

Analisis kualitas air dan limbah pertambangan nikel di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara

Water quality analysis and nickel mining waste in the Pesouha River, Southeast Sulawesi

Febrina Risky Amelia^{1*}, Hefni Effendi¹, Budi Kurniawan², Charles Andrianto³, Taufik Ahmady⁴

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia

²Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, Indonesia

³Divisi Mine Environmental, PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka, Kolaka, Indonesia

⁴HSE (Health, Security and Environment), PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka, Kolaka, Indonesia

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas air Sungai Pesouha dan mengetahui parameter kunci penyumbang pencemaran di Sungai Pesouha dengan menggunakan beberapa jenis analisis. Analisis nilai IP (Indeks Pencemaran) berkisar dari 0,617 hingga 2,47 yang menunjukkan status kualitas air Sungai Pesouha dari kondisi baik hingga pencemaran ringan. Selain itu, hasil analisis Indeks Kualitas Air (IKA-INA) berkisar dari 79,2 (cukup baik) hingga 90,93 (sangat baik). Analisis korelasi Cr⁶⁺ dan besi (Fe) dalam air sebesar 0,91; TSS dan Cr⁶⁺ sebesar 0,85; TSS dan Fe sebesar 0,86; TSS dan IP sebesar 0,68; Cr⁶⁺ dan IP sebesar 0,72; serta Fe dan IP sebesar 0,6. Analisis regresi dengan menggunakan kromium heksavalen (Cr⁶⁺) sebagai variabel bebas (X) dan nilai IP (Indeks Pencemaran) sebagai variabel terikat (Y), diperoleh nilai multiple R sebesar 0,722 yang menjelaskan bahwa korelasi antara X dengan Y termasuk dalam kategori kuat. Nilai Adjusted R² mempunyai nilai sebesar 0,46 artinya X dapat menjelaskan Y, dalam hal ini parameter Cr⁶⁺ dapat menjelaskan Y atau Indeks Pencemaran sebesar 46% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Persamaan regresi yang terbentuk adalah $Y = (-0,099) + (0,12)X$ artinya jika nilai $X = 0$ maka nilai Y sebesar (-0,99) dengan pengaruh positif antar parameter.

Abstract.

This study aims to assess the water quality of the Pesouha River and identify key pollution-contributing parameters using various types of analysis. The Pollution Index Analysis values range from 0.617 to 2.47, indicating quality from good to light pollution. Additionally, the Water Quality Index (WQI-INA) analysis results range from 79.2 (fairly good) to 90.93 (very good). Correlation analysis of Cr⁶⁺ and iron (Fe) in water is 0.91; TSS and Cr⁶⁺ is 0.85; TSS and Fe is 0.86; TSS and IP is 0.68; Cr⁶⁺ and IP is 0.72; Fe and IP is 0.6. Regression analysis using hexavalent chromium (Cr⁶⁺) as the independent variable (X) and the Pollution Index as the dependent variable (Y) yielded a multiple R-value of 0.722, indicating a strong correlation between X and Y. The Adjusted R² value is 0.46, meaning X can explain Y, in this case, the parameter (Cr⁶⁺) can explain Y or Pollution Indeks by 46%, and other factors influence the rest. The regression equation formed is $Y = (-0.099) + (0.12) X$, meaning that if the value of $X = 0$. then the value of Y is (-0.99) with a positive relationship between parameters.

Keywords: river pollution, mining waste, water

Kata kunci: pencemaran sungai, limbah pertambangan, air

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam pertambangan yang besar, sehingga menawarkan peluang untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi negara, terutama di bidang komoditas nikel. Sebagai produsen bijih nikel terkemuka di dunia, Indonesia memberikan kontribusi signifikan terhadap sektor ini dengan memproduksi sekitar 1.600.000 metrik ton, mewakili sekitar 48,48% dari total produksi nikel dunia (U.S. Geological Survey 2022).

* Korespondensi Penulis
Email : zfheby@gmail.com

Nickel Containing Pig Iron merupakan salah satu bahan penting untuk produksi baja tahan karat dan paduan besi-nikel lainnya. Sumber alami NCPI di Indonesia berasal dari bijih laterit, dengan temuan cadangan besar bijih laterit di Sulawesi Tenggara. Bijih laterit tipe saprolit yang berkualitas tinggi di daerah tersebut sudah dimanfaatkan untuk produksi ferronikel, sementara bijih laterit tipe limonit yang berkualitas rendah belum diolah karena kandungan nikelnya dianggap terlalu rendah (Solihin 2015). Semakin tinggi permintaan nikel di pasar global, perusahaan-perusahaan penambangan nikel di Pomalaa Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara berlomba-lomba meningkatkan produksi, yang mengakibatkan pembukaan lahan semakin masif (Hamzah *et al.* 2016).

