

Evaluasi Pengolahan Air Lindi di Area Penimbunan Tailing, *Fly Ash*, *Bottom Ash* Berdasarkan Parameter pH, TSS dan Fe (Studi Kasus pada Salah Satu Industri Pengolahan Bauksit di Kalimantan Barat)

Nini Malasari^{a*}, Weli Zuandi^a, Rizky Putranto^a

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Barat, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received : 23-06-2026

Revised : 13-07-2026

Accepted : 20-07-2026

Keywords: *Bottom Ash, Fly Ash, Iron (Fe), Leachate Treatment, pH, Tailings, Total Suspended Solids (TSS)*

Kata Kunci: *Bottom Ash, Fly Ash, Fe, Pengolahan Air Lindi, pH, Tailing, TSS,*

Corresponding Author:

ninimalasary05@gmail.com*

DOI: <https://doi.org/10.62335>

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effectiveness of the leachate treatment system at a tailing, fly ash, and bottom ash disposal facility of an alumina processing company based on pH, Total Suspended Solids (TSS), and iron (Fe) parameters. A descriptive quantitative research method was employed by collecting leachate samples from the inlet and outlet for five consecutive days. The pH and TSS parameters were measured directly in the field, while Fe concentrations were analyzed in an accredited laboratory. Treatment effectiveness was assessed by comparing water quality before and after treatment in accordance with the effluent quality standards stipulated in the Indonesian Ministry of Environment Regulation No. 34 of 2009. The results showed that the leachate pH was successfully reduced from 12.6–12.7 to 7.2–8.8, meeting the applicable quality standards. TSS concentrations also decreased from 239–798 mg/L to 11–385 mg/L, with an average removal efficiency of 77.47%, and most samples complied with the regulatory standards. In contrast, Fe concentrations increased from 0.42 mg/L to 22.1–30.5 mg/L after treatment, exceeding the maximum allowable limit of 5 mg/L. This increase indicates that the treatment system was ineffective in controlling Fe concentrations, which was likely caused by the remobilization of $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitates or chemical reactions occurring during the neutralization process. Overall, the leachate treatment system was effective in reducing pH and TSS but requires improvement in Fe removal, particularly during the neutralization and polishing pond stages.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas sistem pengolahan air lindi di penimbunan tailing, *fly ash*, dan *bottom ash* pada salah satu perusahaan pengolahan alumina berdasarkan parameter pH,

Total Suspended Solids (TSS), dan besi (Fe). Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif deskriptif dengan pengambilan sampel air lindi pada inlet dan outlet selama lima hari berturut-turut. Parameter pH dan TSS dianalisis secara langsung di lapangan, sedangkan Fe diuji di laboratorium terakreditasi. Efektivitas pengolahan dievaluasi dengan membandingkan kualitas air sebelum dan sesudah pengolahan berdasarkan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH air lindi berhasil diturunkan dari 12,6–12,7 menjadi 7,2–8,8 sehingga memenuhi baku mutu. Konsentrasi TSS juga menurun dari 239–798 mg/L menjadi 11–385 mg/L dengan efektivitas rata-rata sebesar 77,47%, di mana sebagian besar hasil telah memenuhi baku mutu. Sebaliknya, kadar Fe meningkat dari 0,42 mg/L menjadi 22,1–30,5 mg/L setelah pengolahan sehingga melebihi baku mutu 5 mg/L. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa sistem pengolahan belum efektif dalam mengendalikan kadar Fe, yang diduga disebabkan oleh proses remobilisasi endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau reaksi kimia selama proses netralisasi. Secara keseluruhan, sistem pengolahan air lindi efektif dalam menurunkan pH dan TSS, namun masih memerlukan perbaikan pada proses pengolahan Fe, terutama pada tahap netralisasi dan *polishing pond*.

