Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 36518-36532

Evaluasi Kualitas Air Sungai Ayung Metode WQI (Water Quality Index) Sebagai Dasar Penanganan Pencemaran dan Rekomendasi Pengelolaan Sungai

Chintya Arivany[1], Putu Indah Dianti Putri[2], I Putu Prana Wiraatmaja[2], I Ketut Nuraga[1]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional, [2] Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional
Corresponding Author: Chintya Arivany, e-mail: chintya.arivany15@gmail.com

Published: December , 2025

ABSTRACT
The Ayung River is the longest river in Bali Island and plays a strategic role as a source of raw water, irrigation, tourism support, and aquatic ecosystems. However, increasing domestic, agricultural, and tourism activities along the watershed have exerted significant pressure on water quality. This study aims to evaluate the water quality status and pollution level of the Ayung River using the Water Quality Index (WQI) by considering temporal variations (seasonal, annual, and five-year trends) as well as spatial variations among monitoring stations, and to formulate river management recommendations. The study employed secondary water quality data from 2020–2024 collected at seven monitoring stations, including pH, DO, BOD, COD, and TSS parameters, which were analyzed using the WQI method in reference to Class II water quality standards. The results indicate that the overall water quality of the Ayung River falls within the Poor (C) category, exhibiting temporal fluctuations without a consistent long-term improvement trend. Spatially, the upstream segment shows relatively better water quality compared to the middle and downstream segments, indicating an accumulation of pollutant loads toward the downstream areas. Organic pollutants, particularly BOD and COD, were identified as the dominant factors contributing to water quality degradation. These findings highlight the need for integrated and adaptive management strategies focused on controlling organic pollutant loads based on seasonal conditions and river segments to improve the water quality of the Ayung River sustainably.

Keywords: WQI, river water quality, spatio-temporal variation, organic pollution, Ayung River

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Sungai merupakan komponen vital ekosistem air tawar yang berfungsi sebagai penyedia air baku, penopang keanekaragaman hayati, serta media asimilasi pencemaran (Pandiangan dkk., 2023). Namun, peningkatan aktivitas sosial dan ekonomi seperti pertumbuhan penduduk, pembangunan permukiman, intensifikasi pertanian, serta ekspansi industri dan pariwisata telah menjadi pendorong utama peningkatan beban pencemar terhadap sumber daya air di Indonesia. Berdasarkan Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022 yang diterbitkan oleh KLHK, hanya sekitar 9,1% dari 44 sungai besar yang memenuhi baku mutu kelas II sesuai PP No. 22 Tahun 2021, sedangkan sisanya telah tercemar akibat aktivitas domestik, pertanian, dan industri (Agustin, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa tekanan pembangunan yang tidak diimbangi dengan pengelolaan lingkungan telah memperburuk kualitas sungai secara nasional.

Tekanan terhadap ekosistem sungai meningkat seiring dengan perubahan tata guna lahan dan aktivitas manusia di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS). Di Bali, kondisi serupa terjadi pada Sungai Ayung, sungai terpanjang di pulau tersebut dengan panjang ±69,36 km dan luas DAS 300,84 km² (Putri dkk., 2023). Sungai ini memiliki fungsi strategis sebagai sumber air baku PDAM, irigasi pertanian, penunjang pariwisata, dan penopang ekosistem sekitar. Namun, pertumbuhan penduduk

dan kegiatan ekonomi di sepanjang aliran sungai menimbulkan tekanan besar terhadap kualitas air. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa Sungai Ayung di bagian hulu hingga hilir telah mengalami pencemaran ringan akibat limbah domestik dan aktivitas masyarakat (Widyasari & Putra, 2022), dan kondisi tersebut bersifat kumulatif serta meningkat dari waktu ke waktu (Rohmah & Basyaiban, 2022). Hal ini menandakan adanya peningkatan tekanan antropogenik terhadap sistem hidrologis Sungai Ayung.

Kualitas air Sungai Ayung saat ini menunjukkan tanda-tanda penurunan mutu dengan kategori tercemar ringan (Nada dkk., 2024). Selain tekanan dari aktivitas manusia, kondisi air sungai juga dipengaruhi oleh faktor temporal yang merefleksikan perubahan musim. Pada musim hujan, limpasan permukaan membawa material organik dan anorganik yang meningkatkan nilai TSS dan kekeruhan (Chazanah dkk., 2017), sedangkan pada musim kemarau, debit air menurun sehingga kadar oksigen terlarut (DO) menurun dan konsentrasi polutan meningkat (Wiranegara dkk., 2023). Penelitian di DAS Hulu Citarum menunjukkan bahwa nilai *Water Quality Index* (WQI) cenderung lebih rendah pada musim kemarau akibat peningkatan polutan terlarut (Marselina dkk., 2025). Kondisi ini menggambarkan bahwa kualitas air Sungai Ayung berfluktuasi secara temporal dan memerlukan evaluasi ilmiah yang mempertimbangkan dinamika musim. Namun, kajian yang secara komprehensif menilai pengaruh variasi waktu terhadap kualitas air Sungai Ayung dan mengaitkannya dengan rekomendasi penanganan pencemaran serta pengelolaan sungai masih terbatas.

Keterbatasan kajian tersebut penting untuk segera diatasi, mengingat penurunan kualitas air Sungai Ayung telah berdampak pada berbagai aspek kehidupan. Secara ekologis, degradasi mutu air menyebabkan gangguan terhadap keanekaragaman hayati dan menurunnya kemampuan sungai dalam melakukan *self-purification*. Secara sosial, kondisi ini berpotensi mengancam kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber air sungai untuk kebutuhan sehari-hari. Sementara secara ekonomi, penurunan kualitas air dapat mengganggu keberlanjutan pariwisata berbasis alam dan sektor pertanian yang menjadi tulang punggung ekonomi Bali. Kombinasi tekanan antropogenik dan dinamika temporal menjadikan ekosistem Sungai Ayung berada pada kondisi rentan, sehingga perlu dilakukan penanganan dan evaluasi secara komprehensif.