Nikel, suatu unsur transisi yang tersebar secara luas di lingkungan, udara, air dan tanah, dapat berasal dari alam dan aktivitas manusia. Pencemaran lingkungan oleh nikel dapat terjadi akibat industri, penggunaan bahan bakar cair dan padat, serta limbah dari rumah tangga dan industri. Paparan nikel dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan pada manusia, termasuk alergi, penyakit kardiovaskular dan ginjal, fibrosis paru-paru, serta kanker paru-paru dan hidung. Meskipun mekanisme molekuler dari toksisitas yang disebabkan oleh nikel belum sepenuhnya diketahui, disfungsi mitokondria dan stres oksidatif diyakini memainkan peran utama dan penting dalam toksisitas logam ini (Genchi *et al.* 2020)

Aktivitas industri pertambangan nikel di Pomalaa, Provinsi Sulawesi Tenggara - Indonesia, telah memberikan pendapatan bagi pemerintah dan masyarakat. Namun, pertambangan ini telah menyebabkan dampak pada isu lingkungan. Evaluasi kualitas air menunjukkan bahwa tujuh sungai yang terletak di sekitar area industri pertambangan nikel Pomalaa masih dikategorikan dalam kondisi baik untuk menjalankan aktivitas pertambangan, akan tetapi analisis nilai Indeks Pencemar (PI) menunjukkan kualitas air sungai Baula, Huko-huko, Pesouha, Sopura dan Oko-oko diklasifikasikan sedikit tercemar dengan kategori sungai kelas II. Sementara itu, kualitas air sungai Kumoro dan Puuroda masih dalam kondisi baik (Ilham *et al.* 2017).

Menurut Zhu *et al.* (2021) sumber utama pencemaran di sungai bisa jadi sulit karena aliran air limbah yang tidak terkendali atau tumpahan bahan kimia yang tidak disengaja. Pengaruh fisik harus dipertimbangkan saat memperkirakan sumber pencemaran. PBB menetapkan tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) di Paris pada tahun 2015 untuk menjamin kualitas air dapat digunakan manusia yang

tercantum pada TPB 6 - Air bersih dan sanitasi. Selain itu, tujuan tersebut mencakup pelestarian ekosistem air sebagai bagian dari TPB 14 - kehidupan di bawah air dan TPB 15 - kehidupan di daratan (Pistocchi 2019).

Sungai Pesouha adalah sungai yang berada di lokasi pertambangan nikel di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka. Sungai Pesouha tidak terlepas dari pengaruh aktivitas masyarakat, seperti pertambangan di hulu sungai, kemudian pertanian, pemukiman dan usaha tambak masyarakat di hilir sungai. Aktivitas pertambangan yang mengakibatkan pembukaan lahan secara masif, mobilisasi dan demobilisasi peralatan penunjang aktivitas eksplorasi tambang berdampak langsung maupun tidak langsung terhadap perairan sungai di sekitar lokasi tambang, air limbah dari hasil eksplorasi tambang yang dibuang ke badan air juga meningkatkan potensi pencemaran sungai.

Aktivitas penambangan di hulu sungai menyebabkan terakumulasinya limbah yang mengandung logam berat, sehingga dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas perairan sebelum masuk ke lokasi pertanian masyarakat. Konflik kepentingan antara upaya pelestarian lingkungan perairan dan pengelolaan tambang di hulu sungai menjadi penyebab utama meningkatnya zat pencemar di sepanjang Sungai Pesouha. Pihak-pihak terkait belum sepenuhnya menerapkan langkah-langkah untuk mengatasi masalah ini. Pengelolaan kualitas air secara sistematis dan terpadu diperlukan pemantauan berkala untuk upaya pengendalian pencemaran sungai.

Berdasarkan data yang dikaji dengan metode STORET (Hamzah 2009), menunjukkan bahwa Sungai Pesouha mengalami pencemaran sedang, dengan beban limbah mengandung logam besi berat mencapai 1.421 metrik ton/bulan. Berdasarkan Keputusan Menteri PUPR Tahun 2017 tentang Pola Pengelolaan Sumber Daya Air di Daerah Towari-Lasusua Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV mengungkapkan pada DAS Pesouha bagian hulu, tengah dan hilir juga terdapat beberapa parameter kualitas air yang melebihi baku mutu, antara lain COD, kadmium, kromium, nitrit, tembaga dan klorin bebas.

