	Pengolahan yang efisien dalam penggunaan energi dan minimalkan limbah.
Peran Pemerintah dan Perusahaan	Memastikan regulasi yang ketat dan teknologi ramah lingkungan	Insentif dan regulasi untuk perusahaan tambang.
Peningkatan Kesadaran Masyarakat	Melibatkan masyarakat dan stakeholder	Masyarakat berperan dalam mendukung kebijakan lingkungan yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pengelolaan air limbah tambang yang efektif tidak hanya membantu meningkatkan kualitas air dan mendukung reklamasi lahan, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan untuk generasi mendatang. Dengan pendekatan yang berkelanjutan dan teknologi yang tepat, kita dapat mengurangi dampak negatif dari kegiatan pertambangan dan menjaga keberlanjutan ekosistem yang ada.

Kesimpulan

Pengelolaan air limbah tambang yang efektif merupakan kunci keberhasilan reklamasi lahan pascatambang dan keberlanjutan lingkungan. Berbagai metode pengolahan—fisik, kimia, maupun biologis—terbukti mampu menurunkan kandungan logam berat dan meningkatkan kualitas air sehingga mendukung pemulihan tanah, keberhasilan vegetasi, dan kelestarian ekosistem. Keberhasilan ini membutuhkan kolaborasi antara perusahaan tambang,

pemerintah, dan masyarakat melalui penerapan teknologi ramah lingkungan, pemanfaatan kembali air olahan, serta penerapan prinsip ekodesain. Dengan demikian, pengolahan air limbah yang tepat tidak hanya mengurangi pencemaran, tetapi juga mempercepat pemulihan ekosistem dan fungsi ekologis lahan terdegradasi.

Daftar Pustaka

1. Sillanpää M, Ncibi MC, Matilainen A. Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management* [Internet]. 2018 Feb [cited 2025 Sep 9];208:56–76. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717311714>
2. Gavrilas S, Burescu FL, Chereji BD, Munteanu FD. The Impact of Anthropogenic Activities on the Catchment's Water Quality Parameters. *Water* [Internet]. 2025 Jun 15 [cited 2025 Sep 11];17(12):1791. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/12/1791>
3. Amelia FR, Effendi H, Kurniawan B, Andrianto C, Ahmady T. Analisis kualitas air dan limbah pertambangan nikel di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara. *JPLB* [Internet]. 2025 Apr 29 [cited 2025 Sep 11];1–14. Available from: <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb/article/view/491>
4. Wibowo YG, Wijaya C, Yudhoyono A, Sudiby, Yuliansyah AT, Safitri H, et al. Highly Efficient Modified Constructed Wetlands Using Waste Materials for Natural Acid Mine Drainage Treatment. *Sustainability* [Internet]. 2023 Oct 13 [cited 2025 Sep 11];15(20):14869. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/20/14869>
5. Wibowo YG, Safitri H, Malik IBI, Sudiby, Priyanto S. Alternative Low-Cost Treatment for Real Acid Mine Drainage: Performance, Bioaccumulation, Translocation, Economic, Post-Harvest, and Bibliometric Analyses. *Sustainability* [Internet]. 2022 Nov 19 [cited 2025 Sep 11];14(22):15404. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/15404>
6. Kock D, Schippers A. Quantitative Microbial Community Analysis of Three Different Sulfidic Mine Tailing Dumps Generating Acid Mine Drainage. *Appl Environ Microbiol* [Internet]. 2008 Aug 15 [cited 2025 Sep 11];74(16):5211–9. Available from: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.00649-08>
7. Saria L, Shimaoka T, Miyawaki K. Leaching of heavy metals in acid mine drainage. *Waste Manag Res* [Internet]. 2006 Apr [cited 2025 Sep 11];24(2):134–40. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X06063052>
8. Suryani MY, Paramita A, Susilo H, Maharsih IK. Analisis Penentuan Kadar Besi (Fe) dalam Air Limbah Tambang Batu Bara Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *IJL* [Internet]. 2022 Apr 29 [cited 2025 Sep 11];7. Available from: <https://jurnal.ugm.ac.id/ijl/article/view/72451>
9. Titisariwati I, Oetomo H, Aditya MT, Sulistyana W. Analysis of Water Plant Utilization using Organic Substrate Combinations to Manage COD BOD Turbidity in Pit Lake. 1.

