



Analisis Kualitas Air Sungai Pangisan Pada Kawasan Pertambangan Emas Di Kabupaten Minahasa Utara

Devano T. I. Hermanus^{#a}, Herawaty Riogilang^{#b}, Hendra Riogilang^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^adevanohermanus027@student.unsrat.ac.id, ^bherawaty_riogilang@unsrat.ac.id, ^chendra.riogilang@unsrat.ac.id

Abstrak

Kegiatan pertambangan emas berpotensi memengaruhi kualitas air melalui aliran air limbah yang masuk ke badan air penerima. Sungai Pangisan merupakan salah satu badan air yang berada pada kawasan pertambangan emas di Kabupaten Minahasa Utara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah pertambangan serta mengevaluasi kondisi kualitasnya menggunakan Indeks Kualitas Air (IKA) dan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI). Penelitian menggunakan data sekunder hasil pemantauan kualitas air tahun 2023–2025. Parameter yang dianalisis pada Sungai Pangisan meliputi TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan Fecal Coliform dengan acuan baku mutu air kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Parameter air limbah pertambangan meliputi As, Cd, Cr, Pb, dan Hg dengan acuan Kepmen LH No. 202 Tahun 2004. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap baku mutu serta menghitung nilai IKA dan HPI untuk menggambarkan kondisi kualitas masing-masing objek secara terpisah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Pangisan mengalami perubahan selama periode pengamatan, sedangkan kualitas air limbah menunjukkan kondisi yang relatif stabil. Evaluasi menggunakan IKA dan HPI memberikan gambaran mengenai kondisi kualitas air sungai dan air limbah serta perubahan kualitasnya selama periode 2023–2025.

Kata kunci: Sungai Pangisan, kualitas air, kualitas air limbah, pertambangan emas, Indeks Kualitas Air, Heavy Metal Pollution Index

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Air merupakan komponen penting bagi keberlangsungan ekosistem dan kehidupan manusia, sedangkan sungai memiliki fungsi ekologis dan hidrologis yang penting bagi lingkungan. Aktivitas pertambangan emas berpotensi memengaruhi kualitas air melalui air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan dan dialirkan melalui *outlet* menuju badan air penerima. Sungai Pangisan merupakan salah satu badan air yang berada pada kawasan pertambangan emas di Kabupaten Minahasa Utara. Oleh karena itu, kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah pertambangan perlu dianalisis secara terpisah karena memiliki karakteristik dan acuan baku mutu yang berbeda. Kualitas Sungai Pangisan dianalisis berdasarkan parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan FC dengan mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas II, sedangkan air limbah pertambangan dianalisis berdasarkan parameter As, Cd, Cr, Pb, dan Hg dengan mengacu pada Kepmen LH No. 202 Tahun 2004 Lampiran I.

Evaluasi kualitas air tidak hanya dilakukan melalui perbandingan konsentrasi parameter terhadap baku mutu, tetapi juga menggunakan pendekatan indeks untuk menggambarkan kondisi kualitas secara keseluruhan. Penelitian ini menggunakan Indeks Kualitas Air (IKA) dan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) yang diterapkan secara terpisah pada Sungai Pangisan dan air limbah pertambangan. Data yang digunakan merupakan data sekunder hasil pemantauan tahun 2023–

2025. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas masing-masing objek, kesesuaiannya terhadap baku mutu, serta perubahan kualitas selama periode pengamatan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi kualitas air Sungai Pangisan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, FC dengan mengacu pada baku mutu air sungai Kelas II dalam PP. No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI?
2. Bagaimana kondisi kualitas air limbah outlet pertambangan emas selama periode tahun 2023–2025 berdasarkan parameter Hg, As, dan Pb dengan mengacu pada baku mutu air limbah pertambangan emas dalam KepMen LH. No. 202 Tahun 2004 Lampiran I?
3. Bagaimana nilai Indeks Kualitas Air (IKA) Sungai Pangisan dan *outlet* air limbah pertambangan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter kualitas air sungai dan parameter kualitas air limbah dalam Permen. LHK. No. 14 Tahun 2025 Lampiran II?
4. Bagaimana nilai *Heavy Metal Polution Index* (HPI) Sungai Pangisan dan outlet air limbah pertambangan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter kualitas air sungai dan kualitas air limbah?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi kondisi kualitas air Sungai Pangisan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan FC serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap baku mutu air sungai Kelas II berdasarkan PP. No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI.
2. Mengidentifikasi kondisi kualitas air limbah kegiatan penambangan emas selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter As, Cd, Cr, Pb, dan Hg serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap baku mutu air limbah berdasarkan Kepmen. LH. No. 202 Tahun 2004 Lampiran I.
3. Menganalisis Indeks Kualitas Air (IKA) Sungai Pangisan dan *outlet* air limbah pertambangan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter kualitas air sungai dan kualitas air limbah dengan metode perhitungan yang ditetapkan dalam Permen. LHK. Nomor 14 Tahun 2025 Lampiran III.
4. Menganalisis *Heavy Metal Polution Index* (HPI) Sungai Pangisan dan outlet air limbah pertambangan selama periode 2023–2025 berdasarkan parameter kualitas air sungai dan kualitas air limbah.

