

Analysis of the Settling Ponds Effectiveness in Reducing the Quality of Bauxite Ore Mining Wastewater

Analisis Efektivitas *Settling Pond* dalam Menurunkan Mutu Air Limbah Tambang Bijih Bauksit

¹ Rudy Mohammad Sairuddin, ² Tuhu Agung Rachmanto, ³ Akmal Dzikri Maulana

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya, Surabaya

³ Program Studi Teknik Lingkungan

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya 2, Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 682, Surabaya

Email: rudy29@gmail.com

Abstract - This study aims to evaluate the effectiveness of the Settling Pond (SP) system in reducing the pollutant load of bauxite ore mining wastewater and formulate technical recommendations for optimizing its performance. The evaluation was conducted through analysis of water quality parameters (Total Suspended Solid/TSS, pH, Fe, and Mn) and hydraulic characteristics using Reynolds (Re) and Froude (Fr) numbers. The SP system studied consisted of 10 units with four compartments involving gravity sedimentation processes and the addition of coagulant chemicals. The results of the study showed that the TSS removal efficiency reached 94%, with a decrease in concentration from 1,200 mg/L at the inlet to 120 mg/L at the outlet. Hydraulic conditions showed laminar flow ($Re < 500$) and subcritical ($Fr < 1$) which supported the optimal sedimentation process. The effluent quality met environmental quality standards according to applicable regulations. This study confirms that the SP system plays an important role as a water pollution control technology in bauxite mining activities. Optimization of residence time, coagulant dosage adjustment, and routine maintenance are recommended to continuously improve system performance.

Keywords: *Settling Pond, Detention Time, Bauxite*

Abstrak – Kajian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas sistem *Settling Pond* (SP) dalam menurunkan beban pencemar air limbah tambang bijih bauksit serta merumuskan rekomendasi teknis untuk optimalisasi kinerjanya. Evaluasi dilakukan melalui analisis parameter kualitas air (*Total Suspended Solid*/TSS, pH, Fe, dan Mn) serta karakteristik hidraulika menggunakan Bilangan Reynolds (Re) dan Froude (Fr). Sistem SP yang dikaji terdiri atas 10 unit dengan empat kompartemen yang melibatkan proses sedimentasi gravitasi dan penambahan bahan kimia koagulan. Hasil kajian menunjukkan efisiensi penyisihan TSS mencapai 94%, dengan penurunan konsentrasi dari 1.200 mg/L pada *inlet* menjadi 120 mg/L pada *outlet*. Kondisi hidraulika menunjukkan aliran laminar ($Re < 500$) dan subkritis ($Fr < 1$) yang mendukung proses sedimentasi optimal. Kualitas *effluent* memenuhi baku mutu lingkungan sesuai peraturan yang berlaku. Kajian ini menegaskan bahwa sistem SP berperan penting sebagai teknologi pengendalian pencemaran air pada kegiatan pertambangan bauksit. Optimalisasi waktu tinggal, pengaturan dosis koagulan, dan pemeliharaan rutin direkomendasikan untuk meningkatkan kinerja sistem secara berkelanjutan.

Kata kunci: *Settling Pond, Waktu Tinggal, Bauksit*

1. PENDAHULUAN

Propinsi Kalimantan Barat merupakan daerah yang memiliki sumberdaya bauksit terbesar di Indonesia mencapai 3.268.533.344 ton, dan cadangan sebesar 1.129.154.090 ton. PT. X merupakan salah satu perusahaan tambang yang memiliki area konsesi penambangan di daerah Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat [1]. Perusahaan tersebut telah melakukan kegiatan eksplorasi dengan menggunakan sumur uji dan akan segera melakukan kegiatan penambangan pada wilayah bukit D. Dari hasil

kegiatan eksplorasi, perlu dilakukannya pemodelan, geologi, dan estimasi sumber daya untuk menggambarkan keberadaan endapan baik secara bentuk, ukuran, sebaran, kualitas dan kuantitas agar nantinya memberikan tingkat kepercayaan tinggi dan dapat memberikan hasil yang optimal sebelum dilakukan kegiatan penambangan. Faktor lainnya yang perlu dikaji sebelum melakukan kegiatan penambangan yaitu perencanaan tambang yang berkaitan dengan aspek-aspek geometri penambangan. Untuk mendukung proses penambangan yang akan dilakukan, maka perlu dibuat rancangan

teknis penambangan di lokasi tersebut agar kegiatan penambangan yang dilakukan menjadi lebih terarah dan terencana, serta dapat mencapai target produksi sesuai kuantitas dan kualitas yang telah ditentukan.