Sebagai upaya tanggapan terhadap permasalahan tersebut, diperlukan metode evaluasi kualitas air yang mampu memberikan gambaran menyeluruh, ilmiah, dan mudah diinterpretasikan. Salah satu pendekatan yang efektif adalah metode WQI (*Water Quality Index*), yang mengintegrasikan parameter fisika-kimia seperti pH, DO, BOD, COD, dan TSS menjadi satu nilai indeks numerik yang menggambarkan status mutu air secara kuantitatif dan terklasifikasi (Tyagi dkk., 2020; Uddin dkk., 2021). Metode ini tidak hanya memudahkan analisis perbandingan antar musim, tetapi juga dapat dikaitkan dengan baku mutu air berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi status mutu dan tingkat pencemaran air Sungai Ayung berdasarkan metode WQI (*Water Quality Index*) dengan mempertimbangkan variasi temporal dan spasial. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk merumuskan rekomendasi penanganan pencemaran serta strategi pengelolaan Sungai Ayung yang berkelanjutan berdasarkan hasil evaluasi kualitas air.

METODELOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di aliran Sungai Ayung yang merupakan DAS terpanjang di Pulau Bali dengan panjang alur utama ±69,36 km dan luas 300,84 km² (Putri dkk., 2023). Pengamatan dilakukan pada tujuh stasiun (STA 1–STA 7) yang merepresentasikan kondisi hulu hingga hilir, dari Plaga (STA 1) hingga Padang Galak (STA 7). Lokasi dipilih karena Sungai Ayung memiliki fungsi ekologis dan sosial-ekonomi penting sebagai sumber air baku PDAM, irigasi, pendukung pariwisata, dan kebutuhan domestik, namun juga tertekan oleh aktivitas permukiman, pertanian intensif, dan pariwisata yang berpotensi menurunkan kualitas air. Koordinat stasiun dan peta lokasi disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Koordinat Lokasi Stasiun Data Kualitas Air

Stasiun	Koordinat	Lokasi
STA 1	Lat -8,2962227 Lon 115,2331324	Jembatan Bangkung, Plaga
STA 2	Lat -8,4029971 Lon 115,2284937	Payangan, Ubud
STA 3	Lat -8,4625712 Lon 115,2408629	Melinggih Kelod, Gianyar
STA 4	Lat -8,5471939 Lon 115,2164708	Bendung Mambal, Abiansemal
STA 5	Lat -8,5988807 Lon 115,2240602	Bendung Peraupan, Peguyangan
STA 6	Lat -8,6386708 Lon 115,2417446	Jl. Sulatri, Denpasar
STA 7	Lat -8,6530402 Lon 115,2542432	Padang Galak



Gambar 1. Titik Koordinat Stasiun Data Kualitas Air

Sumber dan Jenis Data

Penelitian ini tidak melakukan pengambilan maupun pengujian sampel air secara langsung, melainkan menggunakan data sekunder berupa hasil pengujian kualitas air Sungai Ayung yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Bali Penida. Data yang dianalisis mencakup periode tahun 2020–2024 pada empat titik pengamatan yang berada di sepanjang aliran Sungai Ayung, mulai dari bagian tengah hingga hilir, dengan frekuensi pengambilan sampel empat kali dalam satu tahun. Data sekunder lainnya yaitu studi literatur, data curah hujan, dan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menjadi acuan regulasi baku mutu air. Sedangkan data primer diperoleh melalui observasi dan dokumentasi lapangan pada tujuh stasiun pemantauan (STA 1–STA 7) di sepanjang Sungai Ayung. Pengamatan mencakup karakteristik fisik sungai (warna, kekeruhan visual, kondisi tebing dan dasar), aktivitas masyarakat, serta identifikasi sumber pencemar potensial dari permukiman, pertanian, peternakan, dan pariwisata. Selain itu, dilakukan pemetaan kondisi anak sungai berdasarkan zonasi DAS Ayung (hulu–tengah–hilir) dan pencatatan kondisi vegetasi riparian, yang umumnya menurun dari hulu yang masih lebat menuju hilir yang didominasi struktur terbangun. Data ini digunakan untuk menggambarkan tingkat tekanan antropogenik dan variasi kondisi lingkungan dari hulu hingga hilir.

Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air diperlukan untuk menilai kesesuaian air bagi berbagai kebutuhan (domestik, industri, rekreasi, perikanan, pertanian, serta pengelolaan limbah) melalui evaluasi komponen fisik, kimia, dan biologis. Dalam penelitian ini, parameter utama mencakup TSS (fisika) serta pH, DO, BOD, dan COD (kimia). TSS merepresentasikan partikel tersuspensi yang

memengaruhi kekeruhan, transport polutan, penetrasi cahaya, dan kualitas habitat. pH menunjukkan derajat keasaman–kebasaan yang memengaruhi reaksi kimia, kelarutan logam, dan toksisitas senyawa. DO menggambarkan ketersediaan oksigen bagi biota serta proses pemurnian alami perairan. BOD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik secara biologis, sedangkan COD menggambarkan kebutuhan oksigen untuk oksidasi kimia total bahan organik dan anorganik; nilai BOD/COD yang tinggi mengindikasikan beban pencemar yang besar (Saputra, dkk., 2023).