1.4 Lingkup Penelitian

1. Penelitian menganalisis kualitas Sungai Pangisan tahun 2023–2025 berdasarkan parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan FC.
2. Penelitian menganalisis kualitas air limbah outlet pertambangan emas tahun 2023–2025 berdasarkan parameter As, Cd, Cr, Pb, dan Hg.
3. Kualitas Sungai Pangisan dibandingkan dengan baku mutu Kelas II PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI.
4. Kualitas air limbah outlet dibandingkan dengan baku mutu Kepmen LH No. 202 Tahun 2004 Lampiran I.
5. IKA ditentukan berdasarkan parameter kualitas sungai dan air limbah dengan metode Permen LHK No. 14 Tahun 2025.
6. HPI ditentukan berdasarkan parameter kualitas sungai dan air limbah dengan metode yang digunakan dalam penelitian.
7. Penelitian menggunakan data sekunder tahun 2023–2025 dan tidak menganalisis hubungan sebab-akibat langsung antara outlet air limbah dan perubahan kualitas Sungai Pangisan.

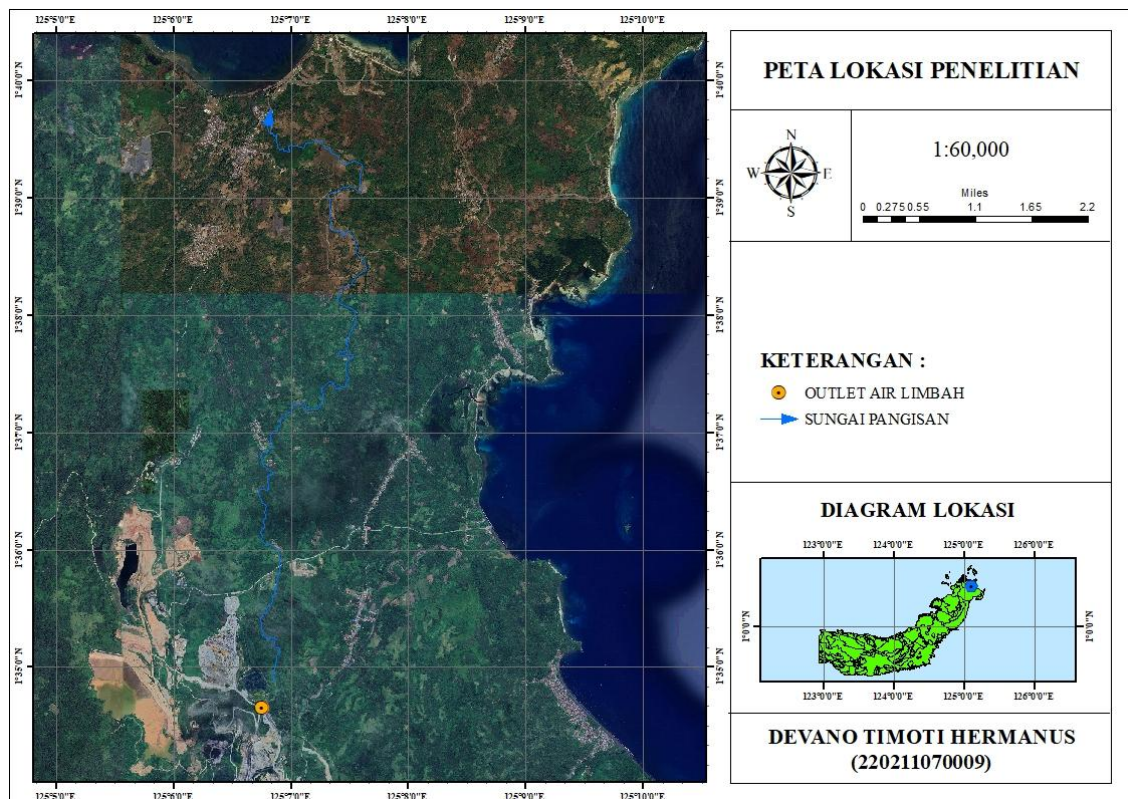
2. Metode Penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan menggunakan data sekunder. Penelitian dilakukan dengan menganalisis data kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah outlet pertambangan emas periode 2023–2025 berdasarkan parameter yang tersedia. Data

hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku, kemudian dianalisis menggunakan Indeks Kualitas Air (IKA) dan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) untuk menggambarkan kondisi kualitas air selama periode penelitian.

2.2 Lokasi Penelitian



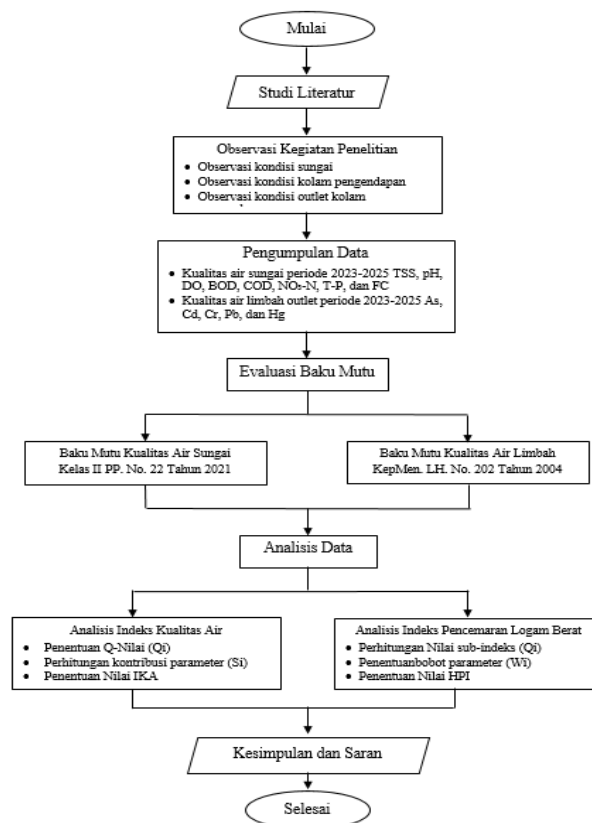
Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.3 Metode Pengumpulan Data

1. Mengumpulkan data sekunder hasil pemantauan kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas periode 2023–2025.
2. Mengumpulkan data hasil pengukuran parameter kualitas air Sungai Pangisan, yaitu TSS, pH, DO, BOD, COD, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-P, dan FC.
3. Mengumpulkan data hasil pengukuran parameter air limbah outlet, yaitu As, Cd, Cr, Pb, dan Hg.
4. Mengumpulkan data baku mutu yang digunakan sebagai dasar evaluasi kualitas air sungai dan air limbah.
5. Mengumpulkan dokumen pendukung yang berkaitan dengan lokasi dan kegiatan penelitian.

2.4 Diagram Alir Penelitian

Kegiatan penelitian mengikuti alur pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Kualitas Air Sungai

Hasil pemantauan kualitas air Sungai Pangisan dilakukan pada satu titik pengamatan selama periode 2023–2025 dengan parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan FC. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Pangisan berdasarkan perubahan nilai masing-masing parameter selama tiga tahun pengamatan. Data yang diperoleh menunjukkan adanya variasi nilai antar parameter dan antar periode, sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan karakteristik kualitas air Sungai Pangisan selama periode 2023–2025.

