

Analisis Pola Operasional Penggunaan FeSO_4 dalam Pengolahan Cr^{6+} pada Sistem *Sediment Pond* Pertambangan Nikel PT X

Raden Reonald Adhi Wibowo¹⁾, Tuhu Agung Rachmanto^{1)*}

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya, Surabaya

*Email: tuha.tl@upnjatim.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pola operasional penggunaan FeSO_4 dalam pengolahan Cr^{6+} pada tujuh unit *Sediment Pond* (SDP) salah satu pertambangan nikel di Indonesia pada periode Juni sampai November 2025. Data meliputi debit 8.400 sampai 64.750 m^3 /hari, dosis FeSO_4 192 sampai 1.800 kg/hari, dan konsentrasi Cr^{6+} influen-efluen. Metode deskriptif digunakan dengan analisis karakteristik operasional dan perhitungan dosis spesifik untuk identifikasi *benchmark*. Hasil menunjukkan semua SDP mencapai efisiensi *removal* konsisten 91% meskipun rentang debit 7,7 $\times$. Dosis spesifik FeSO_4 berkisar 19,71 sampai 29,64 kg/kg Cr^{6+} , Konsistensi efisiensi mengindikasikan sistem beroperasi optimal. Potensi optimasi pada SDP dengan dosis >19,71 kg/kg dapat menghemat Rp 337 Juta/tahun untuk pengeluaran oagulan, tanpa mengorbankan kinerja. Penelitian ini memberikan dokumentasi riil skala industri untuk efisiensi biaya operasional

Kata kunci: dosis spesifik, pengolahan Cr^{6+} , pertambangan nikel, pola operasional

Abstract

This study analyzes the operational patterns of FeSO_4 use in Cr^{6+} treatment at seven *Sediment Pond* (SDP) units at a nickel mine in Indonesia from Juny to November 2025. The data included discharge rates of 8,400 to 64,750 m^3 /day, FeSO_4 doses of 192 to 1,800 kg/day, and influent-effluent Cr^{6+} concentrations. Descriptive methods were used with operational characteristic analysis and specific dose calculations to identify benchmarks. The results show that all SDPs achieved a consistent removal efficiency of 91% despite a flow rate range of 7.7 $\times$. The specific FeSO_4 dosage ranged from 19.71 to 29.64 kg/kg Cr^{6+} . The consistency of efficiency indicates that the system is operating optimally. Optimization potential in SDP with doses >19.71 kg/kg could save IDR 337 million/year in coagulant expenses without compromising performance. This study provides real industrial-scale documentation for operational cost efficiency.

Keywords: Cr^{6+} processing, nickel mining, operational patterns, specific dosage

1. PENDAHULUAN

Pertambangan nikel menghasilkan air limpasan yang berpotensi mengandung Cr^{6+} , yaitu logam berat toksik yang harus direduksi menjadi Cr^{3+} sebelum dilepas ke lingkungan (Alloway, 2012). FeSO_4 telah banyak digunakan sebagai reduktor yang efektif melalui mekanisme reduksi kimia Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} yang berlangsung dengan proses koagulasi-flokulasi (Golder *et al.*, 2007). Pada sistem *Sediment Pond* (SDP), setiap unit beroperasi dengan karakteristik yang berbeda akibat variasi topografi, luas catchment area, dan intensitas

kegiatan penambangan, sehingga menghasilkan variasi debit dan beban pencemar yang signifikan (Younger, 2002).