Bauksit adalah suatu jenis batuan material tambang yang memiliki komposisi alumina tinggi dan rendah komposisi besinya. Ada tiga macam aluminium hidroksida yang terdapat dalam bauksit, yaitu gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$, bohmite $\text{AlO}(\text{OH})$, dan diaspre AlO_2H . Bauksit dikenal sebagai *ore*. Kandungan mineral dalam bauksit bisa bervariasi tergantung asal usulnya. Seiring perkembangan zaman, peningkatan industri di Indonesia mengalami peningkatan [2]. Bauksit bisa digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan berbagai produk seperti bata tahan api, bata tahan api cor (*castables*), monoliths, dan semen tahan api. Kandungan tinggi alumina dalam bauksit juga memungkinkan penggunaannya dalam pembuatan sodium aluminate, aluminium sulfat, dan aluminium klorida, yang sering digunakan dalam proses penyaringan air dan pengelolaan limbah sebagai agen penggumpal [3].

Bauksit bisa diolah menjadi alumina melalui beragam metode, salah satunya adalah menggunakan proses konsentrasi gravitasi dengan pemisahan mineral terhadap berat jenis tinggi dari mineral berat jenis rendah. Prinsip umum dari konsentrasi gravitasi adalah mengendapkan mineral yang berat jenisnya tinggi sementara mineral dengan berat jenis rendah diizinkan untuk mengalir [4]. Penting untuk menjalankan proses pengolahan ini sesuai dengan prosedur operasional yang benar agar bauksit dapat pulih secara efektif dan kadar mineral utama memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Kegiatan pengolahannya diantaranya adalah *Comminution* yang merupakan reduksi ukuran butir bijih menjadi kecil dan dilakukan dalam keadaan kering atau basah; *Sizing* merupakan pemisahan material bergantung perbedaan ukuran dan berat jenis; *Concentration*, yang melibatkan peningkatan kadar atau kepekatan, merupakan suatu proses pemisahan mineral berharga dengan tujuan untuk mencapai tingkat kandungan yang tinggi dan menguntungkan. Salah satu metodenya adalah dengan menggunakan konsentrasi gravitasi; dan *Dewatering* merupakan proses pemisahan cairan dan padatan.

Dampak utama dari limbah tambang terhadap lingkungan adalah penurunan kualitas air, baik secara fisik, kimia, maupun biologis. Peningkatan kandungan padatan tersuspensi dan logam berat dalam air dapat mengganggu

kehidupan biota perairan, mengurangi produktivitas perairan, serta menyebabkan pendangkalan sungai atau badan air penerima [5]. Logam berat yang terlarut dalam air limbah berpotensi merusak rantai makanan, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan bahkan mencemari sumber air minum masyarakat sekitar [6].

Dampak negatif ini tidak hanya terbatas pada lingkungan, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Tingginya curah hujan di wilayah operasi tambang juga dapat mempercepat limpasan air yang membawa partikel tambang ke badan air penerima sehingga memperparah sedimentasi [7]. Kondisi ini semakin memperparah sedimentasi dan pendangkalan sungai atau laut di sekitar lokasi tambang. Selain itu, limbah tambang yang masuk ke perairan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan menurunkan produktivitas perairan.

Settling Pond merupakan kolam pengendapan yang berfungsi untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi pada air limbah tambang [8]. Limbah tambang yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan dan membahayakan ekosistem perairan [9]. Efektivitas kolam pengendapan dipengaruhi oleh desain kolam dan waktu tinggal air di dalam sistem sedimentasi [10]. Oleh karena itu, desain *Settling Pond* harus mengikuti standar teknis yang berlaku sesuai SNI 6774:2008 [11], serta memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan pemerintah [12].

Pengelolaan air limbah tambang menjadi aspek penting dalam operasi penambangan untuk mencegah kerusakan lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem. Pemerintah telah menetapkan regulasi ketat terkait pembuangan air limbah tambang untuk memastikan kualitas lingkungan tetap terjaga. Pemerintah Indonesia telah menetapkan regulasi ketat terkait pembuangan air limbah tambang, seperti Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Regulasi ini menekankan pentingnya pengelolaan air limbah agar memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke lingkungan penerima, termasuk laut. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 34 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Bauksit juga menjadi acuan dalam pengelolaan limbah tambang.