Tabel 1. Kondisi Kualitas Air Sungai

Parameter	Satuan	2023	2024	2025
TSS	mg/L	1	10	24
pH	-	7,77	7,71	7,20
DO	mg/L	7,46	7,97	7,70
BOD	mg/L	<2	2	<2
COD	mg/L	<10	<10	<10
NO ₃ ⁻	mg/L	0,048	0,070	0,668
T-P	mg/L	0,015	0,034	0,095
FC	MPN/100mL	1400	1500	2100

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai parameter kualitas air Sungai Pangisan mengalami variasi selama periode 2023–2025. Nilai TSS menunjukkan peningkatan dari 1 mg/L pada tahun 2023 menjadi 10 mg/L pada tahun 2024 dan 24 mg/L pada tahun 2025. Nilai pH mengalami penurunan dari 7,77 menjadi 7,71 dan 7,20. Parameter DO mengalami peningkatan dari 7,46 mg/L pada tahun 2023 menjadi 7,97 mg/L pada tahun 2024, kemudian sedikit menurun menjadi 7,70 mg/L pada tahun 2025. Nilai BOD dan COD relatif stabil, dengan BOD berada pada nilai <2–2 mg/L dan COD tetap pada nilai <10 mg/L selama periode pengamatan. Parameter NO₃-N

mengalami perubahan dari 0,448 mg/L pada tahun 2023 menjadi 0,070 mg/L pada tahun 2024, kemudian meningkat menjadi 0,668 mg/L pada tahun 2025. Nilai T-P menunjukkan kecenderungan meningkat dari 0,015 mg/L pada tahun 2023 menjadi 0,034 mg/L pada tahun 2024 dan 0,095 mg/L pada tahun 2025. Sementara itu, nilai FC juga mengalami peningkatan secara bertahap, yaitu dari 1.400 MPN/100 mL pada tahun 2023 menjadi 1.500 MPN/100 mL pada tahun 2024 dan 2.100 MPN/100 mL pada tahun 2025.

3.2 Kondisi Kualitas Air Limbah

Hasil pemantauan kualitas air limbah kegiatan pertambangan emas dilakukan pada satu titik *outlet* selama periode 2023–2025. Pemantauan dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi kualitas air limbah berdasarkan konsentrasi parameter yang dianalisis. Parameter yang digunakan meliputi As, Cd, Cr, Pb, dan Hg yang merupakan parameter logam yang diamati pada air limbah kegiatan pertambangan emas. Data hasil pemantauan dari setiap tahun kemudian digunakan untuk melihat perubahan konsentrasi masing-masing parameter selama periode pengamatan 2023–2025.

Tabel 2. Kondisi Kualitas Air Limbah

Parameter	Satuan	2023	2024	2025
As	mg/L	0,049	0,063	0,058
Cd	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cr	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	mg/L	0,009	0,012	0,007
Hg	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005

Hasil dari kualitas air limbah *outlet* pertambangan emas menunjukkan bahwa konsentrasi As mengalami perubahan selama periode pengamatan, yaitu sebesar 0,049 mg/L pada tahun 2023, meningkat menjadi 0,063 mg/L pada tahun 2024, kemudian menurun menjadi 0,058 mg/L pada tahun 2025. Konsentrasi Pb juga mengalami perubahan, dari 0,009 mg/L pada tahun 2023 menjadi 0,012 mg/L pada tahun 2024, kemudian menurun menjadi 0,007 mg/L pada tahun 2025. Perubahan tersebut menunjukkan adanya variasi konsentrasi As dan Pb pada *outlet* selama periode pengamatan. Sementara itu, parameter Cd, Cr, dan Hg pada hasil pemantauan tercatat dalam bentuk nilai di bawah batas deteksi, masing-masing <0,0001 mg/L, <0,001 mg/L, dan <0,00005 mg/L pada tahun 2023–2025. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ketiga parameter tersebut tidak terdeteksi pada konsentrasi yang dapat dinyatakan secara kuantitatif berdasarkan batas deteksi pengukuran

3.3 Evaluasi Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Evaluasi kualitas air Sungai Pangisan dilakukan dengan membandingkan hasil pemantauan pada periode 2023–2025 terhadap baku mutu air kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI. Evaluasi dilakukan terhadap parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, T-P, dan FC untuk mengetahui parameter yang memenuhi maupun melampaui baku mutu selama periode pengamatan.

Tabel 3. Evaluasi Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Parameter	Satuan	Baku Mutu	2023	2024	2025
TSS	mg/L	50	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
pH	-	6-9	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
DO	mg/L	<4	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
BOD	mg/L	3	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
COD	mg/L	25	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
NO ₃ -N	mg/L	10	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
T-P	mg/L	0,2	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
FC	MPN/100mL	1000	Tidak Memenuhi	Tidak Memenuhi	Tidak Memenuhi