Metode WQI *(Water Quality Index)*

Metode WQI *(Water Quality Index)* merupakan metode penilaian kualitas air permukaan yang mengagregasikan berbagai parameter menjadi satu nilai indeks sehingga lebih mudah diinterpretasikan untuk pengambilan keputusan dan komunikasi mutu air (Uddin dkk., 2021). WQI telah diterapkan luas pada air tanah dan air permukaan menggunakan standar regional; pada pengembangan awalnya bobot parameter sering ditentukan berdasarkan *expert judgment*, namun studi terkini mengarah pada pendekatan bobot berbasis data untuk meningkatkan objektivitas dan akurasi (Alfaleh dkk., 2023; Yuan dkk., 2025). Persamaan WQI menurut (Ramadhani, 2016) adalah:

$$WQI = \frac{\sum i \left(\frac{C_i}{P_{li}}\right)}{n}$$

Keterangan :
WQI : *Water Quality Index*
C_i : Konsentrasi variabel i
P_{li} : Standar baku yang diizinkan untuk variabel i
n : Jumlah variabel
Selanjutnya dilakukan analisis perbandingan dengan baku mutu air kelas II sesuai PP No. 22 Tahun 2021 untuk mengidentifikasi parameter yang melampaui standar dan parameter yang paling berkontribusi terhadap penurunan kualitas air dengan baku mutu kelas II yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Air Kelas II Sesuai PP No. 22 Tahun 2021

Parameter	Satuan	Baku Mutu Kelas II	Keterangan
pH	-	6 – 9	Tidak berlaku untuk air gambut (kondisi alaminya)
TSS (*Total Suspended Solid*)	Mg/L	50	Tidak berlaku untuk air gambut (kondisi alaminya)
BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)	Mg/L	3	-
COD (*Chemical Oxygen Demand*)	Mg/L	25	-
DO (*Dissolved Oxygen*)	Mg/L	≥ 4	Batas minimal

Untuk perhitungan sub-indeks, ditetapkan nilai ideal (V_0), yaitu kondisi terbaik yang secara teoritis dapat dicapai pada BOD, COD dan TSS = 0, pH = 7 dan D0 ≥ 4. Nilai standar $S_i$mengacu pada baku mutu kelas II; untuk pH yang memiliki rentang 6–9 digunakan batas atas 9 sebagai *upper limit* dalam perhitungan. Data kualitas air yang dianalisis merupakan hasil pemantauan pada empat stasiun (STA 1–STA 4) periode 2020–2024 dengan frekuensi empat kali per tahun (dua kali musim hujan dan dua kali musim kemarau), yang di prapengolahan melalui konsistensi satuan (BOD, COD, DO, TSS dalam mg/L; pH tanpa satuan), pengelompokan berdasarkan stasiun (s), tahun (t), dan musim (m) sehingga terbentuk kelompok $K_{s,t,hujan}$ dan $K_{s,t,kemarau}$ serta perhitungan statistik musiman berupa nilai rata-rata:

$$\bar{V}_{i,s,t,m} = \frac{1}{K_{s,t,m}} \sum_{k \in K_{s,t,m}} V_{i,s,t,k}$$

Keterangan:
$\bar{V}_{i,s,t,m}$ = nilai rata-rata parameter i di stasiun s, tahun t, musim m
$V_{i,s,t,k}$ = hasil pengukuran parameter i pada sampel ke-k
$K_{s,t,m}$ = jumlah sampel pada musim tersebut

Perhitungan sub-indeks dilakukan dengan menormalkan setiap parameter ke skala 0–100 melalui rumus:

$$Q_{i,s,t,m} = 100 \times \frac{\bar{V}_{i,s,t,m} - V_{0,i}}{S_i - V_{0,i}}$$

Keterangan:
$Q_{i,s,t,m}$: sub-indeks parameter *i* distasiun *s*, tahun *t*, musim *m*
$\overline{V}_{i,s,t,m}$: nilai rata-rata parameter *i* hasil pengukuran
S_i : nilai baku mutu parameter *i*
$V_{0,i}$: nilai ideal parameter *i*

Penentuan bobot W_i dilakukan dengan prinsip semakin kecil S_i maka semakin besar bobot karena ambang batas lebih ketat, melalui langkah:
Hitung konstanta *K* :

$$K = \frac{1}{\sum i \left(\frac{1}{S_i}\right)}$$

Hitung bobot tiap parameter:

$$W_i = \frac{K}{S_i}$$

Keterangan:
S_i : baku mutu parameter *i* (misalnya BOD = 3 mg/L, TSS = 50 mg/L)
K : konstanta normalisasi, sehingga total bobot jadi 1
W_i : bobot parameter *i*

Dengan metode ini, parameter BOD dan DO memperoleh bobot relatif lebih besar karena baku mutunya ketat, sedangkan COD dan TSS memperoleh bobot lebih kecil, sementara pH berada pada posisi menengah. Asumsi penggunaan bobot yaitu BOD merupakan indikator pencemar organik yang sangat penting dengan ambang batas 3 mg/L dan bobot besar. DO juga sangat penting karena menunjukkan ketersediaan oksigen bagi biota, dengan ambang batas 4 mg/L dan bobot besar. pH tergolong penting namun relatif stabil sehingga memiliki bobot menengah. COD memiliki ambang batas lebih longgar sebesar 25 mg/L dengan bobot lebih kecil, sedangkan TSS merupakan parameter paling longgar dengan ambang batas 50 mg/L dan bobot paling kecil.

