

Artikel Penelitian

Evaluasi Efisiensi Kolam Pengendapan dalam Pengelolaan Air Limbah Tambang Batubara terhadap Kualitas Air Sungai Loah Wen, Kutai Kartanegara

Assessment of Settling Pond Efficiency for Coal Mine Wastewater Management and Its Influence on the Water Quality of the Loah Wen River, Kutai Kartanegara

Ratih Chandra Kusuma^{1*}, Shofa Rijalul Haq¹, Rofa Dzulfikri Bulopa²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjajaran (Lingkar Utara), Yogyakarta, 55283, Indonesia

²PT, Studio Mineral dan Batubara, Sleman.

*Penulis korespondensi

e-mail: ratihchandra.kusuma@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi sistem kolam pengendapan dalam mengelola air limbah tambang batubara serta pengaruhnya terhadap kualitas air Sungai Loah Wen yang berlokasi di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Pengambilan sampel dilakukan pada empat titik pemantauan, hulu dan hilir Sungai Loah Wen, serta *inlet* dan *outlet* kolam pengendapan selama semester pertama tahun 2025. Analisis laboratorium mencakup parameter fisika, kimia (organik dan anorganik), serta mikrobiologi, dan hasilnya dibandingkan dengan regulasi nasional (PP No. 22 Tahun 2021 untuk air sungai Kelas II dan Permen LH No. 113 Tahun 2003 untuk air limbah tambang batubara). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air sungai secara umum berada dalam kondisi baik, dengan sebagian besar parameter berada jauh di bawah ambang batas baku mutu. Terdapat sedikit peningkatan konsentrasi besi terlarut di hilir (0,3 menjadi 0,4 mg/l), namun masih dalam batas aman dan kemungkinan besar dipengaruhi oleh proses geogenik alami. Analisis air limbah menunjukkan bahwa kolam pengendapan mampu menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dari 15 menjadi 12 mg/l dengan efisiensi 20%, sekaligus mempertahankan pH yang stabil dan konsentrasi Fe serta Mn yang sangat rendah (<0,03 dan <0,02 mg/L). Temuan ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan air limbah yang diterapkan saat ini efektif dalam mengurangi beban pencemar serta mencegah penurunan kualitas badan air penerima. Secara keseluruhan, penerapan kolam pengendapan yang didukung proses sedimentasi dan koagulasi berperan penting dalam memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan serta menjaga integritas ekologi Sungai Loah Wen.

Kata kunci : Kolam pengendapan, air limbah tambang batubara, kualitas air sungai, Sungai Loah Wen

ABSTRACT

This study evaluates the efficiency of a settling pond system in managing coal mine wastewater and its influence on the surface water quality of the Loah Wen River, located in Kutai Kartanegara, East Kalimantan. Water samples were collected from four samples location, upstream and downstream of the Loah Wen River, as well as the inlet and outlet of the settling pond, during the first semester of 2025. Laboratory analysis covered physical, chemical (organic and inorganic), and microbiological parameters, which were then compared with Indonesian regulatory standards (PP No. 22/2021 for Class II river water and Permen LH No. 113/2003 for coal mine effluent). The results indicate that river water quality generally remains good, with most parameters well below regulatory limits. A slight increase in dissolved iron downstream (0.3 to 0.4 mg/l) was observed, though still within acceptable limits and likely driven by natural geogenic processes. Wastewater analysis shows that the settling pond effectively reduces Total Suspended Solids (TSS) from 15 to 12 mg/l, achieving an efficiency of 20%, while maintaining stable pH and very low concentrations of Fe and Mn (<0.03 and <0.02 mg/L, respectively). These findings demonstrate that the current wastewater management system successfully mitigates pollutant loads and prevents degradation of the receiving river. Overall, the implementation of settling ponds, supported by

Naskah masuk : 3 Desember 2025
Revisi pertama : 7 Desember 2025
Naskah diterima : 27 Januari 2026
Naskah dipublikasi online : 28 Januari 2026

sedimentation and coagulation processes, plays a crucial role in maintaining compliance with environmental standards and protecting the ecological integrity of the Loah Wen River.

Keywords: Settling pond, coal mine wastewater, river water quality, Loah Wen River

I. PENDAHULUAN

Pertambangan batubara di Indonesia memberikan kontribusi besar terhadap pembangunan ekonomi nasional, terutama di wilayah Kalimantan Timur yang menjadi salah satu pusat produksi batubara utama. Namun demikian, aktivitas pertambangan ini juga menimbulkan risiko lingkungan yang signifikan, terutama terhadap kualitas air permukaan. Berbagai studi menunjukkan bahwa kegiatan penambangan batubara menyebabkan degradasi kualitas air melalui peningkatan kandungan padatan tersuspensi atau *Total Suspended Solid* (TSS), penurunan pH akibat air asam tambang atau *acid mine drainage* (AMD), serta peningkatan konsentrasi logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) yang sering kali melampaui ambang batas aman bagi lingkungan perairan (Anggraeni et al., 2019; Abdullah & Hamdan, 2024). Air limbah tambang yang tidak dikelola dengan baik dapat memperbesar beban pencemar di badan air penerima dan menurunkan kapasitas asimilasi sungai (Sitorus et al., 2022). Oleh karena itu, penerapan sistem pengelolaan air limbah yang efektif menjadi hal yang sangat penting. Pengelolaan air limbah yang baik menjadi kunci dalam mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem akuatik, serta memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan seperti Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yang mengatur tentang baku mutu air dan kewajiban pengendalian pencemaran oleh pelaku usaha pertambangan (Octadinata et al., 2025).