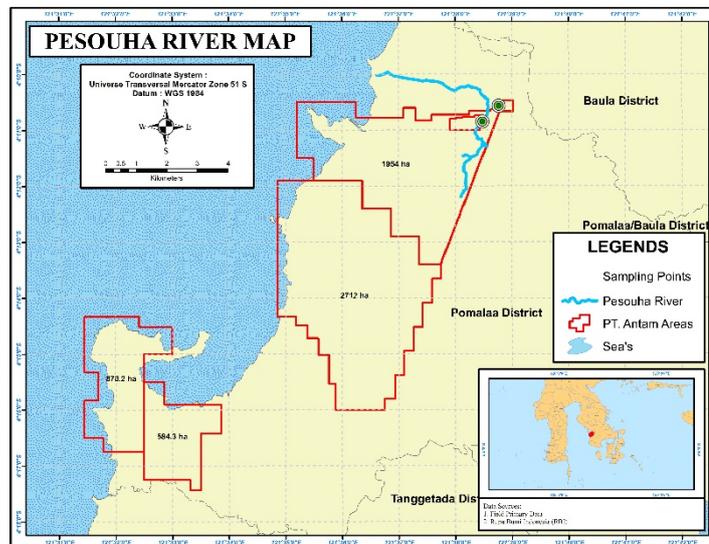
Penelitian ini bertujuan menilai kualitas air Sungai Pesouha dengan menganalisis dampak kegiatan industri pertambangan terhadap peningkatan polutan di sungai tersebut. Tujuan lainnya adalah mengidentifikasi parameter kunci yang menyumbang pada pencemaran Sungai Pesouha melalui berbagai jenis analisis diantaranya analisis

indeks pencemaran, analisis korelasi dan regresi, serta analisis kualitas air modifikasi Indonesia (IKA-INA).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan dimulai pada bulan Februari sampai Juli 2023 di Sungai Pesouha, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara yang melintasi IUP PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka dan beberapa perusahaan tambang lain. Data kualitas air, limbah dan sedimen yang digunakan merupakan gabungan data primer dan sekunder. Analisis sampel air dilakukan di Laboratorium BBIHP Makassar. Titik pengambilan sampel dan peta lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta titik pemantauan triwulanan PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka 2022-2023.

Gambar 1 menggambarkan lokasi pengambilan sampel triwulan yang dilakukan oleh PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka. Data koordinat dari pengambilan sampel di dua titik pemantauan di Sungai Pesouha. Titik pengambilan sampel menggambarkan posisi hulu sungai (setelah pemukiman warga dan sebelum pertanian) dan hilir sungai (setelah pertanian warga).

2.2. Pengumpulan data

Jenis data yang diperoleh meliputi data primer dan sekunder. Data primer meliputi hasil uji laboratorium terhadap sampel air dan sampel limbah, data kondisi fisik lokasi, kemiringan lereng, suhu air lebar sungai, keasaman air, TSS, debit air sungai dan outlet pembuangan dari hulu ke hilir pertambangan PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka. Sedangkan data sekunder yang diperoleh meliputi data suhu, curah hujan, kecepatan angin dan kelembaban udara yang bersumber dari BMKG Kolaka, data pemantauan mandiri debit limbah, pH dan TSS harian serta pemantauan kualitas sungai secara triwulanan yang bersumber dari PT. ANTAM Tbk. UBP Nikel Kolaka, data kualitas air sungai berasal dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV Kendari. Data yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk menganalisis kualitas air dan status mutu air dengan metode Indeks Pencemaran, IKA-INA, dan korelasi-regresi sederhana.

2.3. Analisis data

2.3.1. Indeks pencemaran

Analisis kualitas air dilakukan pada kumpulan data sekunder dan primer (Suriadikusumah *et al.* 2021) yang mencerminkan tingkat kebersihan suatu sumber air pada waktu tertentu, dibandingkan dengan standar mutu air yang telah ditetapkan, disebut sebagai status mutu air. Pengukuran tingkat kontaminasi pada indikator kualitas air yang diizinkan dapat dipastikan melalui penggunaan indeks kontaminasi (Nemerow 1974 dalam Djoharam *et al.* 2018). Metode PI (*Pollution Index*) menggunakan dua indeks kualitas: rata-rata (R) dan maksimum (M). Indeks R menunjukkan tingkat rata-rata pencemaran semua parameter dalam satu pengamatan, sedangkan indeks M menunjukkan parameter dominan yang menurunkan kualitas air dalam satu pengamatan. Analisis untuk menentukan status kualitas air Sungai Cipeusing menggunakan metode Indeks Pencemaran (PI). (Nurrohman *et al.* 2019; Suriadikusumah *et al.* 2021).