Perusahaan menerapkan sistem SP (*Settling Pond*) sebagai solusi utama dalam

mengelola air limbah tambang hasil dari kegiatan utama tambang. SP berfungsi sebagai kolam pengendapan dirancang untuk mengendapkan partikel padat dan logam berat dari air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi padatan tersuspensi dan logam berat dalam air limbah, sehingga kualitas air yang dibuang ke laut memenuhi standar baku mutu lingkungan. Pengelolaan air limbah tambang melalui SP tidak hanya untuk memenuhi regulasi pemerintah, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dan berkelanjutan operasi tambang [12].

Efektivitas sistem SP sangat penting untuk memastikan bahwa pengelolaan air limbah benar-benar mampu mencegah kerusakan lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem perairan sekitar lokasi tambang. Perencanaan dan evaluasi sistem pengolahan air yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk menjaga kualitas lingkungan dan mencegah terjadinya pencemaran, baik selama masa operasi penambangan maupun pascatambang. Sistem SP yang diterapkan di industri bijih bauksit terdiri dari beberapa SP yang dirancang secara khusus untuk mengendapkan padatan tersuspensi, menetralkan pH, serta mengurangi logam berat dalam air limbah.

Air limbah masuk ke SP akan mengalami proses pengendapan partikel, penurunan kecepatan aliran, dan kontak dengan bahan kimia tertentu untuk meningkatkan efisiensi pengendapan. Proses ini bertujuan memastikan air limbah yang akan dibuang ke lingkungan memiliki kualitas sesuai standar yang ditetapkan. Selain itu, perusahaan mengembangkan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPAL) untuk mengelola limbah aktivitas karyawan dan fasilitas penunjang. Dengan demikian, penerapan sistem pengolahan air limbah yang efektif dan berkelanjutan menjadi kunci utama dalam menjaga kelestarian lingkungan dan keberlanjutan operasi tambang.

Desain SP didasarkan pada faktor – faktor seperti intensitas hujan, koefisien aliran, dan ukuran daerah tangkapan air. Faktor-faktor ini mempengaruhi dimensi dalam menentukan kapasitas pengolahan air dan waktu pengendapan material. *Detention time* berfungsi menentukan durasi pengendapan material dalam SP, sehingga partikel padat dapat mengendap secara optimal. Perhitungan Bilangan Reynold dan Froude digunakan untuk menganalisis jenis aliran air dalam SP dan pengaruhnya terhadap proses pengendapan. Kriteria unit sedimentasi menjadi acuan dalam menilai efektivitas desain SP dalam mengolah air limbah tambang. Data

tersebut menjadi dasar evaluasi kinerja sistem pengolahan air limbah di industri bijih bauksit.

Meskipun *Settling Pond* telah banyak diterapkan pada kegiatan pertambangan, evaluasi kinerja yang mengintegrasikan analisis kualitas air dan karakteristik hidraulika masih terbatas. Kurangnya evaluasi komprehensif dapat menyebabkan sistem pengolahan tidak bekerja optimal dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan kajian efektivitas *Settling Pond* yang tidak hanya menilai efisiensi penyisihan pencemar, tetapi juga memberikan rekomendasi teknis untuk optimalisasi sistem secara berkelanjutan. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem *Settling Pond* dalam menurunkan beban pencemar air limbah tambang bijih bauksit berdasarkan parameter kualitas air dan karakteristik hidraulika, serta merumuskan rekomendasi teknis untuk optimalisasi kinerja sistem sebagai upaya pengendalian pencemaran lingkungan perairan di sekitar area pertambangan.

2. METODE PELAKSANAAN

Kajian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode observasi lapangan dan analisis laboratorium. Lokasi pengambilan data adalah di area *Settling Pond* (SP) IPAL Industri Bijih Bauksit, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. Sampel air limbah diambil menggunakan metode *grab sampling* pada dua titik pengamatan, yaitu: *inlet* dan *outlet* *Settling Pond*. Sampel disimpan dalam botol polietilen dan diawetkan sesuai standar prosedur analisis kualitas air.

Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi *Total Suspended Solids* (TSS), pH, dan kekeruhan. Analisis TSS dilakukan menggunakan metode gravimetri, pH diukur menggunakan pH meter, dan kekeruhan diukur menggunakan turbidimeter. Analisis dilakukan mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Data hasil pengujian dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang berlaku untuk menilai efektivitas sistem pengolahan air limbah.