PENDAHULUAN

Salah satu industri pengolahan bauksit di Kalimantan Barat menggunakan proses Bayer untuk menghasilkan *Chemical Grade Alumina* (CGA), yang menghasilkan limbah padat berupa *tailing*, *fly ash*, dan *bottom ash*. Timbunan limbah tersebut berpotensi menghasilkan air lindi dengan karakteristik pH sangat basa serta mengandung *Total Suspended Solids* (TSS) dan besi (Fe). Apabila tidak dikelola secara optimal, air lindi berpotensi mencemari badan air dan air tanah di sekitar kawasan industri. Oleh karena itu, pada lokasi penelitian diterapkan sistem pengolahan air lindi yang terdiri atas kolam penampungan, kolam netralisasi, dan *polishing pond* sebelum air dibuang ke lingkungan.

Meskipun sistem pengolahan telah diterapkan, efektivitasnya terhadap parameter pH, TSS, dan Fe belum dievaluasi secara menyeluruh berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pH dan TSS telah memenuhi baku mutu setelah pengolahan, sedangkan konsentrasi Fe justru meningkat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas sistem pengolahan air lindi di area penimbunan *tailing*, *fly ash*, dan *bottom ash* pada salah satu industri pengolahan bauksit di Kalimantan Barat sebagai dasar untuk meningkatkan kinerja pengolahan dan meminimalkan potensi pencemaran lingkungan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang bersifat evaluatif untuk menilai efektivitas sistem pengolahan air lindi pada area penimbunan tailing, *fly ash*, dan *bottom ash*. Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh melalui pengambilan sampel air lindi pada titik inlet (sebelum pengolahan) dan outlet (setelah pengolahan) selama lima hari berturut-turut menggunakan metode grab sampling. Parameter pH dan *Total Suspended Solids* (TSS) diukur secara in-situ di lapangan, sedangkan kadar besi (Fe) dianalisis secara ex-situ di laboratorium terakreditasi. Pengujian pH mengacu pada SNI 06-6989.11-2004, TSS mengacu pada SNI 06-6989.3-2004, dan Fe mengacu pada SNI 06-6989.49-2005.

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengujian parameter pH, TSS, dan Fe pada titik inlet dan outlet. Sampel yang diperoleh selama lima hari berturut-turut dihitung nilai rata-ratanya (*mean*) menggunakan persamaan berikut:

Rumus rata-rata (*mean*)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = nilai pengukuran ke-i

n = jumlah total pengukuran

Selanjutnya, efektivitas pengolahan untuk parameter TSS dan Fe dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Efektivitas (\%)} = \left(\frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

C_{awal} = Konsentrasi parameter pencemar sebelum pengolahan

C_{akhir} = Konsentrasi parameter pencemar setelah pengolahan

Parameter pH tidak dihitung menggunakan persentase efektivitas karena merupakan skala logaritmik, sehingga evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai pH hasil pengolahan terhadap baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009. Efektivitas pengolahan diklasifikasikan menjadi sangat efektif ($\geq 75\%$), cukup efektif (50–74%), dan kurang efektif ($< 50\%$).