Kolam sedimen atau kolam pengendapan, efektif dalam mengurangi TSS dan logam terlarut melalui proses seperti pengendapan dan koagulasi. Sistem ini memanfaatkan gravitasi untuk memungkinkan partikel mengendap, sehingga meningkatkan kualitas air. Koagulan, seperti yang berasal dari lumpur drainase tambang asam, dapat secara signifikan mengurangi TSS. Misalnya, dosis optimal koagulan lumpur AMD mengurangi TSS sebesar 95,63% di air limbah domestik (Daradjat & Moersidik, 2021). Koagulasi melibatkan penambahan zat kimia yang mengacaukan partikel koloid, memungkinkannya untuk berkumpul menjadi flok yang lebih besar yang dapat mengendap lebih mudah (Shammas, 2005).

Sungai Loah Wen yang merupakan salah satu anak Sungai Mahakam di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, menjadi salah satu badan air yang menerima limpasan dari beberapa area tambang batubara aktif di sekitarnya. Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat kekhawatiran masyarakat dan pemangku kepentingan mengenai potensi penurunan kualitas air di Sungai Loah Wen akibat aktivitas pertambangan. Penelitian menunjukkan bahwa

kualitas air di daerah pertambangan dapat bervariasi, dengan beberapa lokasi menunjukkan tingkat polusi sedang hingga berat, menekankan perlunya pengelolaan sedimen yang efektif (Asyikin et al., 2024). Namun demikian, belum banyak penelitian yang mengkaji secara langsung hubungan antara efektivitas sistem pengelolaan air limbah (khususnya sediment pond) dengan kualitas air Sungai Loah Wen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi kolam pengendapan dalam menurunkan beban pencemar dari air limbah tambang batubara, serta menilai pengaruhnya terhadap kualitas air Sungai Loah Wen di bagian hulu dan hilir area tambang. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan parameter kualitas air limbah pada titik *inlet* dan *outlet* kolam pengendapan, serta kualitas air Sungai Loah Wen di hulu dan hilir lokasi pertambangan. Penilaian kualitas air di hulu dan hilir lokasi penambangan mengungkapkan bahwa kolam pengendapan membantu mengurangi efek buruk penambangan pada ekosistem sungai, mempertahankan tingkat polutan yang dapat diterima (Wahyudin et al., 2018).

Melalui hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai sejauh mana sistem pengelolaan air limbah batubara yang bersifat konvensional, yaitu menggunakan tawas kristal dan pengadukan sederhana, mampu menjaga kualitas air sungai agar tetap berada dalam ambang batas yang ditetapkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi peningkatan strategi pengelolaan air limbah di Kalimantan Timur, serta memberikan masukan ilmiah bagi kebijakan perlindungan sumber daya air di wilayah pertambangan.

II. METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

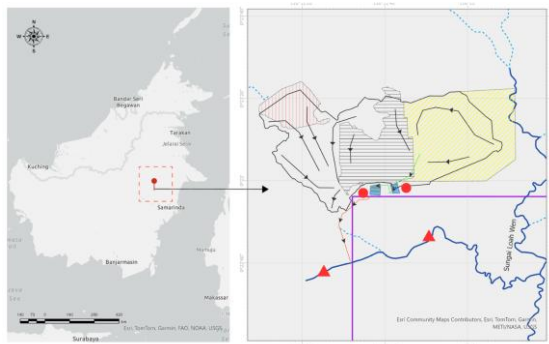
Penelitian ini dilaksanakan di area pertambangan batubara yang beroperasi di sekitar Sungai Loah Wen, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Sungai Loah Wen merupakan salah satu anak Sungai Mahakam yang menerima limpasan dari beberapa area tambang batubara aktif di wilayah tersebut.

Pengambilan sampel dilakukan pada semester 1 2025, mencakup empat titik pengamatan yang terdiri dari dua titik pada badan Sungai Loah Wen (hulu dan hilir) serta dua titik pada sistem pengelolaan air limbah (*inlet* dan *outlet* kolam pengendapan).

Desain Penelitian, Parameter dan Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi efektivitas kolam pengendapan dalam mengelola air limbah tambang

batu bara dan dampaknya terhadap kualitas air Sungai Loah Wen. Evaluasi dilakukan melalui perbandingan hasil uji kualitas air di beberapa titik, yaitu di hulu dan hilir Sungai Loah Wen untuk menggambarkan kondisi alami dan kondisi setelah melalui area pertambangan, serta pada *inlet* dan *outlet* kolam pengendapan untuk menilai kinerja pengolahan air limbah tambang. Penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pengelolaan air limbah batubara di kolam pengendapan, parameter seperti pH, TSS dan logam berat seperti besi dan mangan meningkat secara signifikan, memenuhi standar lingkungan [(Pranata et al., 2024) (Hendinie et al., 2023)]. Misalnya, sebuah penelitian melaporkan pengurangan TSS dari 910 mg/L di saluran masuk menjadi 11 mg/L di *outlet* kolam pengendapan (Hendinie et al., 2023).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Analisis parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis dalam pemantauan kualitas air tambang sangat penting untuk menilai dampak lingkungan dan memastikan kesehatan masyarakat. Parameter yang digunakan adalah berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Lampiran VI. Sedangkan parameter utama dalam penelitian limbah batubara adalah TSS, pH, besi dan Mangan. Memahami parameter ini membantu dalam mengidentifikasi tingkat kontaminasi dan menerapkan strategi pengolahan air yang efektif. TSS. Tingkat TSS yang tinggi dapat mengindikasikan sedimentasi dan polusi dari kegiatan pertambangan (Bajrović et al., 2024). Keasaman air tambang, seringkali berkisar antara 6,4 hingga 7,6, mempengaruhi kelarutan logam dan aktivitas biologis (Yasmin et al., 2022). Konsentrasi Fe terkait erat dengan tingkat pH; pH rendah dapat memperburuk kelarutan Fe, yang menyebabkan peningkatan toksisitas pada badan air (Saïdy et al., 2024). Tingkat Mn sering melampaui batas yang dapat diterima di wilayah pertambangan batubara, berkontribusi terhadap beban polusi keseluruhan dalam sistem air (Kiswanto & Wintah., 2023). Seluruh analisis laboratorium dilakukan oleh laboratorium yang telah terakreditasi, menggunakan metode pengujian berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Metode uji yang digunakan meliputi teknik gravimetri untuk TSS, titrasi dikromat untuk COD, *spektrofotometri* untuk parameter logam dan anorganik, serta metode *Most Probable Number* (MPN) untuk analisis mikrobiologi.