Sebagian besar penelitian pengolahan Cr^{6+} menggunakan FeSO_4 masih berfokus pada skala laboratorium atau pilot untuk menentukan kondisi optimal proses menurut (Golder *et al.*, 2007) dan (Zhang & Wang, 2020), sementara dokumentasi berbasis data operasional skala industri dengan variasi beban yang lebar masih terbatas. Pada kondisi operasional riil, sistem pengolahan umumnya dirancang untuk mencapai kinerja yang relatif konsisten, sehingga variasi efisiensi antar unit menjadi kecil dan pendekatan inferensial konvensional kurang relevan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan deskriptif berbasis data lapangan untuk mengidentifikasi pola operasional, best practice, dan peluang optimasi sebagai dasar benchmarking industry (Aguinis *et al.*, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mendokumentasikan karakteristik operasional tujuh SDP dengan kondisi yang bervariasi, menganalisis pola proporsionalitas antara debit, beban, dan dosis FeSO_4 , menghitung dosis spesifik sebagai indikator efisiensi penggunaan koagulan, mengidentifikasi benchmark operasional, serta mengevaluasi potensi optimasi biaya pengolahan

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di salah satu industri pertambangan nikel yang berlokasi di Indonesia. Data operasional dikumpulkan dari tujuh unit *Sediment Pond* (SDP) pada periode Juni sampai November 2025. Setiap SDP memiliki karakteristik berbeda yang mencerminkan kondisi area tangkapan, topografi, dan intensitas kegiatan penambangan di wilayahnya masing-masing

2.2 Teknik pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil monitoring operasional harian yang dilakukan oleh tim pengolahan air limbah perusahaan. Untuk debit aliran diukur dengan *Flow Meter magnetic* dengan satuan m^3/hari . Konsentrasi Cr^{6+} influen dan efluen dianalisis menggunakan metode kolorimetri difenilkarbazid sesuai (SNI 6989.17-2009-Cr Total AAS) dengan satuan mg/L dan Dosis FeSO_4 aktual dicatat dari sistem dosing otomatis dengan satuan kg/hari

Total data yang dianalisis adalah 210 observasi harian ($7 \text{ SDP} \times 30 \text{ hari rata-rata per bulan} \times 6 \text{ bulan} = \sim 1.260 \text{ data point individual}$, yang kemudian diagregasi menjadi 210 data

harian rata-rata untuk analisis). Proses agregasi dilakukan untuk mengurangi noise dari fluktuasi operasional jangka pendek dan fokus pada pola operasional jangka menengah.

2.3 Metode analisis laboratorium

Analisis konsentrasi Cr^{6+} dilakukan di laboratorium *in-house* perusahaan yang telah terakreditasi. Metode analisis mengikuti prosedur standar. Sampel influen diambil dari *inlet* SDP dan efluen diambil dari *outlet* SDP, dengan *grab sampling* pada pukul 08.00, 12.00 dan 16.00 kemudian dikomposit. Sampel diawetkan dengan penambahan H_2SO_4 hingga $\text{pH} < 2$ dan disimpan pada suhu 4°C . Analisis dilakukan 48 jam setelah *sampling* menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm. Setiap *batch* analisis menyertakan blanko, duplikat, dan *spike recovery* untuk memastikan validitas data

2.4 Perhitungan parameter analisis

Beban Pencemar merupakan beban pencemaran yang masuk kedalam air limbah sesuai dengan kondisi eksisting, dimana didalamnya terkandung unsur pencemar yang masuk kedalam air limbah. Dapat dihitung dengan rumus (Ulfa, 2021).

$$\text{Beban } \text{kg/hari} = \text{Konsentrasi } \text{mg/L} \times \text{Debit } \text{m}^3/\text{hari} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Sedangkan beban Cr^{6+} yang terhilangkan menurut (Hanandeh & Akrami, 2023) dihitung dari selisih beban influen dan efluen:

$$\text{Beban } \text{Cr}^{6+} \text{ teremoval (kg/hari)} = \text{Beban}^{\text{In}} \text{ (kg/hari)} - \text{Beban}^{\text{Out}} \text{ (kg/hari)} \quad (2)$$

Efisiensi penghilangan Cr^{6+} menurut (Hariani *et al.*, 2009) dinyatakan dalam persentase menggunakan persamaan

$$\text{Efisiensi Removal (\%)} = \frac{\text{Beban}^{\text{In}} \text{ (kg/hari)} - \text{Beban}^{\text{Out}} \text{ (kg/hari)}}{\text{Beban}^{\text{In}} \text{ (kg/hari)}} \times 100 \% \quad (3)$$