Manajemen kualitas air yang berorientasi pada IP (Indeks Pencemaran) memungkinkan evaluasi kualitas suatu badan air untuk tujuan penggunaan tertentu dan pengambilan langkah-langkah perbaikan yang bersifat mandiri dan memiliki makna signifikan, dengan rumus matematika ditampilkan pada **Persamaan 1**. Nilai indeks pencemaran memiliki klasifikasi status pencemaran yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})^2_M + (C_i / L_{ij})^2_R}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Ket:

- Pij = Indeks Pencemar bagi peruntukan (j)
- Ci = Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran
- Lij = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)
- (Cij/Lij)max = Nilai Cij/Lij maksimum
- (Cij/Lij)avg = Nilai Cij/Lij rata-rata

Tabel 1. Klasifikasi pencemaran kualitas air berdasarkan nilai indeks pencemaran.

Klasifikasi	Status
PI _j ≤ 1,0	Memenuhi baku mutu
PI _j ; 1,1-5,0	Tercemar ringan
PI _j ; 5,1-10	Tercemar sedang
PI _j ≥ 10,1	Tercemar berat

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003

2.3.2. Indeks kualitas air dimodifikasi Indonesia (IKA-INA)

Indeks kualitas air (IKA) menghindari pembobotan subjektif dari parameter dengan menggunakan rata-rata harmonik. Ungkapan matematis dari metode Indeks Kualitas Air (IKA) ini direpresentasikan oleh rumus IKA (Tyagi *et al.* 2020). Kualitas air dinilai menggunakan metode National Sanitation's Foundation (NSF-WQI) yang telah diadaptasi menjadi metode IKA-INA dan IP (Indeks Pencemaran) sesuai dengan panduan penentuan status kualitas air (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003; Artiningrum dan Saeful 2023). Nilai IKA (Indeks Kualitas Air) adalah hasil dari penjumlahan dan perkalian masing-masing sub indeks parameter dikalikan dengan bobot parameter (**Persamaan 2**).

$$IKA - INA = \sum_{i=1}^n W_i I_i \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- IKA-INA : Nilai Indeks Kualitas Air
- W : Bobot skor akhir
- I : Nilai sub indeks
- Σⁿ : Penjumlahan semua parameter yang dihitung dari parameter pertama sampai parameter ke-n (IKA-INA : 10 Parameter kunci)
- i : Parameter ke-i

Tabel 2. Kategori kualitas air dan status kualitas dengan metode IKA-INA.

No.	Parameter	Bobot akhir	No.	Parameter	Bobot akhir
1	DO	0,14	7	T-P	0,09
2	Fecal coliform	0,13	8	TSS	0,07
3	COD	0,12	9	NO ₃ -N	0,07
4	pH	0,12	10	TDS	0,05
5	BOD	0,11	TOTAL		1
6	NH ₃ -N	0,09			

Sumber: Ratnaningsih *et al.* (2018)

2.3.3. Analisis korelasi dan regresi

Koefisien korelasi Pearson (r) ditentukan menggunakan matriks korelasi untuk mengidentifikasi parameter kualitas air yang sangat berkorelasi dan saling terkait. Untuk menguji signifikansi pasangan parameter, dilakukan pengujian nilai p . Ada hubungan antar variabel yang menunjukkan bahwa satu variabel sebenarnya menyebabkan perubahan pada variabel lainnya (Tajmunnaher dan Chowdhury 2017).

Kecenderungan tingkat pencemaran air sungai dapat dikonfirmasi menggunakan model regresi ini. Data yang telah dihitung sebelumnya untuk sumbu Y (PIj) dan sumbu X (waktu) dimasukkan ke dalam analisis regresi untuk menghitung nilai status kualitas air. Hubungan antara PIj dan waktu dapat ditemukan melalui model regresi ini dan digunakan untuk menemukan model regresi terbaik yang menjelaskan fluktuasi nilai PIj. Nilai R^2 digunakan sebagai panduan dalam memilih model regresi yang paling cocok untuk variasi nilai PIj (Nathania *et al.* 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sungai Pesouha merupakan sungai yang berada di Kecamatan Pomalaa Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara, dimana hulu sungai berada pada titik koordinat $04^{\circ}10'54,82''S$ dan $121^{\circ}38'26,77''E$, sedangkan hilir sungai berada pada titik koordinat $04^{\circ}10'35,11''S$ dan $121^{\circ}38'41,23''E$. Hulu Sungai Pesouha berada di wilayah eksplorasi pertambangan nikel PT. ANTAM. Tbk UBPB Kolaka serta mengalir melewati beberapa lokasi tambang perusahaan lainnya. Dengan demikian, kualitas Sungai Pesouha dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya pertambangan yang berada di hulu, pertanian dan pertambakan di hilir sungai. Kualitas perairan Sungai Pesouha dan sungai lain pada umumnya juga sedikit banyak dipengaruhi oleh iklim.