10. Rahmi H, Nelvi A, Situmorang B. PENGARUH FLY ASH DAN KAPUR TOHOR TERHADAP KUALITAS AIR ASAM TAMBANG (pH dan TSS) DI PT. BARA PRIMA PRATAMA. 2023;2.
11. Azhari PS, Rande SA, Arie Adnyano AAI. Study Of Total Suspended Solid (TSS) Reduction In Coal Mine Water Management In Block III Of PT. Antang Gunung Meratus, South Tapin District, Tapin Regency, South Kalimantan Province. JASMET [Internet]. 2023 Sep 30 [cited 2025 Sep 11];4(2):86–93. Available from: <http://ejurnal.itats.ac.id/jasmet/article/view/4834>
12. Sumaila A, Aliyu AOC, Usman AO. Adsorption Isotherm, Kinetic, and Thermodynamic Studies for the Removal of Pb (II) and Zn (II) Ions from Mining Wastewater using Chitosan (CH) and Chitosan-Copper Oxide Nanocomposites (CMP). Moroccan Journal of Chemistry [Internet]. 2024 Feb 17 [cited 2025 Sep 11];12(2):696–713. Available from: <https://revues.imist.ma/index.php/morjchem/article/view/46539>
13. Utami UBL, Susanto H, Cahyono B. Neutralization Acid Mine Drainage (AMD) using NaOH at PT. Jorong Barutama Grestone, Tanah Laut, South Borneo. Ind J Chem Anal [Internet]. 2020 Mar 15 [cited 2025 Sep 11];3(1):17–21. Available from: <https://journal.uui.ac.id/IJCA/article/view/14623>
14. Zhang ML, Wang HX. Removal of Cadmium, Iron and Sulfate from Synthetic Acid Rock Drainage Using Metal- Tolerant Sulfate Reducing Bacterial Sludge. In: Haeri H, editor. Materials in Environmental Engineering [Internet]. De Gruyter; 2017 [cited 2025 Sep 11]. p. 1235–44. Available from: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/9783110516623-121/html>
15. Nasihah M, Tri A, Universitas Brawijaya, Siswanto D, Universitas Brawijaya, Retnaningdyah C, et al. THE EFFECTIVENESS OF BATCH CULTURE PHYTOREMEDIATION SYSTEMS USING HYDROMACROPHYTES TO INCREASE WATER QUALITY ON LEAD-POLLUTED IRRIGATION WATER. JSSM [Internet]. 2025 May 31 [cited 2025 Jul 26];20(5):989–1009. Available from: <https://jssm.umt.edu.my/wp-content/uploads/2025/07/7-JSSM-Volume-20-Number-5-May-2025-FINAL.pdf>
16. Deng D, Lin LS. Two-stage combined treatment of acid mine drainage and municipal wastewater. Water Science and Technology [Internet]. 2013 Mar 1 [cited 2025 Sep 11];67(5):1000–7. Available from: <https://iwaponline.com/wst/article/67/5/1000/14359/Two-stage-combined-treatment-of-acid-mine-drainage>
17. RoyChowdhury A, Sarkar D, Datta R. A combined chemical and phytoremediation method for reclamation of acid mine drainage–impacted soils. Environ Sci Pollut Res [Internet]. 2019 May [cited 2025 Sep 11];26(14):14414–25. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11356-019-04785-z>
18. Naswir M, Purnama Sari R. Managing an Environmentally-Friendly Coal Mining Wastewater Processing. jit [Internet]. 2020 Mar 17 [cited 2025 Sep 11];1(1):41–9. Available from: <https://ojs.umrah.ac.id/index.php/jit/article/view/2136>

19. Kerr HC, Johnson KL, Toll DG. Reusing Fe water treatment residual as a soil amendment to improve physical function and flood resilience. *SOIL* [Internet]. 2022 Apr 7 [cited 2025 Sep 11];8(1):283–95. Available from: <https://soil.copernicus.org/articles/8/283/2022/>
20. Sharafi S, Salehi F. Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and groundwater proximal to industrial sites. *Sci Rep* [Internet]. 2025 Mar 4 [cited 2025 Sep 11];15(1):7518. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-91453-7>
21. Nguyen H, Nguyen B, Duong T, Bui A, Nguyen H, Cao H, et al. Pilot-Scale Removal of Arsenic and Heavy Metals from Mining Wastewater Using Adsorption Combined with Constructed Wetland. *Minerals* [Internet]. 2019 Jun 23 [cited 2025 Sep 11];9(6):379. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-163X/9/6/379>
22. Asparita V. PERSEPSI MASYARAKAT DAN DAMPAK SOSIAL EKONOMI TERHADAP LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH SEBAGAI KAMPOENG REKLAMASI AIR JANGKANG DI DESA RIDING PANJANG KABUPATEN BANGKA. *Agribis* [Internet]. 2021 Jan 7 [cited 2025 Sep 11];14(1). Available from: <http://jurnal.umb.ac.id/index.php/agribis/article/view/1067>