Dosis spesifik FeSO_4 dihitung sebagai rasio antara dosis FeSO_4 terhadap beban Cr^{6+} influen, yang menormalkan penggunaan koagulan terhadap beban pencemar (Hamka *et al.*, 2024) :

$$\text{Dosis Spesifik (kg } \text{FeSO}_4/\text{kg } \text{Cr}^{6+}) = \frac{\text{Dosis } \text{FeSO}_4 \text{ (kg/hari)}}{\text{Beban } \text{Cr}^{6+} \text{ influen (kg/hari)}} \quad (4)$$

2.5 Metode analisis data

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif untuk menganalisis pola operasional penggunaan FeSO_4 dalam pengolahan Cr^{6+} . Pendekatan deskriptif dipilih karena hasil observasi awal menunjukkan bahwa efisiensi *removal* pada semua SDP konsisten (91%), sehingga tidak terdapat variasi pada variabel kinerja yang dapat dianalisis menggunakan metode inferensial seperti korelasi dan regresi.



Gambar 1. Metode Analisis Data
Sumber: (Data Penelitian, 2025).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi karakteristik operasional

Tabel 1 menyajikan karakteristik operasional rata-rata dari ketujuh SDP selama periode penelitian Januari-Juni 2024. Data menunjukkan rentang yang signifikan antar SDP dalam hal debit aliran, beban pencemar, dan dosis koagulan yang digunakan. Menurut (Montgomery & Runger, 2014) nilai rentang atau variasi didapatkan dari perbandingan antara data terbesar dengan data terkecil. Perbedaan ini mencerminkan kondisi yang berbeda di setiap area tangkapan, termasuk luas area, topografi, intensitas kegiatan penambangan, dan pola curah hujan yang mempengaruhi debit limpasan.

Tabel 1. Karakteristik *sediment pond*

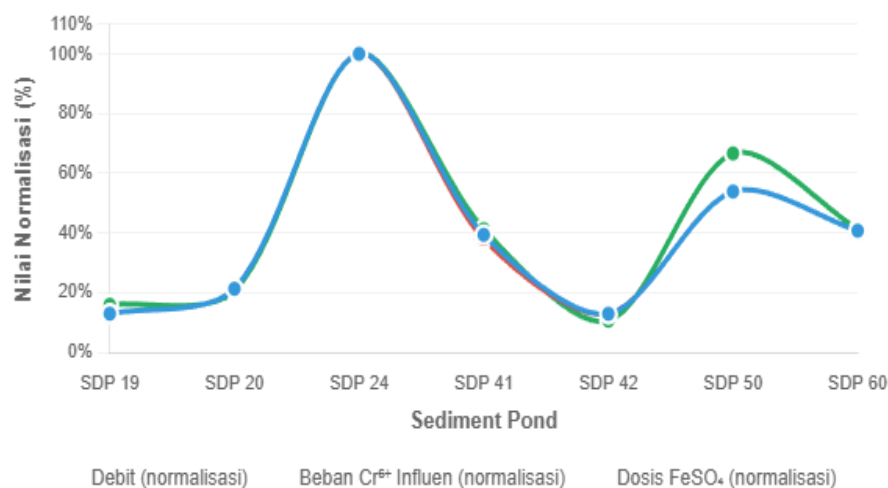
No	<i>Sediment Pond</i>	Debit (m ³ /hari)	Dosis FeSO ₄ Padat (kg/hari)	Beban Cr ⁶⁺ Influent (kg/hari)	Beban Cr ⁶⁺ teremoval (kg/hari)	Efisiensi (%)
1	SDP 19	8.425,44	288	9,77	8,93	91
2	SDP 20	13.824	372	16,05	14,65	91
3	SDP 24	64.750	1.800	75,11	68,635	91
4	SDP 41	25.514	744	28,5	26,95	91
5	SDP 42	8.400	192	9,74	8,9	91
6	SDP 50	34.906	1.200	40,49	37	91
7	SDP 60	26.424	744	30,65	28	91
	Rata-rata	26,035	30,06	763	27,45	91
	Rentang	7,7 x	7,7 x	9,4 x	7,7 x	0