Hasil pengujian air permukaan dibandingkan dengan baku mutu air Kelas II sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang digunakan sebagai acuan penilaian kondisi kualitas air permukaan yang diperuntukkan bagi kegiatan perikanan, irigasi, dan rekreasi air. Hasil pengujian air limbah batubara dibandingkan dengan baku mutu air limbah batubara sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara.

Tabel 1. Parameter Limbah Batubara

Parameter	Satuan	BML	Metode
TSS	mg/l	300	SNI 6989.3-2019
pH	-	6– 9	SNI 6989.11-2019
Fe	mg/l	7	SNI 6989.84-2019
Mn	mg/l	4	SNI 6989.84-2019

Analisis Efisiensi Pengolahan dan Penilaian Kualitas Air

Efisiensi pengolahan air limbah dinilai dengan membandingkan konsentrasi berbagai parameter pada saluran masuk dan keluar sistem pengolahan, seperti kolam pengendapan. Efisiensi pengolahan dihitung berdasarkan selisih konsentrasi antara air masuk dan keluar, menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi Pengolahan (\%)} = \frac{C_{\text{Inlet}} - C_{\text{Outlet}}}{C_{\text{Inlet}}} \times 100\%$$

Dimana C_{Inlet} merupakan konsentrasi parameter pada air hasil olahan yang keluar dari kolam tersebut. Perhitungan dilakukan untuk parameter utama yaitu TSS, pH, Fe, dan Mn, yang menjadi indikator kunci keberhasilan proses pengendapan dan koagulasi-flokulasi dalam sistem kolam pengendapan serta sesuai dengan peraturan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Atau Kegiatan Pertambangan Batubara. Studi mengkonfirmasi bahwa proses sedimentasi dan koagulasi dapat secara efektif memenuhi standar peraturan untuk air limbah pertambangan batubara, seperti yang ditunjukkan oleh berbagai studi kasus yang menunjukkan kepatuhan dengan batas yang ditentukan (Hendinie et al., 2023) (Kiswanto et al., 2018).

Analisis perubahan kualitas air antara titik hulu dan hilir, serta antara saluran masuk dan saluran keluar kolam sedimen, sangat penting untuk memahami dampak lingkungan. Proses ini biasanya melibatkan metode statistik deskriptif dan komparatif, di samping representasi visual seperti grafik batang paralel. Grafik batang paralel secara efektif menggambarkan

perubahan parameter kualitas air, sehingga lebih mudah untuk mengidentifikasi tren dan kepatuhan terhadap standar (Lee et al., 2019).

Penilaian kondisi kualitas air dilakukan dengan mengacu pada baku mutu air permukaan Kelas II (PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI), yaitu dengan membandingkan parameter fisik-kimia dengan standar yang ditetapkan. Ketika semua parameter memenuhi kualitas baku, air dianggap baik; semua parameter dalam batas yang dapat diterima, mendukung kehidupan akuatik (Hamuna et al., 2018). Satu hingga dua parameter melebihi batas, menunjukkan potensi stres lingkungan (Hamuna et al., 2018). Lebih dari dua parameter secara signifikan melebihi batas, menimbulkan risiko bagi kesehatan dan ekosistem (Paun et al., 2016). Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk menilai hubungan antara efektivitas pengelolaan air limbah tambang melalui sediment pond dengan kondisi kualitas air Sungai Belayan, khususnya dalam konteks potensi pencemaran akibat aktivitas pertambangan batubara. Lahan basah dan kolam sedimen yang dibangun telah terbukti secara signifikan mengurangi logam berat dan padatan tersuspensi dalam air limbah. Misalnya, setelah perawatan, parameter seperti pH, TSS, Total Iron, dan Total Mangan berada dalam batas yang diizinkan (Abdullah & Hamdan, 2024). Pemantauan berkelanjutan dan kepatuhan terhadap peraturan pemerintah sangat penting untuk menjaga standar kualitas air (Rocha et al., 2024).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Permukaan (Sungai Loah Wen)

Pemantauan kualitas air permukaan dilakukan di dua titik yaitu Sungai Loah Wen Hulu dan Sungai Loah Wen Hilir. Pengujian sampel dilakukan oleh laboratorium yang telah terakreditasi KAN pada bulan Mei 2025 dan dibandingkan dengan baku mutu air sungai kelas II sesuai Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI. Hasil analisis laboratorium dikategorikan menjadi 4 parameter yaitu parameter fisika, kimia organik, kimia anorganik dan mikrobiologi