Data yang diperoleh merupakan rangkaian data tahun 2022–2023, yang kemudian digunakan untuk analisis korelasi regresi, indeks pencemaran dan evaluasi indeks kualitas air (IKA–INA). Oleh karena itu, berbagai faktor, seperti pertambangan di hulu dan pertanian serta pertambakan di hilir sungai, mempengaruhi kualitas Sungai Pesouha. Iklim juga berdampak pada kualitas air Sungai Pesouha serta sungai-sungai lain pada umumnya. Jumlah hari hujan tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir adalah 27 hari dalam sebulan yang terjadi pada bulan Agustus 2020 dan Juli 2022. Sepanjang tahun 2022 curah hujan mencapai $2718,6 \text{ mm}^3$ dengan kecepatan angin

maksimal mencapai 12 knot, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 349,5 mm³ selama 17 hari hujan.

3.1. Analisis indeks pencemaran

Berdasarkan **Tabel 3** terlihat kualitas air Sungai Pesouha selama 2 tahun dengan data tiga kali pengambilan sampel pada tahun 2022 dan dua kali pengambilan sampel pada tahun 2023. Sepanjang tahun 2022 curah hujan mencapai 2718,6 mm³ dengan kecepatan angin maksimal mencapai 12 knot, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 349,5 mm³ selama 21 hari hujan.

Tabel 3. Analisis indeks pencemaran Sungai Pesouha.

Waktu	Lokasi	Titik sampel	Indeks Pencemaran	Informasi
Januari 2022	Hulu	P1	1,757	Tercemar ringan
	Hilir	P2	0,730	Keadaan baik
Mei 2022	Hulu	P1	1,747	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,901	Tercemar ringan
September 2022	Hulu	P1	2,47	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,198	Tercemar ringan
Januari 2023	Hulu	P1	1,920	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,495	Tercemar ringan
Mei 2023	Hulu	P1	0,615	Keadaan baik
	Hilir	P2	1,571	Tercemar ringan

Nilai indeks tertinggi diperoleh pada pengambilan sampel bulan September dengan data debit air bulanan Sungai Pesouha diambil dari laporan pemantauan mandiri debit PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka mencapai 105.408,00 m³ dan rata-rata debit sungai harian sebesar 3513,60 m³, sedangkan nilai indeks pencemaran terendah yang ditunjukkan pada pengambilan sampel pada bulan Mei 2023 memiliki debit air bulanan sebesar 37.340. m³ dan rata-rata debit harian 1204,53 m³. Besarnya debit air pada bulan September 2022 di Sungai Pesouha dapat disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Suhu udara rata-rata pada bulan September 2022 mencapai 27,9 °C dengan intensitas curah hujan bulanan mencapai 237 mm yang berasal dari akumulasi hari hujan selama 22 hari, sedangkan suhu udara rata-rata pada bulan Mei 2023 mencapai 28,6 °C dengan intensitas curah hujan bulanan mencapai 131,5 mm yang berasal dari akumulasi hari hujan selama 31 hari.

3.2. Analisis indeks kualitas air modifikasi Indonesia (IKA-INA)

Kondisi perairan Sungai Pesouha berdasarkan hasil analisis Indeks Pencemaran menunjukkan hasil yang fluktuatif, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode Indeks kualitas air modifikasi Indonesia dengan mempersempit parameter yang dianalisis, dengan menggunakan 10 parameter kunci dengan bobot yang telah ditentukan untuk masing-masing parameternya. **Tabel 4** menunjukkan nilai IKA-INA terendah terdapat pada titik sampel Q2 yang diambil pada bulan Mei 2022 dengan jumlah indeks sebesar 79,2 yang mempunyai kriteria cukup baik, sedangkan nilai indeks tertinggi terdapat pada titik P1 yang diambil pada bulan Januari 2022 dengan nilai indeks sebesar 90,93 dengan kriteria sangat baik. Selain kedua titik pengumpulan tersebut, perairan Sungai Pesouha mempunyai indeks yang cukup stabil dengan rentang nilai indeks antara 83,37-89,74.