Perhitungan indeks kualitas air dilakukan dengan:

$$WQI_{s,t,m} = \frac{\sum iQ_{i,s,t,m} \times W_i}{\sum i\, W_i}$$

Karena bobot dinormalisasi ($\sum_i W_i = 1$), maka persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$WQI_{s,t,m} = \sum iQ_{i,s,t,m} \times W_i$$

Keterangan:
$WQI_{s,t,m}$: nilai indeks kualitas air distasiun *s*, tahun *t*, musim *m*
$Q_{i,s,t,m}$: sub-indeks parameter *i*
W_i : bobot parameter *i*

Agregasi hasil dilakukan menjadi WQI musiman per tahun pada tiap stasiun dengan:

$$WQI_{s,t,m} = \sum iQ_{i,s,t,m} \times W_i$$

Keterangan:
$WQI_{s,t,m}$: nilai indeks kualitas air di stasiun *s*, tahun *t*, musim *m*
$Q_{i,s,t,m}$: sub-indeks parameter i
W_i : bobot parameter i

WQI tahunan sebagai rata-rata musim hujan dan kemarau:

$$WQI_{s,t\ (tahunan)} = \frac{WQI_{s,t,hujan} + WQI_{s,t,kemarau}}{2}$$

Keterangan :
$WQI_{s,t\ (tahunan)}$: indeks kualitas air tahunan pada stasiun *s*, tahun *t*
$WQI_{s,t,hujan}$: nilai WQI pada musim hujan pada stasiun *s*, tahun *t*
$WQI_{s,t,kemarau}$: nilai WQI musim kemarau pada stasiun *s,* tahun *t*

WQI lima tahunan untuk mengidentifikasi tren jangka panjang:

$$WQI_{S\ (5th)} = \frac{1}{n} \sum_{t=2020}^{2024} WQI_{s,t(tahunan)}$$

Keterangan:
$WQI_{s(5th)}$: indeks kualitas air rata-rata lima tahun di stasiun *s*
$WQI_{s,t(tahunan)}$: nilai WQI tahunan di stasiun *s,*tahun *t*
n : jumlah tahun pengamatan

WQI spasial sebagai rata-rata seluruh stasiun pada tahun dan musim tertentu:

$$WQI_{t,m\ (spasial)} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^{n} WQI_{s,t,m}$$

Keterangan:
$WQI_{t,m(spasial)}$: indeks kualitas air spasial pada tahun *t* dan musim *m*
n : jumlah stasiun pengamatan (dalam penelitian ini $n = 4$)
$WQI_{s,t,m}$: nilai WQI di stasiun *s,* tahun *t,* musim *m*

Kualitas air hasil perhitungan dinilai berdasarkan klasifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kualifikasi Kualitas Air

WQI	Penilaian Kualitas Air	Kelas
0 – 25	Sangat Baik	A
26 – 50	Baik	B
51 – 75	Buruk	C
76 – 100	Sangat Buruk	D
> 100	Tidak Layak	E

Sumber: (Tyagi dkk., 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

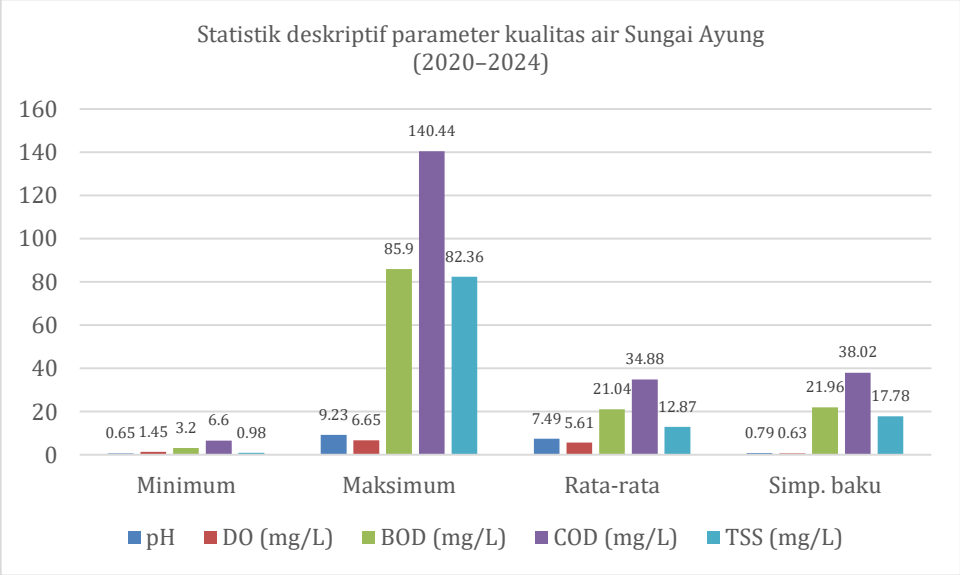
Deskripsi Data Kualitas Air dan Pengolahan Awal

Data kualitas air Sungai Ayung yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan data sekunder hasil pemantauan Balai Wilayah Sungai (BWS) Bali–Penida pada periode 2020–2024. Parameter yang digunakan meliputi pH, *Dissolved Oxygen* (DO), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS), yang diukur pada tujuh stasiun pemantauan (STA 1–STA 7) dengan cakupan segmen hulu hingga hilir sungai. Selama lima tahun pengamatan, jumlah data yang dianalisis sebanyak 140 sampel, dengan distribusi temporal yang seimbang, yaitu masing-masing 28 sampel per tahun, sehingga representatif untuk menggambarkan variasi kualitas air antarwaktu.

Secara spasial, setiap stasiun memiliki jumlah sampel yang sama (20 sampel), sehingga seluruh segmen Sungai Ayung terwakili secara proporsional dalam analisis. Dari sisi musiman, data terbagi menjadi 77 sampel pada musim hujan (±55%) dan 63 sampel pada musim kemarau (±45%). Perbedaan jumlah sampel antar musim relatif kecil, sehingga perbandingan kualitas air berdasarkan musim tetap dapat dilakukan secara seimbang dan objektif.