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar parameter kualitas air Sungai Pangisan selama periode 2023–2025 masih memenuhi baku mutu air Kelas II. Parameter TSS, pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, dan T-P seluruhnya berada dalam batas yang ditetapkan. Nilai TSS meningkat dari 1 mg/L pada tahun 2023 menjadi 24 mg/L pada tahun 2025, namun masih berada di bawah batas 50 mg/L. Parameter pH, DO, BOD, COD, NO₃-N, dan T-P juga menunjukkan nilai yang masih berada dalam rentang atau batas baku mutu yang ditetapkan. Berbeda dengan parameter lainnya, FC menjadi satu-satunya parameter yang tidak memenuhi baku mutu selama tiga tahun pengamatan. Nilai FC tercatat sebesar 1.400 MPN/100 mL pada tahun 2023, meningkat menjadi 1.500 MPN/100 mL pada tahun 2024, dan kembali meningkat menjadi 2.100 MPN/100 mL pada tahun 2025, sementara baku mutu yang ditetapkan sebesar 1.000 MPN/100 mL.

3.4 Evaluasi Baku Mutu Kualitas Air Limbah

Evaluasi kualitas air limbah *outlet* pertambangan emas dilakukan dengan membandingkan hasil pemantauan selama periode 2023–2025 dengan baku mutu air limbah kegiatan pertambangan emas berdasarkan Kepmen LH No. 202 Tahun 2004 Lampiran I. Evaluasi dilakukan terhadap parameter As, Cd, Cr, Pb, dan Hg untuk mengetahui kesesuaian konsentrasi masing-masing parameter terhadap batas baku mutu yang telah ditetapkan.

Tabel 4. Evaluasi Baku Mutu Kualitas Air Limbah

Parameter	Satuan	Baku Mutu	2023	2024	2025
As	mg/L	0,5	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Cd	mg/L	0,1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Cr	mg/L	1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Pb	mg/L	1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Hg	mg/L	0,005	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Hasil evaluasi seluruh parameter kualitas air limbah *outlet* pertambangan emas selama periode 2023–2025 berada di bawah nilai baku mutu yang ditetapkan. Konsentrasi As tercatat sebesar 0,049 mg/L pada tahun 2023, meningkat menjadi 0,063 mg/L pada tahun 2024, kemudian menurun menjadi 0,058 mg/L pada tahun 2025. Konsentrasi Pb juga mengalami perubahan, yaitu 0,009 mg/L pada tahun 2023, meningkat menjadi 0,012 mg/L pada tahun 2024, kemudian menurun menjadi 0,007 mg/L pada tahun 2025. Sementara itu, Cd, Cr, dan Hg tercatat dalam bentuk nilai di bawah batas deteksi pengukuran pada ketiga tahun pengamatan.

3.5 Analisis Indeks Kualitas Air (IKA)

Analisis Indeks Kualitas Air (IKA) dilakukan untuk menggambarkan kondisi kualitas air secara keseluruhan berdasarkan parameter yang dianalisis. Perhitungan IKA dilakukan dengan menentukan nilai Q-Nilai masing-masing parameter berdasarkan persamaan regresi yang tercantum dalam Permen LH/BPLH No. 14 Tahun 2025 Lampiran II, kemudian mengalikan Q-Nilai dengan faktor pembobot masing-masing parameter. Hasil perkalian tersebut merupakan nilai kontribusi parameter (Si). Selanjutnya, seluruh nilai kontribusi parameter dijumlahkan untuk memperoleh nilai IKA. Rumus Perhitungan Indeks Kualitas Air (IKA):

$$IKA = \sum_{i=1}^n (Q_i \times W_i)$$

Keterangan:

IKA = Nilai Indeks Kualitas Air Sungai Pangisan

Q_i = Q-Nilai parameter ke-i

W_i = Bobot parameter ke-i

Σ = Penjumlahan seluruh nilai kontribusi

i = 1

= Parameter yang dianalisis

n = Jumlah parameter

Dalam penelitian ini nilai Indeks Kualitas Air (IKA) dihitung berdasarkan data hasil pemantauan kualitas air selama periode 2023–2025. Perhitungan dilakukan untuk setiap tahun pengamatan dengan menggunakan seluruh parameter yang telah ditentukan, sehingga diperoleh nilai IKA yang menggambarkan kondisi kualitas air pada masing-masing tahun. Nilai IKA selanjutnya digunakan untuk mengetahui kategori kondisi kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas selama periode penelitian.