(Sumber: Data penelitian, 2025)

Tabel 1 menunjukkan konsistensi efisiensi *removal* yang baik, dimana semua SDP mencapai nilai identik 91% meskipun terdapat variasi debit dan beban hingga 7,7 kali lipat. Debit berkisar dari 8.400 m³/hari pada SDP 42 hingga 64.750 m³/hari pada SDP 24, sementara beban Cr⁶⁺ influen bervariasi dari 9,74 kg/hari hingga 75,11 kg/hari. Konsentrasi Cr⁶⁺ influen relatif stabil pada rentang 1,12-1,16 mg/L, menunjukkan karakteristik air limpasan tambang yang homogen. Konsistensi efisiensi ini mengindikasikan bahwa sistem telah beroperasi pada kondisi optimal, dimana semua SDP telah menggunakan dosis FeSO₄ yang diperlukan untuk mencapai reduksi dan pengendapan Cr⁶⁺ secara efektif. Hal ini juga menunjukkan bahwa operator telah menerapkan praktik dosing yang baik dengan menyesuaikan dosis secara proporsional terhadap beban pencemar yang masuk.

3.2 Analisis pola proporsionalitas debit, dosis dan beban

Untuk menelaah keterkaitan operasional antara debit aliran, beban pencemar, dan dosis koagulan, dilakukan analisis pola proporsionalitas melalui visualisasi grafis (Gambar 2) dengan menormalisasi ketiga parameter terhadap nilai maksimumnya agar mudah dibandingkan. Hasilnya menunjukkan bahwa kurva debit berwarna biru dan beban Cr⁶⁺ berwarna merah influen hampir identik, yang secara matematis merupakan konsekuensi dari perhitungan beban sebagai hasil perkalian konsentrasi dan debit.



Gambar 2. Pola proporsionalitas

(Sumber: Data penelitian, 2025)

Pada kondisi konsentrasi influen yang relatif konstan 1,12–1,16 mg/L, peningkatan debit secara langsung menghasilkan kenaikan beban yang proporsional. Selain itu, dosis FeSO₄ berwarna hijau juga memperlihatkan tren yang mengikuti pola beban meskipun tidak

sepenuhnya identik, dimana pada SDP dengan beban tinggi seperti SDP 24, 50, dan 60, penyesuaian dosis dilakukan secara proporsional dengan baik, sementara pada SDP dengan beban rendah hingga menengah masih terdapat variasi yang mengindikasikan perbedaan praktik *dosing* antar operator atau kondisi spesifik masing-masing SDP. Pola proporsionalitas ini tidak merepresentasikan hubungan kausal langsung, melainkan mencerminkan strategi operasional di mana operator menyesuaikan dosis koagulan berdasarkan beban pencemar aktual, yang menunjukkan pemahaman operasional bahwa kebutuhan koagulan harus disesuaikan dengan beban masuk guna menjaga efisiensi pengolahan tetap konsisten.

3.3 Analisis dosis spesifik sebagai indikator efisiensi

Untuk menilai efisiensi penggunaan koagulan secara lebih representatif dan adil pada SDP dengan skala operasi yang berbeda, dilakukan perhitungan dosis spesifik FeSO_4 menggunakan persamaan (3). Dosis spesifik ini menormalisasi jumlah koagulan terhadap beban pencemar aktual, sehingga menjadi indikator yang tidak bergantung pada skala operasi dan memungkinkan perbandingan kinerja yang objektif antar unit dengan kapasitas berbeda. Hasil perhitungan dosis spesifik untuk ketujuh SDP disajikan pada Tabel 2, diurutkan dari nilai terendah hingga tertinggi, serta dilengkapi dengan analisis statistik untuk mengidentifikasi kecenderungan umum dan potensi outlier yang menunjukkan adanya peluang optimasi operasional.