Tabel 4. Nilai indeks kualitas air (IKA-INA).

Lokasi	Waktu	Titik sampel	IKA-INA	Kriteria
Januari 2022	Hulu	P1	90,93	Sangat baik
	Hilir	P2	86,77	Baik
Mei 2022	Hulu	P1	82,38	Baik
	Hilir	P2	79,2	Cukup baik
September 2022	Hulu	P1	88,85	Baik
	Hilir	P2	89,74	Baik
Januari 2023	Hulu	P1	87,86	Baik
	Hilir	P2	86,45	Baik
Mei 2023	Hulu	P1	83,37	Baik
	Hilir	P2	84,69	Baik

Secara keseluruhan, hasil analisis Indeks Pencemaran (IP) dan Indeks Kualitas Air Modifikasi Indonesia (IKA-INA) menunjukkan adanya keterkaitan. Berdasarkan analisis IP, kondisi perairan Sungai Pesouha berada dalam kategori baik hingga tercemar ringan. Sementara itu, analisis IKA-INA menunjukkan bahwa kondisi perairan Sungai Pesouha dapat dikategorikan cukup baik hingga sangat baik. Dari kedua analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah tingkat pencemaran suatu sungai, semakin baik pula kondisi perairan sungai tersebut. Namun, analisis IKA-INA kurang mampu mendeskripsikan kondisi lingkungan perairan yang memiliki tingkat pencemaran logam berat yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan penggunaan hanya 10 parameter kunci dalam analisis tersebut, yaitu COD, BOD, Fecal coliform, Total Posfat, NH_3 , NO_3 , NO_2 , TDS, DO dan pH.

3.3. Analisis korelasi dan regresi antar parameter pencemar dan analisis indeks pencemaran

Matriks korelasi 9 parameter pencemar yang mempunyai tingkat korelasi tinggi antara lain TSS, pH, Cr⁶⁺, Fe, Cd, Zn, Cu, Pb dan Co serta hasil analisa indeks pencemaran untuk mengetahui parameter penyumbang terbesar yang masuk ke badan air Sungai Pesouha. Kromium heksavalen (Cr⁶⁺) menunjukkan korelasi linier positif yang signifikan dengan besi (Fe) di perairan (0,91), hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan besi (Fe) di perairan maka semakin tinggi konsentrasi kromium heksavalen (Cr⁶⁺) di perairan tersebut. Menurut Effendi (2003) salah satu alasan utamanya adalah kromium tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam murni di alam karena sumber alami kromium sangat terbatas, terutama berasal dari batuan kromit (FeCr₂O₄) dan *chromic oxide* (Cr₂O₃).

Berikut adalah **Tabel 5** tentang korelasi antara parameter pencemar dan hasil analisis Indeks Pencemaran (IP) pada lokasi penelitian di Sungai Pesouha. **Tabel 5** menggambarkan hubungan antara berbagai parameter kualitas air dan tingkat pencemaran yang diukur. Konsentrasi TSS menunjukkan korelasi linear positif yang cukup signifikan dengan kromium heksavalen (Cr⁶⁺) sebesar 0,86, dengan adanya korelasi linear positif menunjukkan semakin tinggi konsentrasi kandungan TSS perairan diikuti dengan tingginya konsentrasi kromium heksavalen (Cr⁶⁺). Konsentrasi TSS menunjukkan korelasi linear positif yang cukup signifikan dengan besi (Fe) sebesar 0,867. Hubungan antara indeks pencemaran dengan parameter pencemar TSS membentuk korelasi 0,68; Indeks pencemaran dengan Cr⁶⁺ membentuk korelasi 0,72; dan dengan Fe membentuk korelasi 0,60.

Tabel 5. Korelasi parameter pencemar dan indeks pencemaran.