Tabel 5. Hasil Perhitungan IKA Kualitas Air Sungai

Periode	Nilai IKA	Kategori
2023	$70 < 79,21 \leq 90$	Baik
2024	$70 < 79,26 \leq 90$	Baik
2025	$70 < 78,56 \leq 90$	Baik

Tabel 6. Hasil Perhitungan IKA Kualitas Air Limbah

Periode	Nilai IKA	Kategori
2023	$90 < 97,62 \leq 100$	Sangat Baik
2024	$90 < 97,00 \leq 100$	Sangat Baik
2025	$90 < 97,30 \leq 100$	Sangat Baik

Hasil perhitungan Indeks Kualitas Air (IKA) menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah memiliki kondisi yang berbeda selama periode 2023–2025. Nilai IKA Sungai Pangisan berturut-turut sebesar 79,21, 79,26, dan 78,56, sehingga seluruhnya berada pada rentang 70–90 dengan kategori Baik. Sementara itu, nilai IKA air limbah berturut-turut sebesar 97,62, 97,00, dan 97,30, yang berada pada rentang 90–100 dengan kategori Sangat Baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air limbah memiliki nilai indeks yang lebih tinggi dan relatif stabil dibandingkan kualitas air Sungai Pangisan, sedangkan Sungai Pangisan tetap mempertahankan kategori Baik meskipun mengalami sedikit penurunan nilai IKA tahun 2025.

3.6 Perbandingan Indeks Kualitas Air (IKA)

Perbandingan nilai Indeks Kualitas Air (IKA) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kondisi kualitas antara Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas selama periode 2023–2025. Perbandingan dilakukan dengan melihat nilai IKA masing-masing objek pada setiap tahun pengamatan, sehingga dapat diketahui perbedaan nilai indeks dan perubahan kondisi kualitas berdasarkan kategori IKA.

Tabel 7. Hasil Perbandingan IKA Kualitas Air Sungai dan IKA Kualitas Air Limbah

Periode	IKA Sungai	IKA Limbah	Selisih (Δ IKA)	Persentase Perbedaan (P)
2023	79,21	97,62	18,41	23,24%
2024	79,26	97,00	17,74	22,39%
2025	78,56	97,30	18,74	23,86%

Hasil perbandingan Indeks Kualitas Air (IKA) menunjukkan bahwa kualitas air limbah memiliki nilai indeks yang lebih tinggi dibandingkan kualitas air Sungai Pangisan pada seluruh periode pengamatan. Nilai IKA Sungai Pangisan berada pada kisaran 78,56–79,26 dengan kategori Baik, sedangkan nilai IKA air limbah berada pada kisaran 97,00–97,62 dengan kategori Sangat Baik. Selisih nilai IKA (Δ IKA) berkisar antara 17,74–18,74, dengan persentase perbedaan sebesar 22,39–23,86%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kualitas air limbah *outlet* relatif lebih baik dan stabil selama periode 2023–2025, sementara kualitas air Sungai Pangisan memiliki nilai indeks yang lebih rendah meskipun tetap berada dalam kategori Baik.

3.7 Analisis Heavy Metal Pollution Index (HPI)

Perhitungan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh nilai indeks kualitas berdasarkan parameter yang dianalisis pada Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas. Nilai HPI diperoleh dengan menggabungkan nilai sub-indeks (Q_i) dan bobot masing-masing parameter (W_i) ke dalam satu nilai indeks. Perhitungan dilakukan secara terpisah antara kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* sesuai dengan parameter yang digunakan pada masing-masing objek penelitian.

Rumus Perhitungan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i Q_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Keterangan:

HPI = *Heavy Metal Pollution Index*

W_i = Bobot parameter ke- i

Q_i = Nilai sub-indeks parameter ke- i

i = Parameter ke-1 sampai ke- n .

n = Jumlah parameter yang dianalisis.

Dalam penelitian ini, perhitungan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) dilakukan menggunakan data pemantauan kualitas air periode 2023–2025 pada Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas. Nilai HPI dihitung untuk setiap tahun pengamatan guna mengetahui kondisi kualitas kedua objek selama periode penelitian.