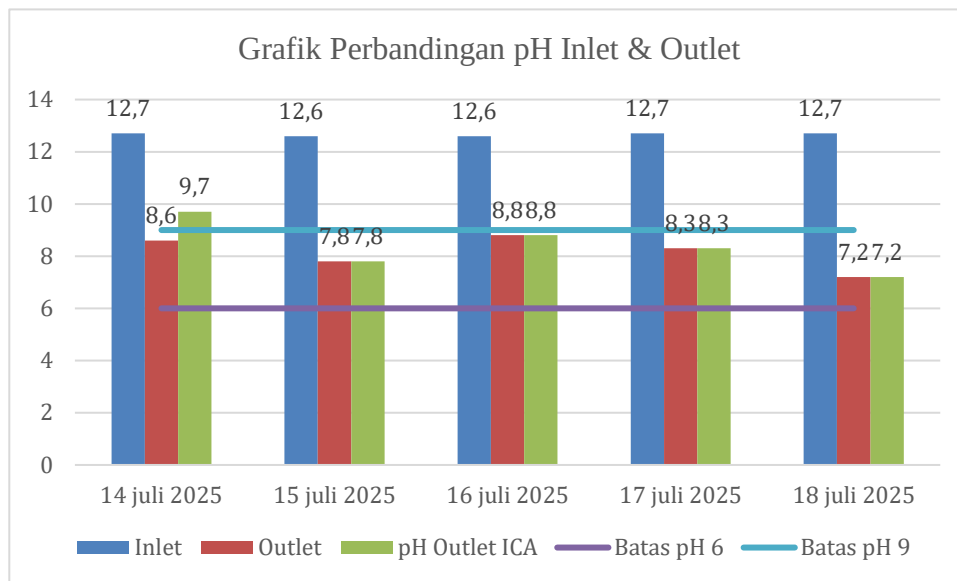
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengujian, Sistem Pengolahan Nilai pH dan Konsentrasi TSS

Hari	Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Baku Mutu (Permen LH No. 34/2009)
1	pH	-	12,7	8,6	6-9
	TSS	mg/L	794	72	200 mg/L
	Fe	mg/L	0,42	30,5	5 mg/L
2	pH	-	12,6	7,8	6-9
	TSS	mg/L	759	75	200 mg/L
	Fe	mg/L	0,42	28,7	5 mg/L
3	pH	-	12,6	8,8	6-9
	TSS	mg/L	792	231	200 mg/L
	Fe	mg/L	0,42	29,4	5 mg/L
4	pH	-	12,7	8,3	6-9
	TSS	mg/L	798	385	200 mg/L
	Fe	mg/L	0,42	25,7	5 mg/L
5	pH	-	12,7	7,2	6-9
	TSS	mg/L	293	11	200 mg/L
	Fe	mg/L	0,42	22,1	5 mg/L

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pengolahan secara umum mampu menurunkan nilai pH dan konsentrasi TSS sehingga sebagian besar memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009. Sebaliknya, konsentrasi Fe mengalami peningkatan setelah proses pengolahan dan masih melebihi baku mutu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pengolahan telah efektif dalam mengendalikan pH dan TSS, namun belum optimal dalam menurunkan kadar Fe.

Parameter pH



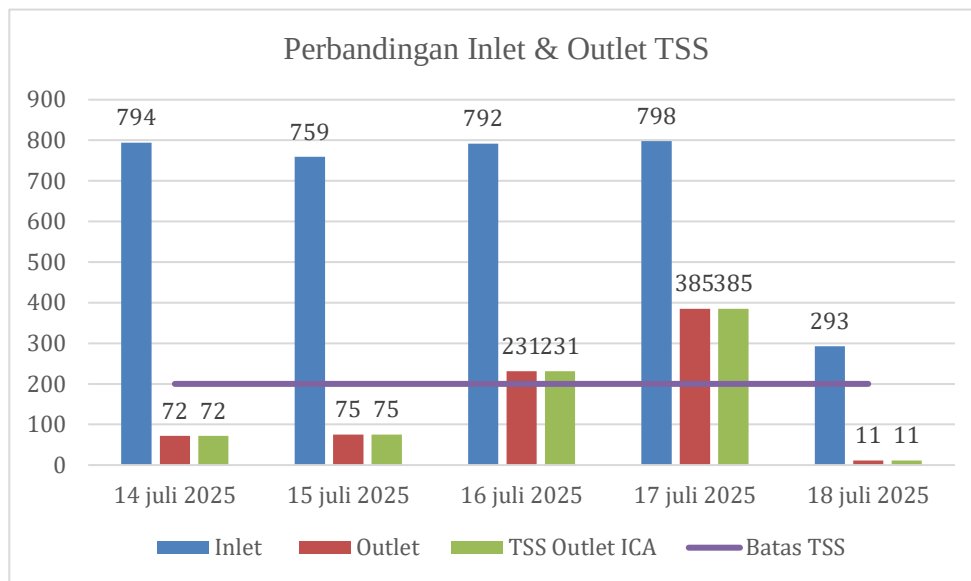
Grafik 1. Grafik Perbandingan pH Inlet & Outlet