Pengolahan awal data diawali dengan *data cleaning* untuk memastikan konsistensi satuan, kelengkapan data, dan mengidentifikasi nilai ekstrem. Statistik deskriptif menunjukkan bahwa nilai pH Sungai Ayung relatif stabil dengan rata-rata 7,49 dan simpangan baku 0,79, yang mengindikasikan kondisi perairan cenderung netral hingga sedikit basa. Nilai DO rata-rata sebesar 5,61 mg/L masih berada di atas batas minimal baku mutu air kelas II, meskipun pada beberapa lokasi dan waktu tertentu ditemukan nilai DO yang sangat rendah, mengindikasikan tekanan pencemaran organik yang tinggi.

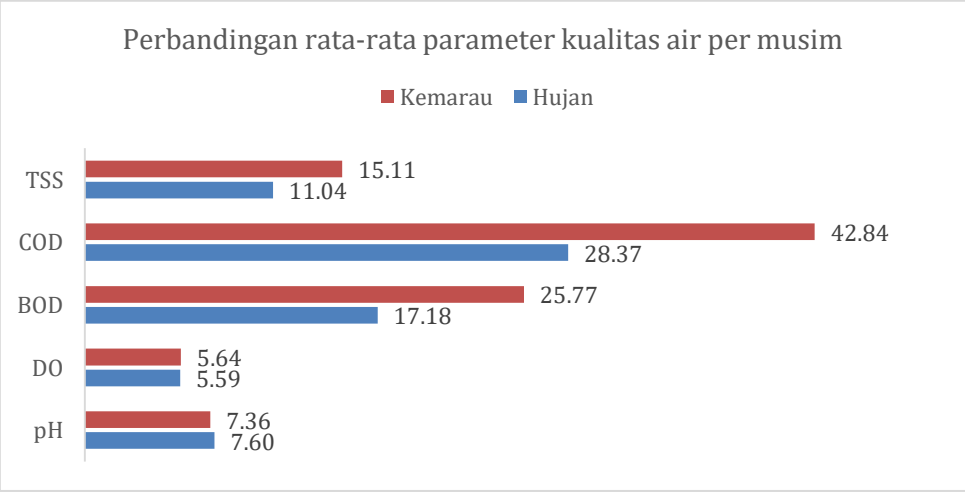
Sebaliknya, parameter BOD dan COD menunjukkan variasi yang sangat besar, dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 21,04 mg/L dan 34,88 mg/L serta simpangan baku yang tinggi. Kondisi ini mengindikasikan adanya beban pencemar organik yang signifikan dan bersifat kronis di sepanjang Sungai Ayung. Nilai TSS juga menunjukkan fluktuasi yang lebar, mencerminkan pengaruh limpasan permukaan, terutama pada musim hujan, serta aktivitas antropogenik di daerah tangkapan sungai bagian tengah dan hilir.



Gambar 2. Grafik Statistik Deskriptif Parameter Kualitas Air Sungai Ayung (2020–2024)

Grafik statistik deskriptif pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa BOD, COD, dan TSS merupakan parameter dengan rentang nilai dan variabilitas tertinggi, sehingga berpotensi menjadi faktor dominan dalam penentuan nilai WQI *(Water Quality Index)*. Sementara itu, pH dan DO cenderung lebih stabil dan berperan sebagai parameter pendukung yang menjelaskan kondisi hidrologis dan ekologis perairan.

Analisis awal berdasarkan pengelompokan musim menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kualitas air antara musim hujan dan musim kemarau. Pada musim hujan, nilai rata-rata BOD, COD, dan TSS relatif lebih rendah akibat peningkatan debit sungai yang memperbesar kapasitas pengenceran. Sebaliknya, pada musim kemarau, penurunan debit menyebabkan konsentrasi bahan organik dan padatan tersuspensi meningkat, tercermin dari kenaikan nilai BOD, COD, dan TSS, sementara pH dan DO relatif tidak mengalami perubahan signifikan.



Gambar 3. Perbandingan Rata-rata Parameter Kualitas Air per Musim

Gambar 3 menunjukkan bahwa BOD, COD, dan TSS secara konsisten lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan, yang mengindikasikan berkurangnya kapasitas asimilasi sungai pada kondisi debit rendah. Pola ini menegaskan bahwa pencemaran organik di Sungai Ayung

tidak hanya dipengaruhi oleh variasi spasial antar segmen sungai, tetapi juga oleh dinamika musiman, sehingga perlu dipertimbangkan dalam analisis lanjutan menggunakan metode WQI.

Hasil Perhitungan WQI (Water Quality Index)

Hasil utama perhitungan WQI *(Water Quality Index)* Sungai Ayung berdasarkan lima parameter yang dilakukan untuk setiap titik pengamatan menggunakan bobot tiap parameter diturunkan dari nilai baku mutu kelas II (S_i) dengan pendekatan $W_i = \frac{K}{S_i}$, sehingga parameter dengan baku mutu lebih ketat memperoleh bobot lebih besar. Hasil perhitungan Wi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Bobot Parameter Dalam Perhitungan WQI

Parameter	Nilai Ideal (V0) (mg/L)	Baku Mutu Kelas II (Si) (mg/L)	Sifat Batas	1/Si	K	Bobot (Wi)
pH	7	9	Rentang (min-max)	0,1111	1,3255	0,1473
TSS	0	50	Maksimum	0,0200	1,3255	0,0265
BOD	0	3	Maksimum	0,3333	1,3255	0,4418
COD	0	25	Maksimum	0,0400	1,3255	0,0530
DO	≥ 4	4	Minimum	0,2500	1,3255	0,3314