Tabel 8. Hasil Perhitungan HPI Kualitas Air Sungai

Periode	Nilai HPI	Kategori
2023	88,12	Sangat Baik
2024	84,61	Sangat Baik
2025	80,57	Sangat Baik

Tabel 9. Hasil Perhitungan HPI Kualitas Air Limbah

Periode	Nilai HPI	Kategori
2023	98,96	Sangat Baik
2024	98,94	Sangat Baik
2025	98,95	Sangat Baik

Hasil perhitungan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* selama periode 2023–2025 berada dalam kategori Sangat Baik. Nilai HPI Sungai Pangisan masing-masing sebesar 88,12 pada 2023, 84,61 pada 2024, dan 80,57 pada 2025, yang menunjukkan kecenderungan penurunan nilai selama periode pengamatan, sedangkan nilai HPI air limbah relatif stabil, yaitu 98,96 pada 2023, 98,94 pada 2024, dan 98,95 pada 2025. Meskipun terdapat perbedaan nilai dan pola perubahan antara kedua objek, seluruh nilai HPI masih berada pada rentang kategori Sangat Baik.

3.8 Perbandingan Heavy Metal Pollution Index (HPI)

Perbandingan nilai *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kondisi kualitas antara Sungai Pangisan dan air limbah *outlet* pertambangan emas selama periode 2023–2025. Perbandingan dilakukan dengan melihat nilai HPI pada masing-masing objek untuk setiap tahun pengamatan, sehingga dapat diketahui perbedaan nilai indeks dan pola perubahan kualitas berdasarkan hasil perhitungan HPI.

Tabel 10. Hasil Perbandingan HPI Kualitas Air Sungai dan HPI Kualitas Air Limbah

Periode	HPI Sungai	HPI Limbah	Selisih (Δ HPI)	Persentase Perbedaan (P)
2023	88,12	98,96	10,84	12,30%
2024	84,61	98,94	14,33	16,94%
2025	80,57	98,95	18,38	22,81%

Hasil perbandingan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) menunjukkan bahwa nilai HPI air limbah selalu lebih tinggi dibandingkan HPI Sungai Pangisan selama periode 2023–2025. Nilai HPI Sungai Pangisan mengalami penurunan dari 88,12 pada tahun 2023 menjadi 84,61 pada tahun 2024 dan 80,57 pada tahun 2025, sedangkan HPI air limbah relatif stabil pada kisaran 98,94–98,96. Selisih nilai HPI (Δ HPI) meningkat dari 10,84 pada tahun 2023 menjadi 14,33 pada tahun 2024 dan 18,38 pada tahun 2025, dengan persentase perbedaan berturut-turut sebesar 12,30%, 16,94%, dan 22,81%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun kedua objek tetap berada pada kategori Sangat Baik, perbedaan kualitas berdasarkan nilai HPI semakin besar selama periode pengamatan.

4. Kesimpulan

Hasil evaluasi baku mutu kualitas air sungai menunjukkan bahwa sebagian besar parameter kualitas air Sungai Pangisan, yaitu TSS, pH, DO, BOD, COD, $\text{NO}_3\text{-N}$, dan T-P, memenuhi baku mutu air Kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI selama periode 2023–2025. Parameter Fecal Coliform (FC) merupakan satu-satunya parameter yang tidak memenuhi baku mutu pada seluruh periode pengamatan.

Hasil evaluasi baku mutu kualitas air limbah menunjukkan bahwa seluruh parameter air limbah *outlet* pertambangan emas, yaitu As, Cd, Cr, Pb, dan Hg, memenuhi baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 202 Tahun 2004 Lampiran I selama periode 2023–2025. Tidak terdapat parameter yang melampaui baku mutu pada outlet selama periode pengamatan.

Hasil perhitungan IKA menunjukkan bahwa nilai IKA Sungai Pangisan sebesar 79,21 pada 2023, 79,26 pada 2024, dan 78,56 pada 2025, yang seluruhnya termasuk kategori Baik. Sementara itu, nilai IKA air limbah sebesar 97,62 pada 2023, 97,00 pada 2024, dan 97,30 pada 2025, yang seluruhnya termasuk kategori Sangat Baik.

Hasil perhitungan HPI menunjukkan bahwa nilai HPI Sungai Pangisan sebesar 88,12 pada 2023, 84,61 pada 2024, dan 80,57 pada 2025, sedangkan HPI air limbah sebesar 98,96 pada 2023, 98,94 pada 2024, dan 98,95 pada 2025. Seluruh nilai HPI berada dalam kategori Sangat Baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai HPI air limbah relatif stabil, sedangkan HPI Sungai Pangisan mengalami penurunan selama periode 2023–2025.