Objek kajian adalah sistem SP yang terdiri atas 4 kompartemen, yaitu Kompartemen 1 (pembubuhan $Al_2(SO_4)_3$), Kompartemen 2 (pembubuhan $Al_2(SO_4)_3$), Kompartemen 3 (pembubuhan $Ca(OH)_2$), dan Kompartemen 4 (pembubuhan $Ca(OH)_2$). Obyek kajian memiliki *Settling Pond* sebanyak 10 unit. Setiap SP memiliki dimensi luas, volume, dan tinggi yang berbeda, serta debit air yang bervariasi sesuai hasil analisis curah hujan

maksimum dan perhitungan limpasan *catchment area stockpile*. Data yang dikumpulkan meliputi dimensi setiap SP, volume, debit air harian, serta parameter kualitas air seperti *Total Suspended Solid* (TSS), yang diukur pada setiap SP. Pengambilan data dimensi SP dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan dengan pencatatan parameter desain, meliputi luas, panjang, lebar, dan kedalaman setiap SP. Volume dan debit air berdasarkan pengukuran serta analisis data curah hujan maksimum diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat. Debit air yang masuk ke setiap SP dihitung dalam satuan m^3/hari .

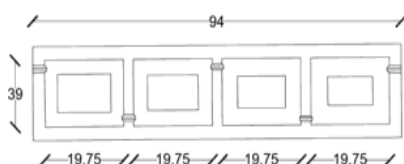
Analisis karakteristik hidraulika dilakukan dengan menghitung Bilangan Reynold (Re) dan Bilangan Froude (Fr) pada setiap SP. Perhitungan ini menggunakan data debit air, dimensi kolam, serta parameter fisik air seperti viskositas dan kedalaman. Bilangan Reynold digunakan untuk menentukan apakah aliran air bersifat laminar atau turbulen, sedangkan Bilangan Froude digunakan untuk menilai pengaruh jenis aliran terhadap proses pengendapan material.

Seluruh data yang dikumpulkan, termasuk hasil pengukuran dimensi, debit, detention time, serta perhitungan Bilangan Reynold dan Froude, digunakan sebagai dasar analisis kinerja sistem SP dalam pengelolaan air limbah tambang. Analisis laboratorium terhadap sampel air dari setiap SP dilakukan untuk menilai perubahan parameter kualitas air sepanjang proses pengolahan. Data hasil analisis ini kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu lingkungan dan kriteria desain unit sedimentasi yang berlaku, guna mengevaluasi kinerja SP dan memberikan evaluasi kinerja SP dalam pengelolaan air limbah tambang bauksit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan Dimensi Settling Pond

Desain dan dimensi yang digunakan pada *Settling Pond* harus sesuai dengan karakteristik air limbah pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 34 Tahun 2009. *Settling Pond* yang dikaji dan hasil pengukuran parameter analisis ditunjukkan pada Gambar 1, Tabel 1-3.



Gambar 1. Desain *Settling Pond* di area IPAL

Konfigurasi SP di pengolahan limbah terdiri dari empat kompartemen utama yang tersusun secara seri. Setiap kompartemen memiliki fungsi spesifik dalam proses pengolahan air limbah. Kompartemen 1 berfungsi sebagai inlet zone, tempat pertama kali air limpasan masuk dan mengalami penurunan partikel kasar secara gravitasi. Kompartemen II dilengkapi dengan sistem penambahan bahan kimia $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ untuk proses koagulasi – flokulasi membantu pengikatan dan pengendapan partikel halus. Kompartemen III berfungsi sebagai zona pengendapan lanjutan, dimana partikel sebelumnya dapat tertangkap. Kompartemen IV dilengkapi dengan penambahan CaOH untuk mengendapkan sisa logam berat serta berfungsi sebagai outlet sebelum air limbah dialirkan ke laut.

Settling Pond 1 berfungsi sebagai zona inlet, pertama kali air limbah dari limpasan hujan yang membawa partikel hasil galian tambang masuk. Air mengalami proses pengendapan gravitasi partikel kasar secara alami dan pembubuhan kapur. Proses ini bertujuan mengurangi beban padatan tersuspensi (TSS) yang besar, dengan konsentrasi TSS inlet 1.200 mg/L. Waktu tinggal (*Retention Time*) sekitar 10 menit memberikan cukup waktu bagi partikel besar mengendap sebelum lanjut ke SP berikutnya. Debit masuk mencapai 4.882,06 m^3/hari .