Parameter Fisika

Parameter fisika yang dianalisis meliputi TSS, temperatur air, TDS, dan warna. Hasil analisis disajikan pada Tabel 2. Secara umum, kondisi fisik air Sungai Loah Wen masih tergolong baik dan alami. Nilai TSS yang sedikit tinggi di hulu kemungkinan berasal dari aktivitas erosi tanah alami atau aliran permukaan saat hujan, bukan semata akibat aktivitas pertambangan. TSS di hulu sebesar 60 mg/L, sedikit melebihi baku mutu 50 mg/L, sedangkan di hilir turun menjadi 40 mg/L. Penurunan ini mengindikasikan adanya proses sedimentasi alami dan juga menunjukkan bahwa aktivitas tambang di sekitar tidak meningkatkan beban sedimen di hilir. Dalam sebuah studi dasar menunjukkan bahwa penambangan tidak

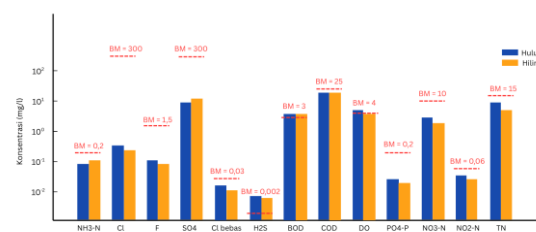
secara signifikan meningkatkan konsentrasi sedimen tersuspensi di hilir ketika teknik pemantauan yang tepat digunakan (Zapico et al., 2017). Nilai temperatur air berkisar antara 27 – 29°C, masih dalam batas deviasi 3°C terhadap suhu udara, menandakan tidak ada pengaruh termal signifikan dari air buangan tambang. Studi telah menunjukkan bahwa suhu air yang dibuang dari operasi penambangan sering selaras dengan suhu udara sekitar, biasanya dalam kisaran 3°C (Fan et al., 2009). Nilai TDS sebesar 18 mg/l (hulu) dan 12 mg/l (hilir) berada jauh di bawah baku mutu 1000 mg/l, menunjukkan tingkat mineral terlarut yang rendah (Satrianata et al., 2024). Warna air juga menurun dari 31 menjadi 21 PtCo, menandakan perbaikan kejernihan air di hilir sungai.

Tabel 2. Perbandingan Parameter Fisika Hulu dan Hilir Sungai Loah Wen

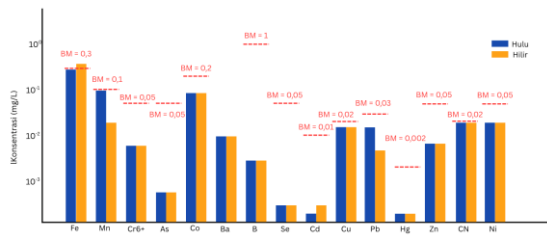
Parameter	BML PP 22/2021 Lampiran VI Kelas II	Hulu Sungai Loah Wen	Hilir Sungai Loah Wen
TSS (mg/l)	50	60	40
Temperatur udara (°C)	Deviasi 3	30	30
Temperatur Air (°C)	Deviasi 3	27	29
TDS (mg/l)	1000	18	12
Warna (PtCo)	50	31	21
Debit (m ³ /s)	-	20	23

Parameter Kimia Anorganik

Parameter kimia anorganik mencakup pH, logam terlarut (Fe, Mn), nutrien (NO_3^- , NH_3 , PO_4^{3-}), anion (Cl^- , SO_4^{2-} , F^-), serta beberapa unsur beracun seperti Cr^{6+} , As, Cd, dan CN. Gambaran perbandingan hulu-hilir ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Perbandingan Parameter Arorganik (non logam) Hulu dan Hilir Sungai Loah Wen



Gambar 3. Perbandingan Parameter Arorganik (logam) Hulu dan Hilir Sungai Loah Wen

Seluruh parameter kimia anorganik masih berada jauh di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021, menunjukkan bahwa aktivitas tambang tidak berdampak langsung pada kualitas kimia air permukaan.

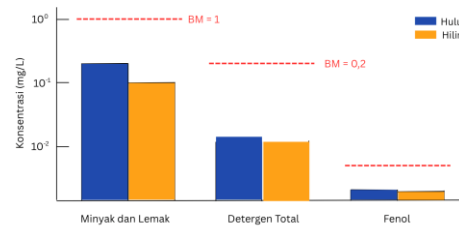
Nilai pH berkisar 6,83 – 6,89, masih dalam rentang baku mutu (6 – 9), menunjukkan kondisi netral dan stabil. pH dalam kisaran ini mendukung kehidupan akuatik yang beragam, karena banyak organisme tumbuh subur dalam kondisi netral (Singh & Singh, 2022)

Kadar besi (Fe) yang diukur dalam hulu dan hilir masing-masing 0,3 mg/l dan 0,4 mg/l menunjukkan bahwa meskipun keduanya berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan, terdapat peningkatan hilir yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Proses pelepasan mineral dari batuan dapat meningkatkan konsentrasi besi dalam air, terutama di daerah yang memiliki tanah gambut yang kaya akan mineral besi (Sandra et al., 2018). Konsentrasi Mn, Cu, Zn, Ni, dan logam berat lainnya terdeteksi pada level <0,02 mg/l, jauh di bawah ambang batas baku mutu. Nilai BOD (4 mg/l) dan COD (20 mg/l) juga masih memenuhi standar, yang menunjukkan aktivitas organik alami tanpa pencemaran signifikan. Kandungan nutrisi seperti nitrat (2–3 mg/l), fosfat (<0,025 mg/l), dan amoniak (0,08–0,1 mg/l) menunjukkan bahwa tingkat eutrofikasi rendah. Konsentrasi sianida (<0,02 mg/l) dan boron (<0,003 mg/l) masih sangat jauh di bawah baku mutu, menandakan tidak ada kontaminasi bahan kimia dari aktivitas tambang.