Nilai pH air lindi pada titik inlet selama lima hari pengamatan berada pada kisaran 12,6–12,7, yang menunjukkan karakteristik air lindi yang sangat basa akibat penggunaan larutan alkali pada proses Bayer. Setelah melalui sistem pengolahan, nilai pH menurun menjadi 7,2–8,8 dan seluruh hasil telah memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 (pH 6–9). Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses netralisasi yang diterapkan mampu menurunkan alkalinitas air lindi secara efektif.

Meskipun demikian, nilai pH outlet mengalami fluktuasi pada beberapa hari pengamatan. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh kegiatan pengurusan polishing pond yang menyebabkan endapan dasar kolam teraduk kembali serta adanya variasi waktu tinggal (*retention time*) selama proses pengolahan. Pada hari terakhir pengamatan, nilai pH kembali menurun hingga 7,2, yang menunjukkan kondisi operasi sistem pengolahan lebih stabil.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengolahan air lindi telah efektif dalam mengendalikan parameter pH sehingga memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan sebelum air dialirkan ke lingkungan.

Parameter Total Suspended Solids (TSS)



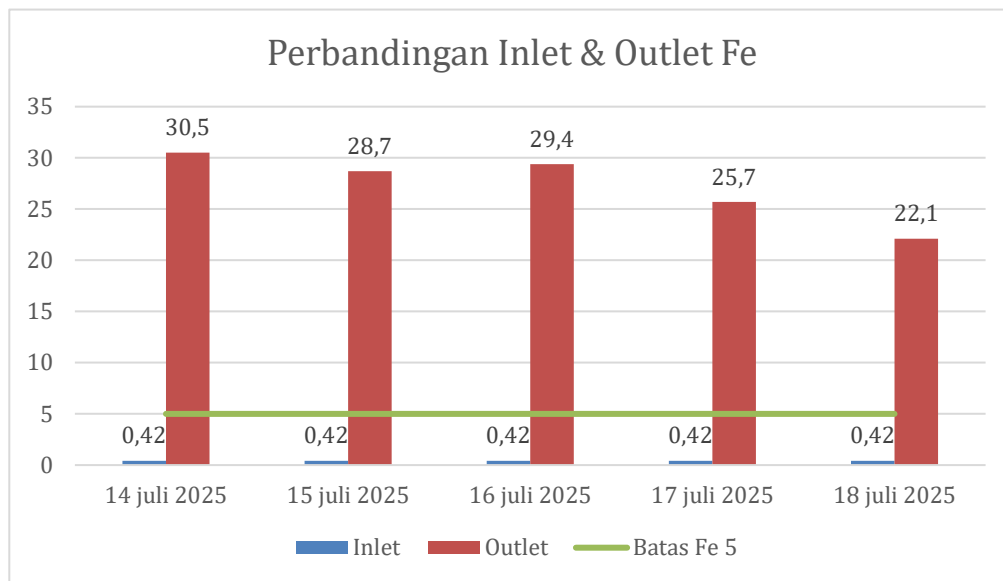
Grafik 2. Perbandingan Inlet & Outlet TSS

Konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) pada titik inlet selama lima hari pengamatan berada pada kisaran 293–798 mg/L, sedangkan pada titik outlet berkisar antara 11–385 mg/L. Secara umum, sistem pengolahan mampu menurunkan konsentrasi TSS, yang menunjukkan bahwa proses sedimentasi dan pengendapan berlangsung dengan baik. Hasil pengujian yang dilakukan peneliti juga menunjukkan konsistensi dengan hasil pengujian laboratorium internal perusahaan, sehingga data yang diperoleh dinilai representatif dan dapat diandalkan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009, baku mutu TSS adalah 200 mg/L. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi TSS pada hari pertama, kedua, dan kelima telah memenuhi baku mutu, sedangkan pada hari ketiga dan keempat meningkat menjadi 231 mg/L dan 385 mg/L, sehingga melebihi batas yang ditetapkan.