	Co	Pb	Cu	Zn	Cd	Fe	TSS	pH	Cr ⁶⁺	IP
Co	1									
Pb	1,4x10 ⁻¹⁵	1								
Cu	-1	-1,4x10 ⁻¹⁵	1							
Zn	-1	-1,4x10 ⁻¹⁵	1	1						
Cd	-1	-1,4x10 ⁻¹⁵	1	1	1					
Fe	1,2x10 ⁻¹⁵	-0,210	-1,3x10 ⁻¹⁵	-1,3x10 ⁻¹⁵	-1,3x10 ⁻¹⁵	1				
TSS	-5,1x10 ⁻¹⁷	-0,400	5,1x10 ⁻¹⁷	5,1x10 ⁻¹⁷	5,1x10 ⁻¹⁷	0,867	1			
pH	-2,5x10 ⁻¹⁵	0,069	2,4x10 ⁻¹⁵	2,4x10 ⁻¹⁵	2,4x10 ⁻¹⁵	-0,278	-0,377	1		
Cr ⁶⁺	-1,2x10 ⁻¹⁶	-0,055	1,2x10 ⁻¹⁶	1,2x10 ⁻¹⁶	1,2x10 ⁻¹⁶	0,907	0,859	-0,425	1	
IP	6,0x10 ⁻¹⁷	0,137	-6x10 ⁻¹⁷	-6x10 ⁻¹⁷	-6x10 ⁻¹⁷	0,597	0,681	-0,265	0,717	1

Korelasi positif yang signifikan antara TSS dengan kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan besi (Fe) di Sungai Pesouha menunjukkan bahwa peningkatan TSS meningkatkan konsentrasi kedua logam berat ini, yang terikat pada partikel-partikel tersuspensi. Peningkatan konsentrasi TSS, Cr^{6+} dan Fe secara langsung berkontribusi terhadap penurunan kualitas air, yang tercermin dalam nilai IP yang lebih tinggi. Hal ini menegaskan bahwa partikel tersuspensi dan logam berat merupakan faktor utama yang mempengaruhi kualitas air di Sungai Pesouha dan perlu dikendalikan untuk menjaga kesehatan ekosistem perairan.

Tabel 6 merupakan regresi yang menunjukkan hubungan antara parameter kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan Indeks Pencemaran (IP) pada lokasi penelitian di Sungai Pesouha. **Tabel 6** memberikan analisis mendalam mengenai sejauh mana konsentrasi kromium heksavalen mempengaruhi tingkat pencemaran perairan di wilayah tersebut.

Analisis regresi dengan menggunakan kromium heksavalen (Cr^{6+}) sebagai variabel bebas (X) dan Indeks Pencemaran sebagai variabel terikat (Y), diperoleh nilai multiple R sebesar 0,722 yang menjelaskan bahwa korelasi antara X dengan Y sebesar 0,722 termasuk dalam kategori kuat. Nilai Adjusted R^2 mempunyai nilai sebesar 0,46 artinya X dapat menjelaskan Y, dalam hal ini parameter (Cr^{6+}) dapat menjelaskan Y atau Indeks Pencemaran sebesar 46% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Persamaan regresi yang terbentuk adalah $Y = (-0,099) + (0,12)X$ artinya jika nilai $X = 0$ maka nilai Y sebesar (-0,99) dengan pengaruh positif antar parameter.

Tabel 6. Regresi parameter kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan nilai indeks pencemaran.

<u>Regression Statistics</u>								
Multiple R	0,721949							
R^2	0,52121							
Adjusted R^2	0,461362							
Standard Error	0,069332							
Observations	10							
<u>ANOVA</u>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	0,041862	0,041862	8,708803	0,018396			
Residual	8	0,038455	0,004807					
Total	9	0,080317						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,09981	0,066698	-1,49649	0,172896	-0,25362	0,053993	-0,25362	0,053993
Indeks Pencemaran	0,120725	0,040909	2,951068	0,018396	0,026389	0,215062	0,026389	0,215062

Hasil analisis **Tabel 6** menunjukkan bahwa kromium heksavalen (Cr^{6+}) memainkan peran penting dalam menentukan kualitas air di Sungai Pesouha, meskipun faktor-faktor lain yang tidak terukur dalam analisis ini juga turut mempengaruhi tingkat pencemaran. Persamaan regresi yang dihasilkan mendukung temuan ini dengan menunjukkan hubungan positif antara Cr^{6+} dan IP, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk menyimpulkan bahwa kromium heksavalen (Cr^{6+}) adalah salah satu kontributor utama terhadap tingkat pencemaran air di wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis Indeks Pencemaran (IP) dan Indeks Kualitas Air modifikasi Indonesia (IKA-INA) terhadap data kualitas air Sungai Pesouha, status mutu air berada dalam kategori kondisi baik hingga tercemar ringan menurut IP dan cukup baik hingga sangat baik menurut IKA-INA. Parameter utama yang berkontribusi signifikan terhadap pencemaran di Sungai Pesouha adalah kromium heksavalen (Cr^{6+}), besi (Fe) dan *total suspended solid* (TSS). Kromium heksavalen (Cr^{6+}) khususnya memiliki korelasi kuat dengan nilai IP, menunjukkan bahwa kontaminasi logam berat merupakan faktor utama dalam penurunan kualitas air di wilayah tersebut.