Parameter Kimia Organik

Kandungan kimia organik yang sangat rendah memperlihatkan minimnya aktivitas antropogenik (pemukiman atau domestik) di sekitar sungai, dan sistem kolam pengendapan tambang tidak melepaskan senyawa organik berbahaya ke badan air. Parameter kimia organik yang diukur meliputi minyak dan lemak, detergen (MBAS), dan fenol. Nilai minyak dan lemak di hulu dan hilir masing-masing 0,2 mg/l dan 0,1 mg/l, jauh di bawah baku mutu 1 mg/l. Detergen dan fenol tidak terdeteksi signifikan (<0,013 mg/l dan <0,002 mg/l). Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh

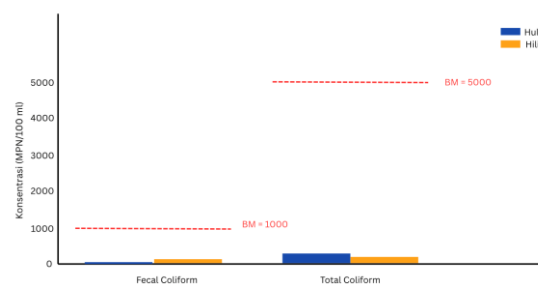
parameter kimia organik berada di bawah batas deteksi laboratorium dan jauh di bawah ambang batas



Gambar 4. Perbandingan Parameter Kimia Organik Hulu dan Hilir Sungai Loah Wen

Parameter Mikrobiologi

Parameter mikrobiologi terdiri dari Fecal Coliform dan Total Coliform. Parameter mikrobiologi dalam air menunjukkan tingkat pencemaran biologis, terutama keberadaan mikroorganisme patogen (penyebab penyakit) yang berisiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Hasil analisis laboratorium untuk parameter mikrobiologi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Parameter Mikrobiologi Hulu dan Hilir Sungai Loah Wen

Nilai Fecal Coliform sebesar 60 MPN/100 ml di hulu dan 70 MPN/100 ml di hilir, sedangkan Total Coliform tercatat 280 dan 210 MPN/100 ml. Seluruh nilai masih jauh di bawah baku mutu masing-masing 1000 dan 5000 MPN/100 ml, menunjukkan bahwa aktivitas mikrobiologis alami masih terkendali dan tidak ada pencemaran biologis signifikan.

Perbandingan kualitas air antara titik hulu dan hilir menunjukkan perubahan alami yang bersifat menurun (perbaikan) untuk sebagian besar parameter. Dari 35 parameter yang dianalisis, hanya Fe yang menunjukkan sedikit peningkatan (0,3 → 0,4 mg/l), namun masih di bawah baku mutu (0,3 mg/l) dengan selisih sangat kecil. Peningkatan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor geogenik (pelarutan batuan mineral di dasar sungai), bukan akibat aktivitas pertambangan. Peningkatan konsentrasi Fe yang diamati minimal dan masih dalam batas yang dapat diterima, menunjukkan kontribusi geologi alam daripada polusi (Linggasari et al., 2025). Konsentrasi

Fe dan Mn di sungai yang relatif konstan (masih jauh di bawah ambang batas) memperkuat temuan bahwa air limbah tambang yang sudah diolah tidak menyebabkan peningkatan logam berat pada badan air penerima.

Selain itu, parameter organik dan mikrobiologi seperti BOD, COD, minyak, detergen, dan coliform menunjukkan nilai rendah, menandakan minimnya beban limbah antropogenik atau domestik di sekitar lokasi penelitian.

Dengan demikian, aktivitas tambang di wilayah ini belum menunjukkan dampak negatif yang signifikan terhadap kualitas air sungai. Dinamika aliran sungai berkontribusi pada pengenceran polutan, meningkatkan kualitas air secara keseluruhan (Sahabuddin et al., 2014). Hasil ini menunjukkan keberhasilan implementasi *good mining practice*, khususnya dalam pengendalian kualitas air buangan tambang.

Kualitas Air Limbah Batubara

Tabel di bawah ini menunjukkan perbandingan hasil pengukuran kualitas air limbah di titik *inlet* dan *outlet* terhadap baku mutu dibandingkan dengan baku mutu sesuai Permen LH No. 113/2003.

Tabel 3. Perbandingan Air Limbah Batubara di *Inlet* dan *Outlet* Kolam Pengendapan

Parameter	BML	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
TSS (mg/l)	300	15	12
pH	6,0 – 9,0	6,01	6,02
Fe (mg/l)	7	<0,03	<0,03
Mn (mg/l)	4	<0,02	<0,02

Nilai TSS di *inlet* sebesar 15 mg/l dan di *outlet* 12 mg/l, jauh di bawah baku mutu 300 mg/l. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses pengendapan partikel di kolam pengendapan berlangsung efektif, dengan efisiensi penurunan sekitar 20%. Kolam pengendapan secara signifikan menurunkan TSS. Misalnya, sebuah penelitian melaporkan pengurangan TSS dari 712 mg/l di saluran masuk menjadi 55 mg/l di *outlet*, menunjukkan efisiensi tinggi dalam penghilangan polutan (Tresnawati et al., 2024). Nilai TSS yang sangat rendah juga menandakan bahwa material sedimen yang terbawa aliran air tambang sudah terkendali dengan baik.