Referensi

- Adinda Larasati, Herawaty Riogilang, & Hendra Riogilang. (2022). Evaluasi Pengelolaan Limbah Medis Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Manado. *TEKNO*, Vol. 20 No. 82, hlm. 1021–1030.
- Alfatihah, A., dkk. 2022. Analisis Kualitas Air Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di Sungai Patrean Kabupaten Sumenep. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*.
- As-syakur, A. R. (2011). Sistem Informasi Geografis (SIG): Konsep Dasar dan Aplikasinya. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 13(1), 1–8.
- Asdak, C. 2023. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ayuningrum, V. R. 2023. Pemetaan Persebaran Kualitas Air Sungai Irigasi Menggunakan ArcGIS. *Jurnal Pendidikan Geografi*.
- American Public Health Association (APHA). (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- Badan Informasi Geospasial. (2023). Referensi Sistem Koordinat Nasional Indonesia (SRGI 2013). Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- Ben Beya, I., Charrada, R., Hamzaoui - Azaza, F., & Zammouri, M. (2021). *Use of GIS-Based Inverse Distance Weighted Interpolation to Assess Surface Water Quality*. *MethodsX*, 8, 101531.

- Biantoro, B. 2023. Studi Pemetaan Beban Pencemar Air Sungai Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW). Skripsi. Universitas Islam Indonesia.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). London: E & FN Spon.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Elbeltagi, A., Deng, J., Wang, K., dkk. (2023). A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11 (6), 111163.
- Hendra Riogilang, Herawaty Riogilang, & Jack Harry Ticoh. (2024). Konservasi Lingkungan Perkotaan: Penyuluhan dan Pendampingan Revitalisasi Mangrove di Pesisir Pantai Tuminting dan Molas, Manado. *MEDIA MATRASAIN*, Vol. 21 No. 2.
- International Council on Mining and Metals* (ICMM). 2024. *Integrated Mine Water Management: Good Practice Guide*. London: *International Council on Mining and Metals*.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan/atau Tembaga.
- Lagoari, M. C., Riogilang, H., & Hendratta, L. A. (2025). Analisis kualitas air Sungai Buyat sebagai dampak kegiatan pertambangan emas rakyat. *TEKNO*, 23(91).
- Lukas, G. R. N., Riogilang, H., & Riogilang, H. (2024). Analisis kontaminan bakteri *Escherichia coli* di Sungai Maruasey. *TEKNO*, 22(89).
- Lottermoser, B. G. (2010). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts* (3rd ed.). Berlin: Springer.
- Manoppo, N. N. A., Riogilang, H., & Riogilang, H. (2024). Identifikasi kadar merkuri (Hg) dan arsen (As) di Sungai Desa Tobongon Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. *TEKNO*, 22(89).
- Mainali, J., Chang, H., & Chun, Y. (2019). *A Review of Spatial Statistical Approaches to Modeling Water Quality*. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(2), 197–226.
- Muchtar, E., Supit, C. J., & Riogilang, H. (2023). Analisis pencemaran merkuri pada perairan sekitar tambang emas rakyat di Desa Tanoyan Selatan. *TEKNO*, 21(85).
- Muh. Alifian Al Anshari, Hendra Riogilang, Herawaty Riogilang, & Oktovian Berty A. Sompie. (2023). Identifikasi Dampak Perubahan Iklim dan Pemodelan *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) sebagai Upaya Adaptasi di Kabupaten Kepulauan Sangehe Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 8 No. 1, hlm. 19–28.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Natalia Miranda Kolondam, Hendra Riogilang, & Herawaty Riogilang. (2022). Strategi Penerapan Konsep *Green City* di Kabupaten Minahasa Tenggara. *TEKNO*, Vol. 20 No. 81.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2025). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 14 Tahun 2025 tentang Status dan Kondisi Lingkungan Hidup serta Respon Terhadap Perubahan Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup..
- Rahardjo, P. P., Widyastuti, D., Zairina, A., Mondiana, Y. Q., Wijaya, A. C., dan Farida, S. 2025. Integrasi Sistem Informasi Geografis.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). *Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index*. *American Journal of Water Resources*, 1 (3), 34–38.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). *A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality*. *Ecological Indicators*, 122, 107218.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2021. *Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident*. *Nairobi: United Nations Environment Programme*.
- World Health Organization. (2022). *Chemical Fact Sheets: Mercury*. Geneva: *World Health Organization*.
- Yusal, M. S., dan Hasyim, A. 2022. Kajian Kualitas Air Berdasarkan Keanekaragaman Meiofauna dan Parameter Fisika - Kimia di Pesisir Losari, Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 45 – 57.