Tabel 2. Analisis dosis spesifik

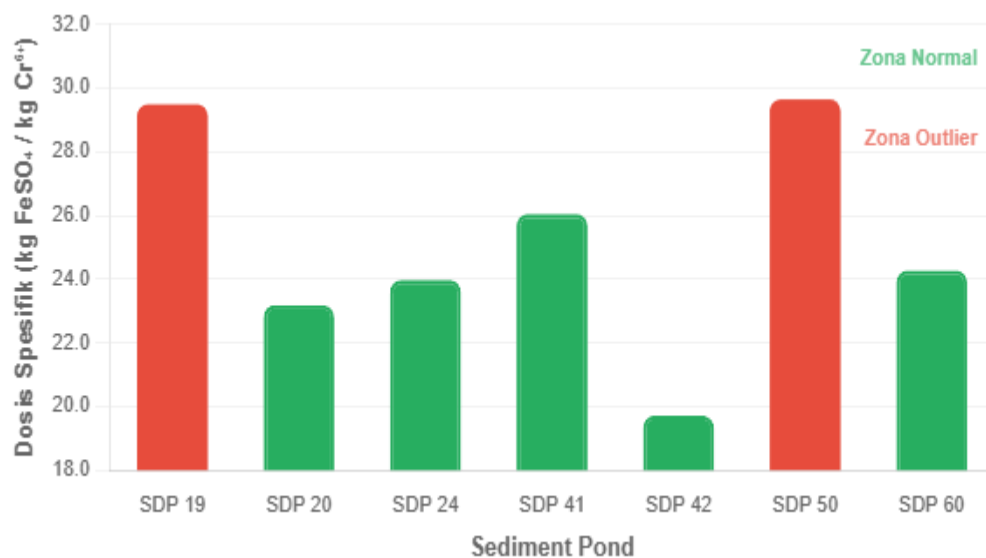
No.	<i>Sediment Pond</i>	Debit (m^3/hari)	Dosis Spesifik ($\text{kg FeSO}_4/\text{kg Cr}^{6+}$)	Efisiensi (%)	Deviasi dari <i>mean</i>	Normal
1	SDP 42	8.425,44	19,71	91	-5,48 (-21,8%)	Normal
2	SDP 20	13.824	23,18	91	-1,99 (-7,9%)	Normal
3	SDP 24	64.750	23,97	91	-1,20 (-4,8%)	Normal
4	SDP 60	25.514	24,27	91	-0,90 (-3,6%)	Normal
5	SDP 41	8.400	26,03	91	+0,86 (+3,4%)	Normal
6	SDP 19	34.906	29,48	91	+4,31 (+17,1%)	Outlier (+)
7	SDP 50	26.424	29,64	91	+4,47 (+17,7%)	Outlier (+)
	Rata-rata	26,035	30,06	91		
	Std Dev	20,445	3,58	0		

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Menurut (Andrade, 2020) Deviasi dari nilai rata-rata dihitung menggunakan rumus:

$$Std\ Dev = \frac{Nilai - Mean}{Mean} \times 100\% \quad (5)$$

dengan outlier didefinisikan sebagai nilai yang berada di luar ± 1 standar deviasi dari rata-rata ($>28,77 \text{ kg FeSO}_4/\text{kg Cr}^{6+}$ atau $<21,61 \text{ Kg FeSO}_4/\text{Kg Cr}^{6+}$) (Aguinis *et al.*, 2013). Analisis menunjukkan bahwa dosis spesifik FeSO_4 memiliki rata-rata $25,19 \text{ Kg FeSO}_4/\text{Kg Cr}^{6+}$ dengan standar deviasi $\pm 3,58$, dimana lima dari tujuh SDP (SDP 42, 20, 24, 60, dan 41) berada dalam rentang normal, mencerminkan pola dosing yang relatif konsisten dan dipengaruhi oleh perbedaan skala operasi serta kondisi lokal. Sebaliknya, SDP 19 dan SDP 50 menunjukkan dosis spesifik yang jauh lebih tinggi, berada di luar rentang normal dengan deviasi lebih dari +4 atau lebih dari 17% di atas rata-rata. Meskipun terdapat perbedaan debit yang besar antar SDP ($8.400\text{--}64.750 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau sekitar 7,7 kali), efisiensi removal tetap seragam sebesar 91% di seluruh unit, yang mengindikasikan sistem beroperasi pada kondisi yang optimal.



Gambar 3. Identifikasi Outlier

(Sumber: Data Penelitian, 2025)

SDP 19 dan SDP 50 menerapkan dosis spesifik hampir 50% lebih tinggi dibandingkan SDP 42 tanpa menghasilkan peningkatan efisiensi, bahkan jika dibandingkan dengan SDP 24 yang beroperasi pada debit 7,7 kali lebih besar namun masih menggunakan dosis spesifik dalam rentang normal yaitu $23,97 \text{ kg FeSO}_4/\text{kg Cr}^{6+}$. Temuan ini mengindikasikan bahwa tingginya dosis spesifik pada SDP 19 dan SDP 50 kemungkinan tidak didorong oleh kebutuhan teknis yang inheren, melainkan oleh praktik dosing yang terlalu konservatif, penerapan safety margin berlebihan, atau tidak adanya evaluasi dosis optimal yang sistematis. Studi sebelumnya,

seperti (Golder *et al.*, 2007) dan (Zhang & Wang, 2020) menunjukkan efisiensi tinggi pada konsentrasi Cr^{6+} yang jauh lebih besar, sedangkan hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa pada kondisi riil dengan konsentrasi rendah 1,0–1,2 mg/L dan variasi beban hingga 7,7 kali, efisiensi yang konsisten sebesar 91% dapat dicapai pada rentang dosis spesifik 19,71–26,03 Kg $\text{FeSO}_4/\text{Kg Cr}^{6+}$, sementara penggunaan dosis di luar rentang tersebut tidak memberikan keuntungan kinerja tambahan.

3.4 Potensi optimasi biaya dan rekomendasi operasional

Penghematan yang diidentifikasi belum memasukkan *co-benefits* seperti penurunan biaya transportasi (5–8%), pengurangan biaya penanganan *sludge* (15–20%), dan mitigasi risiko Fe terlarut, sementara investasi implementasi relatif kecil (Rp 50–80 juta untuk pelatihan, *jar test*, dan *monitoring*) dengan *payback period* kurang dari tiga bulan (Tabel 3).

Tabel 3. Potensi optimasi

No	<i>Sediment pond</i>	Dosis aktual	Target (kg $\text{FeSO}_4/\text{kg Cr}^{6+}$)	Reduksi (kg $\text{FeSO}_4/\text{kg Cr}^{6+}$)	<i>Saving</i> /tahun (kg)	<i>Fase & Timeline</i>
1	SDP 19	29,48	23,60	20 %	20.805	Pilot: Bulan 3-5
2	SDP 50	29,64	23,60	20 %	89.425	Replikasi: Bulan 6-8
Total					110.230 (Rp 330,7 juta)	Stabilisasi: Bulan 9-12

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain periode data enam bulan yang belum mewakili variasi musiman penuh, tidak dianalisisnya parameter operasional rinci (pH, temperatur, waktu tinggal, dan kondisi *mixing*), penggunaan data agregat harian yang tidak menangkap fluktuasi intra-hari dan *shock loading*, serta identifikasi outlier yang masih memerlukan validasi teknis melalui *jar test*, termasuk aspek pengelolaan *sludge* yang belum dievaluasi. Meski demikian, keterbatasan tersebut tidak mengurangi nilai praktis studi ini sebagai dokumentasi kondisi riil skala industri, identifikasi *outlier* berbasis statistik yang objektif, dan estimasi konservatif potensi penghematan sebagai dasar pengambilan keputusan dengan risiko yang terukur.