Peningkatan konsentrasi TSS pada hari ketiga dan keempat diduga dipengaruhi oleh kegiatan pengurasan polishing pond yang menyebabkan endapan lumpur mengalami resuspensi dan terbawa bersama aliran air menuju outlet. Sebaliknya, pada hari kelima, ketika tidak dilakukan pengurasan, konsentrasi TSS menurun secara signifikan hingga berada di bawah baku mutu. Hasil ini menunjukkan bahwa stabilitas operasional, khususnya pada unit polishing pond, berperan penting dalam meningkatkan efektivitas penurunan TSS pada sistem pengolahan air lindi.

Parameter Besi (Fe)



Grafik 3. Perbandingan Inlet & Outlet Fe

Konsentrasi besi (Fe) pada titik inlet selama lima hari pengamatan relatif stabil, yaitu sekitar 0,42 mg/L, dan masih berada di bawah baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 sebesar 5 mg/L. Namun, setelah melalui sistem pengolahan, konsentrasi Fe pada titik outlet meningkat menjadi 22,1–30,5 mg/L, sehingga seluruh hasil pengujian melebihi baku mutu. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan belum mampu menurunkan konsentrasi Fe secara efektif.

Peningkatan konsentrasi Fe diduga disebabkan oleh remobilisasi endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang telah terakumulasi pada unit pengolahan. Kegiatan pengurasan polishing pond serta perubahan kondisi aliran dapat menyebabkan endapan yang telah terbentuk kembali tersuspensi dan terbawa menuju outlet. Kondisi tersebut sejalan dengan peningkatan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) pada periode yang sama, yang menunjukkan adanya hubungan antara resuspensi padatan dan peningkatan kadar Fe.

Menurut Metcalf & Eddy (2014), efisiensi penyisihan besi dalam sistem pengolahan air limbah sangat dipengaruhi oleh kondisi pH, proses pembentukan flok, dan mekanisme pengendapan. Pada kondisi pH yang sesuai, besi akan membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang kemudian mengendap. Namun, apabila terjadi gangguan hidraulik, turbulensi, atau perubahan kondisi operasi, endapan tersebut dapat tersuspensi kembali sehingga meningkatkan konsentrasi Fe pada air hasil pengolahan. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, di mana peningkatan Fe pada outlet diduga dipengaruhi oleh pengurasan polishing pond dan ketidakstabilan aliran selama proses pengolahan.

Selain itu, proses netralisasi yang masih dilakukan secara manual diduga menyebabkan pH tidak selalu berada pada kondisi optimum untuk pembentukan flok $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang stabil. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi proses netralisasi,

pengelolaan lumpur secara berkala, serta pengaturan aliran pada unit pengolahan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan Fe.

Efektivitas Pengolahan Air Lindi

Efektivitas pengolahan air lindi dievaluasi berdasarkan perubahan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) dan besi (Fe) pada titik inlet dan outlet menggunakan persamaan:

$$\text{Efektivitas (\%)} = \left(\frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{awal}}} \right) \times 100\%$$

Tabel 2. Efektivitas Pengolahan Air Lindi

Hari	Parameter	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efektivitas (%)
1	TSS	794	72	90,93%
	Fe	0,42	30,5	Tidak Efektif
2	TSS	759	75	90,12%
	Fe	0,42	28,7	Tidak Efektif
3	TSS	792	231	70,80%
	Fe	0,42	29,4	Tidak Efektif
4	TSS	798	385	51,76%
	Fe	0,42	25,7	Tidak Efektif
5	TSS	239	11	96,24%
	Fe	0,42	22,1	Tidak Efektif
Rata- Rata	TSS	687,2	154,8	77,47 %
	Fe	0,42	27,28	Tidak Efektif

Efektivitas Pengolahan Berdasarkan Parameter TSS

Efektivitas penurunan *Total Suspended Solids* (TSS) selama lima hari pengamatan berkisar antara 51,76–96,24%, dengan rata-rata 77,47%. Berdasarkan klasifikasi efektivitas, nilai tersebut termasuk kategori sangat efektif, yang menunjukkan bahwa sistem pengolahan mampu menurunkan konsentrasi TSS secara optimal.