Settling Pond 2 dilengkapi dengan penambahan bahan kimia $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ melakukan proses koagulasi dan flokulasi. Fungsi dari SP ini adalah untuk mengikat dan mengendapkan partikel halus yang masih tersuspensi dalam air setelah melewati SP pertama. Proses ini membantu meningkatkan efisiensi pengendapan yang menghasilkan flok lebih besar dan mudah mengendap. Konsentrasi TSS di SP turun menjadi 600 mg/L. Waktu tinggal di SP 2 sekitar 9 menit, dengan debit 9.551,75 m^3/hari , memungkinkan cukup waktu untuk proses koagulasi dan flokulasi berlangsung optimal.

Settling Pond 3 sebagai zona pembubuhan tawas, dimana air yang sudah melalui proses koagulasi – Flokulasi di SP sebelumnya akan mengalami pembubuhan tawas. Partikel yang belum mengendap di SP sebelumnya akan tertangkap disini, sehingga kualitas air terus membaik. Proses ini membantu menghilangkan TSS menjadi 120 mg/L, memastikan bahwa air yang keluar dari SP semakin bersih sebelum memasuki SP terakhir. Dengan waktu tinggal sekitar 7 menit dan debit 7.747,81 m^3/hari , SP ini melanjutkan pengendapan air limbah.

Tabel 1. Data Dimensi *Settling Pond*

Lokasi		Q (m ³ /hari)	Panjang	Lebar	H (kedalaman)	Vs
Settling Pond 1	Komp. 1	4.882,06	20	39	3	0,00007
	Komp. 2	4.882,06	20	39	3	0,00007
	Komp. 3	4.882,06	20	39	3	0,00007
	Komp. 4	4.882,06	20	39	3	0,00007
Settling Pond 2	Komp. 1	11.826,75	31	41	3	0,00011
	Komp. 2	11.826,75	31	41	3	0,00011
	Komp. 3	11.826,75	31	41	3	0,00011
	Komp. 4	11.826,75	31	41	3	0,00011
Settling Pond 3	Komp. 1	9.551,75	28,00	49,00	3	0,00008
	Komp. 2	9.551,75	28,00	49,00	3	0,00008
	Komp. 3	9.551,75	28,00	49,00	3	0,00008
	Komp. 4	9.551,75	28,00	49,00	3	0,00008
Settling Pond 4	Komp. 1	11.861,37	31,00	41,00	3	0,00011
	Komp. 2	11.861,37	31,00	41,00	3	0,00011
	Komp. 3	11.861,37	31,00	41,00	3	0,00011
	Komp. 4	11.861,37	31,00	41,00	3	0,00011
Settling Pond 5	Komp. 1	19.945,33	40,00	53,00	3	0,00011
	Komp. 2	19.945,33	40,00	53,00	3	0,00011
	Komp. 3	19.945,33	40,00	53,00	3	0,00011
	Komp. 4	19.945,33	40,00	53,00	3	0,00011
Settling Pond 6	Komp. 1	7.747,81	25,00	33,00	3	0,00011
	Komp. 2	7.747,81	25,00	33,00	3	0,00011
	Komp. 3	7.747,81	25,00	33,00	3	0,00011
	Komp. 4	7.747,81	25,00	33,00	3	0,00011
Settling Pond 7	Komp. 1	5.416,49	21,00	28,00	3	0,00011
	Komp. 2	5.416,49	21,00	28,00	3	0,00011
	Komp. 3	5.416,49	21,00	28,00	3	0,00011
	Komp. 4	5.416,49	21,00	28,00	3	0,00011
Settling Pond 8	Komp. 1	13.305,10	33,00	43,00	3	0,00011
	Komp. 2	13.305,10	33,00	43,00	3	0,00011
	Komp. 3	13.305,10	33,00	43,00	3	0,00011
	Komp. 4	13.305,10	33,00	43,00	3	0,00011
Settling Pond 9	Komp. 1	10.649,95	29,00	39,00	3	0,00011
	Komp. 2	10.649,95	29,00	39,00	3	0,00011
	Komp. 3	10.649,95	29,00	39,00	3	0,00011
	Komp. 4	10.649,95	29,00	39,00	3	0,00011
Settling Pond 10	Komp. 1	9.890,83	28,00	38,00	3	0,00011
	Komp. 2	9.890,83	28,00	38,00	3	0,00011
	Komp. 3	9.890,83	28,00	38,00	3	0,00011
	Komp. 4	9.890,83	28,00	38,00	3	0,00011

Tabel 2. *Inlet Waste Water* Industri Biji Bauksit

No.	Parameter	Satuan	Kadar*	Hasil Uji	Metode
1	pH	-	6,98	4,37	SNI 6989.11:2019
2	TSS	mg/L	1.200	77	SNI 6989.3:2019
3	Fe	mg/L	22,8	0,038	SNI 6989-82:2018
4	Mn	mg/L	7,0	0,0086	SNI 6989-82:2018

Tabel 3. *Outlet Waste Water* Industri Biji Bauksit

No.	Parameter	Kadar (mg/L)
1.	TSS	120
2.	Fe	4,56
3.	Mn	1,75

Settling Pond 4 dan 5 merupakan tahap akhir untuk pengendapan lanjutan di mana air sudah memenuhi baku mutu yang ada. Di tahap akhir menyempurnakan air yang mungkin masih ada sisa partikel belum mengendap.