4. KESIMPULAN

Analisis deskriptif terhadap tujuh *Sediment Pond* di pertambangan nikel Sulawesi Tenggara (Juni-November 2025) menunjukkan efisiensi *removal* Cr^{6+} konsisten 91% meskipun

variasi debit dan beban hingga $7,7\times$, mengindikasikan sistem beroperasi optimal. Dosis spesifik FeSO_4 berkisar 19,71-29,64 kg/kg dengan rata-rata $25,19\pm 3,58$ kg/kg, dimana lima SDP berada dalam rentang normal sementara dua SDP (SDP 19 dan 50) teridentifikasi sebagai outlier statistik (>1 standar deviasi, deviasi +17%). Fokus optimasi pada kedua SDP outlier dengan target 23,60 kg/kg (tervalidasi oleh kelompok normal) berpotensi menghemat 110.230 kg FeSO_4 /tahun (Rp 330,7 juta) melalui implementasi bertahap 4 fase dengan *payback* <3 bulan, meminimalkan risiko karena mayoritas SDP tidak diintervensi. Penelitian ini memberikan dokumentasi riil skala industri dan *benchmarking* berbasis statistik untuk optimasi biaya operasional tanpa mengorbankan kinerja pengolahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguinis, H., Gottfredson, R. K., Joo, H. (2013). Best-Practice Recommendations for Defining, Identifying, and Handling Outliers. *16*(2), 270–301. <https://doi.org/10.1177/1094428112470848>
- Alloway, B. J. (2012). Heavy Metals in Soils Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Springer Dordrecht.
- Andrade, C. (2020). Understanding the Difference Between Standard Deviation and Standard Error of the Mean, and Knowing When to Use Which. *Indian J Psychol Med*, *42*(4), 4–5. <https://doi.org/10.1177/0253717620933419>
- Golder, A. K., Samanta, A. N., Ray, S. (2007). Removal of trivalent chromium by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, *53*(1), 33–41.
- Hamka, I. Miftahul, F. M., Syarif, T., Bakhri, S. (2024). Pengaruh Konsentrasi Koagulan Besi (II) Sulfat Untuk Mereduksi Cr (VI) Menjadi Cr (III) Pada Limbah Air Pertambangan Nikel. *Journal of Materials Processing and Environment* (Vol. 2, Issue 2).
- Hanandeh, A. E., Akrami, K. (2023). Assessment of Nutrient Removal in Surface Flow Constructed Wetland Treating Secondary Effluent with Low Organic, Nitrogen and Phosphorus Loads. *Environments*, *10*(5), 89. <https://doi.org/10.3390/environments10050089>
- Hariani, P. L., Hidayati, N., Oktaria, M. (2009). Penurunan Konsentrasi Cr(VI) Dalam Air Dengan Koagulan FeSO_4 . *Jurnal Penelitian Sains*, *12*(2C). <https://doi.org/10.56064/jps.v12i2.180>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. (2014). Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, Inc.
- Oktavia, E., Rosariawari, F. (2020). Rancangan Unit Pengembangbiakan Black Soldier Fly (BSF) Sebagai Alternatif Biokonversi Sampah Organik Rumah Tangga. *Jurnal Envirous*, *1*(1), 65–75.
- Ulfa, Q. A. (2021). Analisis Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Winongo Berdasarkan Parameter BOD dan COD Menggunakan Model Qual2kw. Tugas Akhir. UII. Yogyakarta
- Younger, P. L. (2002). Deep mine hydrogeology after closure: insights from the UK. In: Merkel, B.J., Planer-Friedrich, B., Wolkersdorfer, C. (eds) Uranium in the Aquatic Environment. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55668-5_3
- Zhang, Q., Wang, C. (2020). Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, *231*(7), 350