Untuk penelitian selanjutnya di perairan lokasi pertambangan, penggunaan analisis IKA-INA kurang disarankan karena tidak mencakup parameter logam berat, yang penting untuk menilai kondisi sungai secara menyeluruh. Namun, di area non-pertambangan seperti pertanian, pemukiman, atau peternakan, analisis ini masih dapat digunakan karena hanya membutuhkan 10 parameter dan dapat mengurangi biaya penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan untuk fokus pada penurunan beban pencemar utama seperti kromium heksavalen (Cr^{6+}), besi (Fe) dan TSS di Sungai Pesouha. Selain itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai strategi pengelolaan limbah industri pertambangan nikel di Sungai Pesouha dan sungai lainnya di Sulawesi Tenggara yang terdampak aktivitas industri ini.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Taufik Ahmady, S.T. dan Charles Andrianto, S.T. atas bantuan perizinan penggunaan data dan pendampingan penelitian di lingkup pertambangan PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Artiningrum T and Saeful NS. 2023. Determination of Cikapundung River water quality index using IKA-INA Method and Pollution Index. *Eduvest - Journal of Universal Studies* 3(6):1086-1097.
- Djoharam V, Riani E and Yani M. 2018. Analysis of water quality and capacity for the pollution load of the Pesanggrahan River in the DKI Jakarta Province Area. *Journal Management of Natural Resources and the Environment* 8(1):127-133.
- Effendi H. 2003. Telaah kualitas air: bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius. Yogyakarta.
- Genchi G, Carocci A, Lauria G and Sinicropi MS. 2020. Nickel: human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(3):679-700.
- Hamzah. 2009. Water quality study at the Pomalaa Nickel Mining Location, Southeast Sulawesi [Tesis]. IPB University. Bogor.
- Hamzah, Effendi H, Riani E, Saharuddin dan Indrasti NS. 2016. Pengembangan masyarakat pesisir di kawasan tambang nikel Pomalaa Sulawesi Tenggara [Disertasi]. IPB University. Bogor.
- Ilham, Hartono DM, Suganda E dan Nurdin M. 2017. Metal distribution at river water of mining and nickel industrial area in Pomalaa Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *Oriental Journal of Chemistry* 33(5):2599-2607.
- KepMenLHK (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup) Nomor 115 Tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air.
- Nathania NA, Sayekti RW dan Sholichin M. 2021. Studi sebaran karakteristik kualitas air dengan parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS dan pH di Waduk Sutami. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* 1(2):890-903.
- Nurrohman AW, Widyastuti M dan Suprayogi S. 2019. Evaluasi kualitas air menggunakan Indeks Pencemaran di DAS Cimanuk, Indonesia. *Ecotrophic* 13:74-84.
- Pistocchi A. 2019. An integrated perspective of multiple stressors in river ecosystems from the catchment to the continental scale. In *Multiple Stressors in River Ecosystems*, 353-374. Elsevier.
- Ratnaningsih D, Retno PL, Nazir E dan Fauzi R. 2018. Pengembangan Indeks Kualitas Air sebagai alternatif penilaian kualitas air sungai. *Jurnal Ecolab* 12(2):53-61.

- Solihin. 2015. Synthesis of Nickel Containing Pig Iron (NCPI) by using limonite type of lateritic ore from South East Sulawesi. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 25(1):31.
- Suriadikusumah A, Mulyani O, Sudirja R, Sofyan ET, Maulana MHR and Mulyono A. 2021. Analysis of the water quality at Cipeusing River, Indonesia using the Pollution Index method. *Acta Ecologica Sinica* 41(3):177-182.
- Tajmunnaher and Chowdhury DMAI. 2017. Correlation study for assessment of water quality and its parameters of Kushiya River, Sylhet, Bangladesh. *International Journal of New Technology and Research* 3(12):1-6.
- Tyagi S, Sharma B, Singh P and Dobhal R. 2020. Water quality assessment in terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources* 1(3):34-38.
- U.S. Geological Survey. 2022. Mineral commodity summaries 2022. In *Angewandte Chemie International Edition (Issue 703)*, 6(11):951-952. U.S. Government Publishing Office.
- Zhu Y, Chen Z and Asif. 2021. Identification of point source emission in river pollution incidents based on Bayesian inference and genetic algorithm: Inverse modeling, sensitivity, and uncertainty analysis. *Environmental Pollution* 285:117497.