Perbandingan Kualitas Air Inlet dan Outfall

Pada titik *inlet Settling Pond*, air limbah yang masuk berasal dari limpasan area *stockpile*

membawa partikel hasil galian tambang biji bauksit. Berdasarkan data tercantum, konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada SP *inlet* 1.200 mg/L, dengan volume 389,51 m³, debit 4,882 m³/hari (0,056 m³/detik). Nilai ini menunjukkan beban pencemar cukup tinggi akibat aktivitas pertambangan dan curah hujan intens di area tambang. Selain TSS, parameter lain seperti pH, Fe, Mn juga diukur dalam

pemantauan kualitas air limbah yang masuk ke pengolahan. Data diatas menjadi dasar menilai efektivitas proses pengendapan dari perlakuan kimia pada tahap SP selanjutnya, serta menentukan kebutuhan penambahan bahan kimia.

Setelah melalui seluruh rangkaian proses pengolahan di SP, kualitas air limbah pada titik *outfall* yang dibuang ke laut mengalami perubahan signifikan. SP 10 merupakan segmen terakhir sebelum air limbah dialirkan ke lingkungan penerima. Konsentrasi TSS turun drastis menjadi 120 mg/L. Penurunan TSS menunjukkan bahwa sistem SP efektif dalam pengendapan partikel tersuspensi dan menurunkan beban pencemar secara bertahap. Selain itu parameter logam berat menunjukkan hasil yang telah memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Permen Lingkungan Hidup No. 34 Tahun 2009. Efisiensi pengolahan memastikan bahwa air limbah yang keluar dari SP aman untuk dibuang ke laut, serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan perairan di sekitar Industri Biji Bauksit.

Dalam proses pemantauan kualitas air limbah di SP, penekanan penggunaan titik *outfall* sebagai lokasi pengambilan sampel dan analisis laboratorium, karena pada *outlet* SP tidak tersedia hasil uji atau tidak dilakukan pengujian laboratorium secara langsung. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan adalah mengambil data kualitas air dari titik *outfall*, yaitu titik akhir sebelum air limbah dibuang ke laut, agar hasil pengujian yang diperoleh benar-benar merepresentasikan kondisi akhir air limbah yang berdampak langsung di lingkungan sekitar.

Analisis Detention Time

Analisis *detention time* pada *Settling Pond* industri biji bauksit menjadi aspek penting dalam menilai efektivitas proses pengendapan partikel tersuspensi di setiap kolam SP. *Detention time* atau waktu tinggal adalah periode yang dibutuhkan air limbah untuk berada di dalam kolam sebelum keluar menuju tahap selanjutnya.

Pada desain SP, setiap SP memiliki volume dan debit yang berbeda, sehingga *detention time* pada masing – masing SP bervariasi (Tabel 4).

Efisiensi Pengolahan dan Kualitas Effluent

Efisiensi pengolahan *Settling Pond* dapat dilihat dari penurunan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Berdasarkan data dimensi dan kualitas air, TSS pada *inlet* (SP 1) tercatat sebesar 1.200 mg/L. Setelah melalui proses pengendapan dan penambahan bahan kimia di SP berikutnya, konsentrasi TSS menurun secara signifikan menjadi 900 mg/L di SP 3, 120 mg/L di SP 6, dan akhirnya 120 mg/L pada SP 10 (*Outlet*). Penurunan menunjukkan bahwa sistem pengolahan SP sangat efektif dalam mengurangi kandungan padatan tersuspensi sebelum air limbah dialirkan ke lingkungan penerima.