Fluktuasi efektivitas pada beberapa hari pengamatan diduga dipengaruhi oleh kegiatan pengurasan polishing pond yang menyebabkan endapan lumpur kembali

tersuspensi sehingga meningkatkan konsentrasi TSS pada outlet. Menurut Metcalf & Eddy (2014), efisiensi sedimentasi dipengaruhi oleh kondisi hidraulik dan stabilitas aliran. Oleh karena itu, pengelolaan operasional dan pemeliharaan kolam perlu dioptimalkan untuk menjaga efektivitas pengolahan TSS secara konsisten.

Efektivitas Pengolahan Berdasarkan Parameter Fe

Efektivitas pengolahan air lindi berdasarkan parameter Fe menunjukkan hasil tidak efektif pada seluruh hari pengamatan. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya konsentrasi Fe dari 0,42 mg/L pada titik inlet menjadi 22,1–30,5 mg/L pada titik outlet, sehingga seluruh hasil pengujian melebihi baku mutu 5 mg/L. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pengolahan belum mampu menurunkan konsentrasi Fe secara optimal.

Rendahnya efektivitas pengolahan diduga dipengaruhi oleh remobilisasi endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ akibat gangguan operasional, seperti pengurasan *polishing pond*, serta sistem aliran yang belum stabil. Menurut Metcalf & Eddy (2014), endapan logam hidroksida dapat kembali tersuspensi apabila terjadi gangguan hidraulik sehingga meningkatkan konsentrasi logam pada air hasil pengolahan. Selain itu, proses netralisasi yang masih dilakukan secara manual diduga menyebabkan pembentukan flok $\text{Fe}(\text{OH})_3$ belum berlangsung secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi proses netralisasi, pengelolaan lumpur secara berkala, dan pengaturan aliran untuk meningkatkan efektivitas penyisihan Fe.

SIMPULAN, KETERBATASAN DAN SARAN

Sistem pengolahan air lindi pada area penimbunan tailing, fly ash, dan bottom ash mampu menurunkan nilai pH dari 12,6–12,7 menjadi 7,2–8,8 sehingga memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009. Konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) juga menurun dari rata-rata 687,2 mg/L menjadi 154,8 mg/L dengan efektivitas rata-rata 77,47%, yang termasuk kategori sangat efektif. Sebaliknya, konsentrasi Fe meningkat dari 0,42 mg/L menjadi rata-rata 27,28 mg/L, sehingga belum memenuhi baku mutu 5 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengolahan telah efektif dalam mengendalikan pH dan TSS, namun belum efektif dalam menurunkan konsentrasi Fe. Rendahnya efektivitas penyisihan Fe diduga dipengaruhi oleh remobilisasi endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, proses netralisasi yang belum optimal, serta kondisi operasional sistem pengolahan. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi proses netralisasi, pengelolaan lumpur secara berkala, dan pengendalian aliran untuk meningkatkan kinerja sistem pengolahan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 19-6366-2000: Pengambilan Contoh Uji untuk Limbah Cair. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.11-2004: Air dan Air Limbah—Bagian 11: Cara Uji pH dengan Elektroda Kaca. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.3-2004: Air dan Air Limbah—Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) Secara Gravimetri. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.49-2005: Air dan Air Limbah—Bagian 49: Cara Uji Kadar Besi (Fe) dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara Ekstraksi. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2009). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Bauksit. Jakarta: Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.