Tabel 4 menunjukkan bobot terbesar terdapat pada BOD (44,2%) dan DO (33,1%) karena baku mutunya paling ketat (BOD 3 mg/L; DO ≥ 4 mg/L), sehingga perubahan kecil keduanya paling memengaruhi nilai WQI. Selanjutnya perhitungan Qi (sub-indeks) untuk seluruh sampel menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Qi\ pH, TSS, BOD, COD = 100 \times \frac{\overline{V}_{i,s,t,m} - V_{0,i}}{S_i - V_{0,i}}$$

Karena DO memiliki baku mutu minimum, rumusnya berbeda:

$$Q_DO = \begin{cases} 0, & jika\ DO \geq 4 \\ 100 \times \frac{4 - DO}{4}, & jika\ DO < 4 \end{cases}$$

Berdasarkan keseluruhan hasil perhitungan nilai sub-indeks Qi untuk setiap parameter kemudian direkapitulasi dalam bentuk statistik deskriptif berupa nilai minimum, maksimum, dan rata-rata. Ringkasan sub-indeks Qi tiap parameter tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Sub-indeks (Qi) Tiap Parameter

Parameter	Qi minimum	Qi maksimum	Qi rata-rata
pH	0,00	100,00	29,11
TSS	1,96	100,00	24,45
BOD	100,00	100,00	100,00
COD	26,40	100,00	56,22
DO	0,00	63,75	0,75

Tabel 5 menunjukkan bahwa BOD merupakan parameter pengendali utama mutu air Sungai Ayung. Nilai Q_BOD tercatat 100 pada seluruh sampel dan, setelah dikalikan dengan bobotnya, menyumbang sekitar 84% terhadap nilai WQI. Sebaliknya, Q_DO memiliki rata-rata hanya 0,75 dan pada mayoritas sampel bernilai 0, sehingga kontribusi DO terhadap WQI kurang dari 1% meskipun bobotnya relatif besar. Parameter lain memberikan kontribusi yang jauh lebih kecil: pH memiliki Qi rata-rata 29,11 dan menyumbang sekitar 8% WQI, TSS memiliki Qi rata-rata 24,45 dengan kontribusi sekitar 1%, sedangkan COD dengan Qi rata-rata 56,22 menyumbang sekitar 6%. Susunan kontribusi 84% (BOD), 8% (pH), 6% (COD), 1% (TSS), dan <1% (DO) menegaskan bahwa kualitas air Sungai Ayung terutama dikendalikan oleh beban pencemar organik, sementara pH, TSS, dan DO lebih berperan sebagai parameter pendukung yang menjelaskan kondisi lingkungan perairan.

Perhitungan indeks WQI dilakukan untuk seluruh 140 kombinasi stasiun–waktu pengamatan selama periode 2020–2024. Mengingat keterbatasan ruang, pada bagian ini hanya ditampilkan

sebagian hasil perhitungan untuk tahun 2020 serta rentang kelas di mana penafsiran nilai WQI mengacu pada klasifikasi pada Tabel 3.

Dari 140 titik pengamatan, 32 titik (22,9%) berada pada kelas Baik (B), 107 titik (76,4%) pada kelas Buruk (C), dan 1 titik (0,7%) pada kelas Sangat Buruk (D), sehingga mutu air Sungai Ayung secara dominan berada pada kelas "Buruk (C)". Nilai WQI berada pada rentang 47,17–75,06 dengan rata-rata 51,46; mutu terbaik tercatat di STA 3 pengambilan 10 Mei 2021 (WQI 47,17; kategori Baik) dan mutu terburuk di STA 7 pengambilan 2 November 2020 (WQI 75,06; kategori Sangat Buruk), yang ditandai terutama oleh DO sangat rendah (1,45 mg/L) dan BOD melampaui baku mutu.

Tabel 6. Klasifikasi Penilaian Kualitas Air Tahun 2020

Stasiun	Tahun	Bulan	Tanggal	Musim	WQI	Klasifikasi WQI
1 STA 1	2020	4	23	Hujan	50,84	Buruk (C)
1 STA 2	2020	4	23	Hujan	50,84	Buruk (C)
1 STA 3	2020	4	23	Hujan	52,34	Buruk (C)
1 STA 4	2020	4	23	Hujan	51,61	Buruk (C)
1 STA 5	2020	4	23	Hujan	50,86	Buruk (C)
1 STA 6	2020	4	23	Hujan	51,60	Buruk (C)
1 STA 7	2020	4	23	Hujan	51,61	Buruk (C)
2 STA 1	2020	7	1	Kemarau	51,62	Buruk (C)
2 STA 2	2020	7	1	Kemarau	51,62	Buruk (C)
2 STA 3	2020	7	1	Kemarau	51,63	Buruk (C)
2 STA 4	2020	7	1	Kemarau	51,63	Buruk (C)
2 STA 5	2020	7	1	Kemarau	51,63	Buruk (C)
2 STA 6	2020	7	1	Kemarau	51,63	Buruk (C)
2 STA 7	2020	7	1	Kemarau	51,63	Buruk (C)
3 STA 1	2020	8	18	Kemarau	50,11	Buruk (C)
3 STA 2	2020	8	18	Kemarau	50,11	Buruk (C)
3 STA 3	2020	8	18	Kemarau	50,10	Buruk (C)
3 STA 4	2020	8	18	Kemarau	51,58	Buruk (C)
3 STA 5	2020	8	18	Kemarau	50,07	Buruk (C)
3 STA 6	2020	8	18	Kemarau	51,53	Buruk (C)
3 STA 7	2020	8	18	Kemarau	51,53	Buruk (C)
4 STA 1	2020	11	2	Hujan	60,39	Buruk (C)
4 STA 2	2020	11	2	Hujan	55,21	Buruk (C)
4 STA 3	2020	11	2	Hujan	56,27	Buruk (C)
4 STA 4	2020	11	2	Hujan	48,78	Baik (B)
4 STA 5	2020	11	2	Hujan	53,91	Buruk (C)
4 STA 6	2020	11	2	Hujan	54,51	Buruk (C)
4 STA 7	2020	11	2	Hujan	75,06	Sangat Buruk (D)