Penurunan TSS terjadi pada setiap SP tidak terlepas dari peran desain dan perlakuan khusus setiap segmen. Pada SP 4, penambahan CaOH_2 untuk menetralkan pH dan endapan sisa logam berat, sehingga air limbah yang keluar dari sistem memiliki kualitas lebih baik. Proses dilanjutkan ke SP 6 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebagai koagulan dan flokulan, membantu mengikat partikel halus sehingga lebih mudah mengendap. Penurunan TSS di setiap SP berasal dari perhitungan persen removal yang telah dijustifikasi oleh ahli. Persen removal dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Removal Efficiency (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad 1)$$

Berdasarkan rumus tersebut, A adalah konsentrasi awal dan B adalah konsentrasi akhir. Penurunan ini menunjukkan sistem SP sangat efektif, dengan efisiensi *removal* TSS total mencapai 94% dari *inlet* ke *outlet*, jauh di atas rata-rata efisiensi pada banyak instalasi pengolahan air limbah. Efisiensi ini didukung oleh waktu tinggal (*detention time*) yang cukup pada setiap SP, yakni antara 6 hingga 12 menit, serta kecepatan aliran horizontal yang rendah.

Tabel 4. *Detention Time*

Segmen Kolam	Volume	Debit m ³ /jam	Detention time menit
Settling Pond 1	389,51	0,20341667	11 menit
Settling Pond 2	389,51	0,49275	7 menit
Settling Pond 3	109,29	0,39795833	10 menit
Settling Pond 4	109,29	0,49420833	7 menit
Settling Pond 5	805,64	0,83104167	7 menit
Settling Pond 6	805,64	0,32279167	7 menit
Settling Pond 7	3544,83	0,22566667	7 menit
Settling Pond 8	3544,83	0,554375	7 menit
Settling Pond 9	980,78	0,44370833	7 menit
Settling Pond 10	980,78	0,41208333	7 menit

Kondisi hidraulika kolam yang stabil dengan aliran laminar dan subkritis, juga sangat mendukung proses pengendapan partikel tersuspensi. Seluruh parameter desain telah disesuaikan dengan standar teknis SNI 6774:2008, memastikan bahwa sistem bekerja optimal dalam berbagai kondisi debit air masuk. Kualitas *effluent* yang dihasilkan dari *outlet* telah memenuhi baku mutu lingkungan yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 34 Tahun 2009 untuk kegiatan pertambangan bijih bauksit.

Selain TSS, parameter lain seperti pH, Fe, Mn, dan Cd juga dipantau secara rutin untuk memastikan tidak terjadi pelampauan ambang batas sebelum air limbah dibuang ke laut. Hasil uji laboratorium pada titik *outfall* menunjukkan bahwa konsentrasi parameter utama telah berada di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan, sehingga potensi pencemaran lingkungan dapat diminimalkan secara signifikan.

Efisiensi pengolahan SP tidak hanya tercermin dari penurunan TSS, tetapi juga dari stabilitas sistem dalam mengolah air limbah dengan volume dan kualitas yang fluktuatif akibat curah hujan. Sistem bertingkat dengan penambahan bahan kimia pada SP tertentu terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengendapan dan pengolahan air limbah tambang bauksit. Keberhasilan ini menjadi dasar bagi industri bijih bauksit untuk terus mempertahankan dan meningkatkan kinerja sistem SP, serta melakukan pemantauan berkala guna memastikan perlindungan lingkungan laut di sekitar area operasional tetap terjaga.

Evaluasi Kriteria Desain

Evaluasi desain dan operasional menunjukkan kepatuhan terhadap standar teknis nasional dan regulasi lingkungan yang berlaku. Keseluruhan sistem SP telah dinilai berdasarkan dimensi, karakteristik hidraulika, dan mekanisme pengendalian pencemaran.

a. Kepatuhan Terhadap Standar Teknis

Desain SP telah memenuhi parameter utama yang diatur dalam SNI 6774:2008 tentang Kolam Pengendapan. Standar ini menjamin efisiensi sedimentasi melalui dimensi dan hidraulika yang tepat. Untuk dimensi kolam, setiap SP memiliki kedalaman 1,5 meter (memenuhi kriteria minimal 1,5 meter). Lebar kolam berkisar antara 6,4–9,4 meter (memenuhi kriteria antara 6–10 meter). Panjang kolam antara 14,4–24,9 meter (memadai untuk memastikan waktu tinggal). Waktu tinggal tercatat antara 6–12 menit (sesuai dengan

rekomendasi teknis untuk proses sedimentasi yang optimal).