Nilai pH air limbah di *inlet* sebesar 6,01 dan di *outlet* 6,02, masih dalam kisaran baku mutu (6,0–9,0). pH yang stabil ini menunjukkan tidak terjadi reaksi asidifikasi akibat oksidasi mineral sulfida, sehingga tidak terbentuk air asam tambang. Kadar Fe terdeteksi <0,03 mg/l, baik di *inlet* maupun *outlet*, jauh di bawah ambang batas 7 mg/l, sedangkan nilai Mn <0,02 mg/l,

jauh di bawah baku mutu 4 mg/l. Ini menunjukkan tidak adanya pelindian logam dari batuan tambang ke air permukaan.

Analisa Efisiensi Sistem Pengendapan

Berdasarkan hasil laboratorium diketahui kualitas air limbah tambang batubara menunjukkan nilai yang sangat baik dengan seluruh parameter jauh di bawah baku mutu. Dari empat parameter utama yang diuji (TSS, pH, Fe, dan Mn), dapat dihitung efisiensi pengendapan untuk parameter yang bersifat kuantitatif, terutama TSS.

$$\text{Efisiensi Pengolahan (\%)} = \frac{C_{\text{Inlet}} - C_{\text{Outlet}}}{C_{\text{Inlet}}} \times 100\%$$

Dengan $C_{\text{Inlet}} = 15 \text{ mg/l}$ dan $C_{\text{Outlet}} = 12 \text{ mg/l}$, maka:

$$\text{Efisiensi Pengolahan (\%)} = \frac{15-12}{12} \times 100\% = 20\%$$

Nilai efisiensi 20% ini menunjukkan bahwa sistem kolam pengendapan berfungsi dengan baik untuk menurunkan beban padatan tersuspensi. Sistem kolam pengendapan yang digunakan berperan penting dalam menyisihkan TSS, menstabilkan pH, serta menurunkan kandungan logam terlarut seperti Fe dan Mn.

Selain itu, stabilitas pH antara 6,01–6,02 menunjukkan bahwa kolam pengendapan juga berperan menjaga keseimbangan kimia air, mencegah reaksi oksidasi sulfida yang dapat menimbulkan air asam tambang. pH yang stabil di sekitar tingkat netral (6-7) membantu mencegah pencucian logam beracun dan pembentukan kondisi asam, yang dapat membahayakan ekosistem akuatika (Susanto et al., 2025). Di kolam pengendapan, kapur (CaCO_3) dan tawas telah digunakan untuk menetralkan kondisi asam, meningkatkan pH dari serendah 3,93 menjadi di atas 7,57, sehingga mencegah pembentukan air tambang asam (Susanti et al., 2024).

Konsentrasi rendah besi ($\text{Fe} < 0,03 \text{ mg/l}$) dan mangan ($\text{Mn} < 0,02 \text{ mg/l}$) yang diamati menunjukkan proses pengendapan efektif yang membatasi pelepasan logam berat ke dalam air (Susanto et al., 2025). Sebaliknya, TSS, warna, dan nutrisi (nitrat, fosfat) justru mengalami penurunan dari hulu ke hilir, menunjukkan terjadinya proses purifikasi alami dan dispersi sedimen di sepanjang aliran sungai. Penyebaran sedimen di sepanjang aliran sungai berkontribusi pada pengurangan TSS dan konsentrasi nutrisi, karena sedimen dapat menyerap nutrisi dan memfasilitasi pengendapannya (Kreiling & Houser, 2016).

Dengan demikian, sistem pengelolaan air tambang yang diterapkan saat ini telah memenuhi prinsip konservasi lingkungan dan mencegah degradasi kualitas air permukaan

Hubungan Kualitas Air Limbah dengan Kualitas Air Sungai Loah Wen

Korelasi antara kualitas air limbah dan kualitas air permukaan sangat penting dalam memahami efektivitas pengolahan air tambang dan dampaknya terhadap stabilitas ekosistem sungai penerima. Penelitian menunjukkan bahwa tambang aktif dan tertutup secara signifikan mengubah komposisi kimia air penerima, yang dapat menyebabkan efek ekologis yang merugikan. Tambang aktif dapat meningkatkan konduktivitas listrik (EC) secara signifikan, dengan satu penelitian menunjukkan peningkatan dari 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hulu menjadi 1628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hilir karena pembuangan air limbah (Price & Wright, 2016)]. Tambang tertutup juga berkontribusi pada peningkatan konsentrasi logam berat, seperti seng dan nikel, yang dapat mencapai tingkat berbahaya bagi kehidupan akuatika (Price & Wright, 2016).