Secara metodologis, dominasi kelas "Buruk" dipengaruhi BOD yang konsisten tinggi (Qi_BOD = 100) dengan bobot terbesar (±44,2%), sehingga WQI cenderung tinggi meskipun parameter lain relatif baik; penurunan DO di bawah 4 mg/L pada waktu/lokasi tertentu menjadi pemicu utama lonjakan WQI ke kelas "Sangat Buruk". Rata-rata WQI tertinggi pada STA 7 menegaskan bahwa segmen hilir merupakan bagian paling tertekan oleh beban pencemar organik dan episode defisit oksigen, sehingga berimplikasi pada meningkatnya risiko stres biota dan kebutuhan pengolahan serta pengendalian beban pencemar yang lebih ketat.

Analisis Variasi Temporal

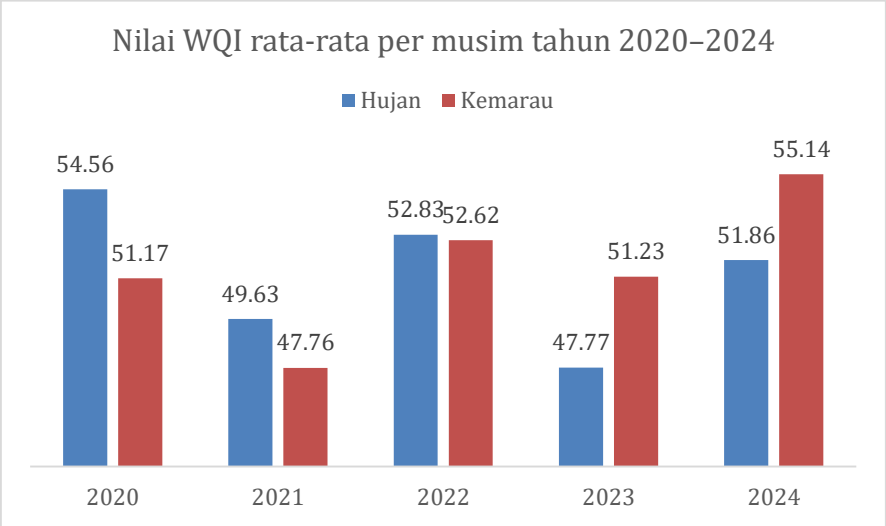
Perubahan nilai WQI (*Water Quality Index*) Sungai Ayung dianalisis secara temporal meliputi variasi musiman (hujan–kemarau), tahunan (2020–2024), dan tren rata-rata lima tahunan. Analisis ini bertujuan menilai dinamika kualitas air dalam kaitannya dengan pola hidrologi serta tekanan aktivitas manusia di DAS.

1. Variasi Musim Hujan dan Musim Kemarau

Untuk menilai pengaruh kondisi hidrologi terhadap mutu air, nilai WQI tiap tahun dirata-ratakan menurut musim hujan dan kemarau dari seluruh titik pengamatan pada tujuh stasiun, kemudian direkap selama 2020–2024 yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Gambar 4.

Tabel 7. Nilai WQI Rata-rata per Musim Tahun 2020–2024

Tahun	Musim	Rata-rata WQI	Klasifikasi WQI
2020	Hujan	54,56	Buruk (C)
2020	Kemarau	51,17	Buruk (C)
2021	Hujan	49,63	Baik (B)
2021	Kemarau	47,76	Baik (B)
2022	Hujan	52,83	Buruk (C)
2022	Kemarau	52,62	Buruk (C)
2023	Hujan	47,77	Baik (B)
2023	Kemarau	51,23	Buruk (C)
2024	Hujan	51,86	Buruk (C)
2024	Kemarau	55,14	Buruk (C)



Gambar 4. Nilai WQI Rata-rata per Musim Tahun 2020–2024

Pola musiman menunjukkan fluktuasi antar tahun tanpa kecenderungan bahwa satu musim selalu lebih buruk: tahun 2020 WQI hujan 54,56 lebih tinggi daripada kemarau 51,17; tahun 2021 hujan 49,63 dan kemarau 47,76 (keduanya Baik/B); tahun 2022 hampir sama (hujan 52,83; kemarau 52,62; Buruk/C); sedangkan 2023–2024 berbalik, kemarau lebih buruk (2023: hujan 47,77 Baik/B; kemarau 51,23 Buruk/C; 2024: kemarau 55,14 lebih tinggi dari hujan 51,86). Selisih antarmusim umumnya kecil, sehingga perubahan lebih berupa naik–turun tahunan.

Secara proses, musim hujan pada beberapa tahun meningkatkan WQI melalui limpasan yang membawa sedimen dan bahan organik (TSS, BOD, COD) serta menekan DO, sementara pada tahun lain musim kemarau lebih buruk karena debit rendah menurunkan pengenceran, meningkatkan konsentrasi BOD/COD, dan memudahkan penurunan DO akibat re-aerasi yang lebih kecil. Rata-rata periode 2020–2024 menunjukkan WQI hujan 51,33 dan kemarau 51,58 (keduanya Buruk/C) dengan selisih hanya 0,25, yang menandakan pengaruh musim ada tetapi tidak dominan; mutu air lebih ditentukan oleh beban pencemar organik yang bersifat kronis dari aktivitas domestik, pariwisata, dan urbanisasi.