b. Kriteria Hidraulika dan Efisiensi Pengendapan

Kriteria umum SNI 6774:2008 menekankan pada desain yang mampu menahan debit puncak dan mempertahankan kecepatan aliran rendah untuk pengendapan efisien. Hasil perhitungan Bilangan Reynold (R) dan Froude (Fr) pada seluruh SP menunjukkan kondisi aliran yang ideal untuk sedimentasi. $Re < 500$ menandakan aliran laminar. $Fr < 1$ menandakan aliran subkritis. Kondisi aliran laminar dan subkritis sangat kondusif untuk pengendapan partikel tersuspensi.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja sistem *settling pond* dalam mengolah air limbah tambang bijih bauksit, sistem yang diterapkan telah menunjukkan kemampuan dalam menurunkan beban pencemar, khususnya padatan tersuspensi, sebelum air dibuang ke lingkungan. Meskipun demikian, optimalisasi desain dan pengoperasian masih diperlukan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan, terutama dalam mengantisipasi peningkatan debit limpasan akibat curah hujan tinggi. Oleh karena itu, disarankan dilakukan penyesuaian *detention time*, pemeliharaan berkala kolam pengendapan, serta pengelolaan daerah tangkapan air untuk meminimalkan masuknya sedimen berlebih ke dalam sistem. Selain itu, pemantauan kualitas air secara rutin perlu dilakukan guna memastikan air buangan tetap memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku serta mendukung keberlanjutan operasi pertambangan yang berwawasan lingkungan.

4. PENUTUP

Hasil kajian menunjukkan sistem *Settling Pond* (SP) pada IPAL Industri Bijih Bauksit terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dan meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang ke laut. Penurunan TSS yang signifikan, dari 1.200 mg/L di-*inlet* menjadi 120 mg/L di-*outlet*, menunjukkan bahwa sistem berhasil memenuhi standar baku mutu air limbah yang diatur dalam PP No.22 Tahun 2021. Selain itu, karakteristik air limbah yang diolah SP telah memenuhi ketentuan yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009.

PENGHARGAAN

Penulis menyampaikan penghargaan kepada pihak perusahaan dan instansi terkait yang telah memberikan izin kegiatan serta

dukungan data dan fasilitas. Penghargaan juga disampaikan kepada tim laboratorium dan semua pihak yang telah membantu dalam proses pengambilan sampel dan analisis data.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan kegiatan ini. Terima kasih disampaikan kepada Bapak Ir Tuhu Agung S.T., M.T. atas bimbingan dan arahan yang sangat berarti selama proses kajian. Penulis juga menghargai bantuan dari PT. Kenra Ciptaloka Konsultan dan pembimbing lapangan yaitu Akmal Dzikri Maulana, S.T yang telah menyediakan sarana pendukung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. A. Rifaldi, A. Machali, and D. Guntoro, "Rancangan teknis penambangan bijih bauksit pada wilayah Bukit D PT Kalbar Bumi Perkasa," *Jurnal Academia*, vol. 4, no. 2, 2018.
- [2]. A. N. Saputro, E. N. Sari, and F. A. R. Putri, "Analisis penyelesaian limbah tambang bauksit di Konawe Utara," *Prosiding SENASTITAN IV*, pp. 1–9, 2024.
- [3]. R. Kurniawan, M. F. Abdullah, and L. Wijaya, "Performance of settling ponds in reducing suspended solids in mining wastewater," *Journal of Environmental Management*, vol. 320, pp. 1–10, 2022.
- [4]. S. Hidayat and M. Rahman, "Sedimentation efficiency in multi-stage settling ponds for mine drainage treatment," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 28, 2023.
- [5]. Y. Liu, X. Zhang, and H. Wang, "Optimization of sedimentation basin design for wastewater treatment," *Water Research*, vol. 210, 2022.
- [6]. A. Siregar and B. Pratama, "Removal of heavy metals from landfill leachate using compost-based adsorbent," *Journal of Environmental Science*, vol. 15, no. 2, pp. 45–52, 2021.
- [7]. Badan Standardisasi Nasional, SNI 6774:2008 Kolam Pengendapan, Jakarta: BSN, 2008.
- [8]. Kementerian Lingkungan Hidup, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 34 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah, Jakarta, 2009.
- [9]. Pemerintah Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta, 2021.
- [10]. R. Gupta and P. Singh, "Mine wastewater treatment using sedimentation and filtration methods," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 195, 2023.
- [11]. T. Yamamoto et al., "Sediment control and water quality improvement in mining settling ponds," *Science of the Total Environment*, vol. 857, 2023.
- [12]. M. H. Rahman, "Sustainable management of mine tailings and wastewater," *Journal of Cleaner Production*, vol. 389, 2024.