Nilai TSS air limbah di *outlet* (12 mg/l) jauh lebih rendah dibandingkan baku mutu (300 mg/l). Sementara itu, nilai TSS sungai di hilir adalah 40 mg/l, masih di bawah batas baku mutu air kelas II (50 mg/l). Hal ini menandakan bahwa air buangan tambang tidak menambah beban sedimen ke badan air, karena proses pengendapan di kolam telah efektif menahan partikel tersuspensi. Stabilitas pH di *outlet* (6,02) konsisten dengan pH air sungai di hilir (6,89). Ini mengindikasikan tidak adanya dampak asidifikasi dari air limbah ke sungai, dan proses netralisasi alami berjalan baik. Penggunaan saluran batu kapur terbuka telah secara efektif menetralkan air asam di daerah pertambangan, meningkatkan tingkat pH dan meningkatkan keanekaragaman hayati (Pyrbot et al., 2019). Analisis kandungan logam dalam air limbah dari operasi pertambangan menunjukkan bahwa limbah tersebut tidak secara signifikan meningkatkan polusi logam berat di Sungai Loah Wen. Studi menunjukkan bahwa sementara kegiatan penambangan dapat memasukkan logam berat ke badan air terdekat, konsentrasinya sering tetap sebanding dengan yang ditemukan di sungai itu sendiri, menunjukkan pengenceran yang efektif dan dampak minimal pada kualitas air. Proses alami pengenceran dan sedimentasi dalam sistem sungai dapat mengurangi dampak limbah pertambangan, seperti yang terlihat dalam penelitian di mana konsentrasi logam berat secara signifikan lebih rendah di perairan sungai hilir dibandingkan dengan lokasi pertambangan (Feng & Pan, 2023)

IV. KESIMPULAN

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa:

- Sistem kolam pengendapan yang diterapkan sangat efektif dalam menjaga kualitas air limbah tambang batubara.

- Kondisi Sungai Loah Wen tetap berada dalam kategori memenuhi baku mutu kelas II, menunjukkan tidak adanya dampak signifikan dari aktivitas pertambangan.
- Proses alami sungai berperan dalam memperkuat stabilitas kualitas air, mendukung keberhasilan sistem pengelolaan buatan.
- Pengelolaan lingkungan di area tambang telah memenuhi prinsip pencegahan pencemaran (*pollution prevention*) dan pemulihan ekosistem berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, D.D., & Hamdan, A. (2024). The Effectiveness of Constructed Wetlands in Managing Coal Mining Wastewater. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 5(12), 3151–3158. <https://doi.org/10.59141/jiss.v5i12.1528>
- Anggraeni, I., Nurrachmawati, A., Ifroh, R. H., Anwar, A., & Siswanto, S. (2019). Environmental quality on surrounding community of coal mining area in samarinda, east kalimantan, indonesia. *Public Health of Indonesia*, 5(4), 91–98. <https://doi.org/10.36685/PHI.V5I4.270>
- Asyikin, N., Syakur, S., & Basri, H. (2024). Analisis Kualitas Air Sungai pada Kawasan Pertambangan Batubara Kecamatan Seunagan Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 9(1). <https://doi.org/10.17969/jimfp.v9i1.27933>
- Bajrović, H. B., Tomašević, V. P., & Raut, J. D. (2024). Analysis of the Impact of Mining Activities on Surface Water Quality – Identification of Key Parameters Through Statistical and Chemical Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/188226>
- Daradjat, N. S., & Moersidik, S. S. (2021). The Utilization of Sedimentation Pond Acid Mine Drainage Sludge as Coagulant to Reduce COD and TSS Concentration in Domestic Wastewater. 721(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/721/1/012008>
- Fan, S., Feng, M., & Liu, Z. (2009). Simulation of water temperature distribution in Fenhe Reservoir. *Water Science and Engineering*, 2(2), 32–42. <https://doi.org/10.3882/J.ISSN.1674-2370.2009.02.004>
- Gupta, L. K., Pandey, M., Raj, P. A., & Shukla, A. K. (2023). Fine Sediment Intrusion and its Consequences for River Ecosystems: A Review. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 27(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000729](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000729)
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, S., Maury, H. K., & Alianto, A. (2018). Kajian kualitas air

- laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisika-kimia di perairan Distrik Depapre, Jayapura. 16(1), 35–43.
<https://doi.org/10.14710/JIL.16.1.35-43>
- Hendinie, S. U., Nurhakim, N., & Novianti, Y. S. (2023). Evaluasi pengolahan air pada settling pond: studi kasus PT Hasnur Riung Sinergi. *Jurnal Himasapta*, 8(2), 133.
<https://doi.org/10.20527/jhs.v8i2.9953>
- Kiswanto & Wintah (2023). Analysis of Iron (Fe), Manganese (Mn), and pH of Coal Mine Acidic Water in Aceh Province. *BIO Web of Conferences*.
- Kreiling, R. M., & Houser, J. N. (2016). Long-term decreases in phosphorus and suspended solids, but not nitrogen, in six upper Mississippi River tributaries, 1991–2014. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8), 454.
<https://doi.org/10.1007/S10661-016-5464-3>
- Lee, H. W., Kim, H. Y., Choi, J. H., & Park, S. S. (2019). Statistical and Visual Comparison of Water Quality Changes Caused by a Large River Restoration Project. *Environmental Engineering Science*, 36(1), 23–34.
<https://doi.org/10.1089/EES.2018.0150>
- Li, J. F., & Feng, P. (2023). Characteristics and risk assessment of water weight metal pollution in a mining area in Southern Hunan Province.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3172839/v1>
- Linggasari, S., Mawardi, A., & Rianto, D. J. (2025). Pengaruh Penambangan Pasir terhadap Kualitas Air Sungai Progo. *Deleted Journal*, 11(1), 62–68. <https://doi.org/10.31315/jtp.v11i1.14919>
- Octadinata, R., Gusmayanti, E., & Akbar, A. A. (2025). Analisis Kandungan Tembaga (Cu) Dari Limbah Cair Pencucian Bauksit Di Kecamatan Tayan Hilir Dan Meliau, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, 4(9), 8888–8895.
<https://doi.org/10.58344/locus.v4i9.4825>
- Paun, I., Cruceru, L. V., Chiriac, F. L., Niculescu, M., Vasile, G. G., & Marin, N. M. (2016). Water Quality Indices - methods for evaluating the quality of drinking water. 395–402.
<https://doi.org/10.21698/SIMI.2016.0055>
- Peiravi, R., Rahmatiyar, H., Alidadi, H., & Vahedian, M. (2014). Survey of Wastewater Stabilization Pond Potential in Meeting Environmental Standards.
- Price, P., & Wright, I. A. (2016). Water Quality Impact from the Discharge of Coal Mine Wastes to Receiving Streams: Comparison of Impacts from an Active Mine with a Closed Mine. *Water Air and Soil Pollution*, 227(5), 155.
<https://doi.org/10.1007/S11270-016-2854-7>
- Pranata, A., Sari, N. K., Tahir, T., Fahmi, A. G., Habibie, H., Choiron, D., & Triwibowo, D. (2024). Mine water management in the coal mining process. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 6(1), 1–12.
<https://doi.org/10.36441/seoi.v6i1.2285>
- Pyrbot, W., Shabong, L., & Singh, O. P. (2019). Neutralization of Acid Mine Drainage Contaminated Water and Ecorestoration of Stream in a Coal Mining Area of East Jaintia Hills, Meghalaya. *Mine Water and The Environment*, 38(3), 551–555.
<https://doi.org/10.1007/S10230-019-00601-9>
- Sahabuddin, H., Harisuseno, D., & Yuliani, E. (2014). Analisa Status Mutu Air Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Wanggu Kota Kendari. 5(1), 19–28.
<https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/download/201/195>
- Saidy, A. R., Haris, A., Ifansyah, H., Hayati, A., Mahbub, M., Septiana, M., Mulyawan, R., & Noor, I. (2024). The Stability of pH and the Concentrations of Iron and Manganese in Acid Mine Drainage Following Coal Fly Ash and Empty Fruit Bunch of Oil Palm Treatments. *Journal of Ecological Engineering*.
<https://doi.org/10.12911/22998993/183650>
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20236902008>
- Sandra, R. Y., Siswani, R., Rahma, N., & Sepryani, H. (2018). Analisis kandungan besi pada air sungai siak di pekanbaru. 1(2), 2–6.
<https://doi.org/10.52071/JSTLM.V1I2.8>
- Satrianata, L. J., Setiawan, E., Juniani, A. I. & Nugara, A. T., (2024). Implementasi Sistem Filtrasi Air Alami Terintegrasi Sensor TDS dan ESP32 Untuk Pemenuhan Baku Mutu Air Kelas. Elkolind: *Jurnal Elektronika Otomasi Industri*, 11(3), 690–699.
<https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i3.6157>
- Shammas, N. K. (2005). Coagulation and Flocculation (pp. 103–139). Humana Press.
<https://doi.org/10.1385/1-59259-820-X:103>
- Singh, R., & Singh, A. P. (2022). A Comprehensive Review of Water Quality Assessment Through Physical and Chemical Parameters. *Journal of Advances and Scholarly Research in Allied Education*, 19(4), 900–908.
<https://doi.org/10.29070/7z856p17>
- Sitorus, R.,2022). Analysis of the Contribution of TSS, pH, Fe, and Mn Parameters to the Pollution Load Capacity of Coal Mines in the Oal River, South Sumatra. *Sriwijaya Journal of Environment*, 7(3), 136–141.
<https://doi.org/10.22135/sje.2022.7.3.136-141>
- Jones, A. B., & Brook, C. D. (2011). Sample print book title. Publisher.
- Susanti, C. A. D., Tuheteru, E. J., Suliestyah, & Marwanza, I. (2024). Studi Penggunaan Kapur Tohor dan Tawas Untuk Pengolahan Air Asam Tambang di Settling Pond 8 PT Internasional Prima Coal. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 7(2), 56–61.
<https://doi.org/10.25105/imej.v7i2.20780>

- Susanto, E., Soedjono, E. S., & Titah, H. S. (2025). Enhancing acid water treatment in coal mine settling ponds using sodium hydroxide (NaOH): A case study in Murung Raya, Central Kalimantan. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(4), 1563–1569. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i4.8132>
- Wahyudin, I., Widodo, S., & Nurwaskito, A. (2018). Analisis penanganan air asam tambang batubara. 6(2), 274068. <https://doi.org/10.33536/JG.V6I2.214>
- Yasmin, F., Tamjid-Us-Sakib, Emon, S. Z., Bari, L., & Sultana, G. N. N. (2022). The physicochemical and microbiological quality assessment of Maddhapara hard rock-mine discharged water in Dinajpur, Bangladesh. *Resources, Environment and Sustainability*, 100061. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100061>
- Zapico, I., Laronne, J. B., Martín-Moreno, C., Martín-Duque, J. F., Martín-Duque, J. F., Ortega, A., & Sánchez-Castillo, L. (2017). Baseline to Evaluate off-Site Suspended Sediment-Related Mining Effects in the Alto Tajo Natural Park, Spain. *Land Degradation & Development*, 28(1), 232–242. <https://doi.org/10.1002/LDR.2605>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2010. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 5 Februari 2021. Lembar Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 32. Jakarta.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 113 Tahun. *Baku Mutu Air Limbah Batubara*. 10 Juli 2003. Jakarta.