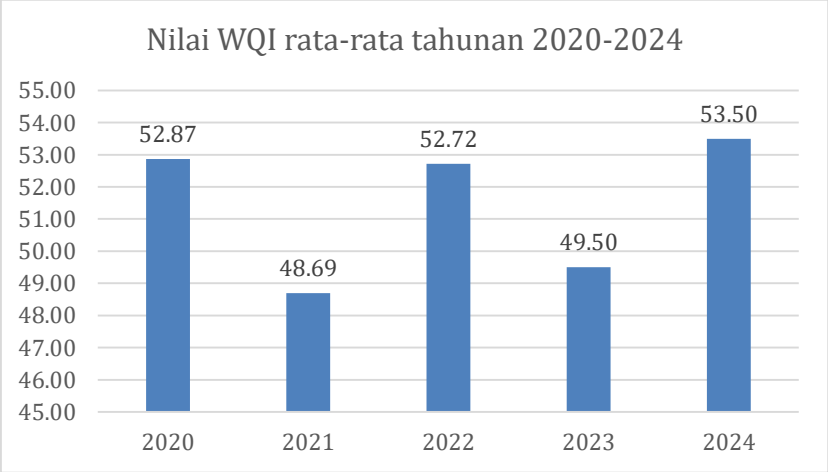
2. Variasi Tahunan

Variasi tahunan kualitas air Sungai Ayung dianalisis menggunakan nilai WQI rata-rata tahunan yang diperoleh dari penggabungan seluruh pengamatan pada tujuh stasiun selama periode 2020–2024 yang ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 5. Pendekatan ini memberikan gambaran

kondisi kualitas air pada skala tahunan tanpa dipengaruhi variasi musiman. Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa nilai WQI tahunan berfluktuasi tanpa kecenderungan perbaikan atau penurunan yang konsisten. Nilai WQI berturut-turut adalah 52,87 (2020; Buruk/C), 48,69 (2021; Baik/B), 52,72 (2022; Buruk/C), 49,50 (2023; Baik/B), dan 53,50 (2024; Buruk/C). Dengan demikian, kualitas air berosilasi di sekitar batas antara kelas Baik (B) dan Buruk (C), dengan 2021 dan 2023 sebagai tahun dengan kondisi relatif terbaik, sementara 2024 merupakan tahun dengan tingkat pencemaran tertinggi.

Tabel 8. Nilai WQI Rata-rata Tahunan 2020-2024

Tahun	Rata-rata WQI	Klasifikasi WQI
2020	52,87	Buruk (C)
2021	48,69	Baik (B)
2022	52,72	Buruk (C)
2023	49,50	Baik (B)
2024	53,50	Buruk (C)



Gambar 5. Nilai WQI Rata-rata Tahunan 2020-2024

Fluktuasi tahunan kualitas air Sungai Ayung terutama dipengaruhi oleh kombinasi kondisi hidrologi dan tekanan aktivitas manusia. Tahun dengan debit sungai yang lebih tinggi cenderung menunjukkan kualitas air yang lebih baik akibat meningkatnya daya pengenceran, sehingga konsentrasi BOD dan COD menurun dan DO lebih terjaga. Sebaliknya, pada tahun-tahun dengan debit rendah, khususnya pada musim kemarau, terjadi peningkatan pencemar organik dan penurunan DO yang berdampak pada kenaikan nilai WQI.

Selain faktor hidrologi, intensifikasi aktivitas domestik dan pariwisata, terutama di koridor wisata Ubud dan kawasan permukiman padat setelah pelonggaran pembatasan pasca pandemi, turut meningkatkan beban pencemar. Kejadian hujan lebat pada tahun tertentu juga berkontribusi melalui peningkatan TSS, limpasan pertanian, dan sedimentasi. Secara keseluruhan, kondisi ini menyebabkan kualitas air Sungai Ayung bersifat fluktuatif dan tidak stabil dengan beban pencemar yang relatif persisten; meskipun terjadi perbaikan sementara pada 2021 dan 2023, tidak terbentuk tren perbaikan jangka panjang, dan kondisi terburuk pada 2024 menegaskan perlunya pengendalian beban pencemar organik secara berkelanjutan sebagai fokus utama pengelolaan kualitas air Sungai Ayung.

3. Variasi Lima Tahunan

Nilai WQI yang diagregasi untuk seluruh stasiun selama periode 2020–2024 menunjukkan rata-rata 51,46, yang termasuk kategori Buruk (C) yang ditunjukkan pada Tabel 9. Hasil ini mengindikasikan bahwa kualitas air Sungai Ayung selama lima tahun pengamatan berada pada kondisi tercemar sedang dan tidak pernah mencapai kategori Baik (B) secara konsisten, mencerminkan tekanan pencemar yang bersifat menetap dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut terutama dipicu oleh beban pencemar organik yang persisten, ditunjukkan oleh seluruh sampel BOD (100%) yang melampaui baku mutu 3 mg/L dan sekitar 40% sampel COD yang melebihi 25 mg/L, yang mengindikasikan masukan limbah domestik dan pariwisata secara kontinu. Pada

kondisi debit rendah, DO di beberapa lokasi turun di bawah 4 mg/L, menandakan keterbatasan kapasitas asimilasi sungai, sementara pada musim hujan dan tahun dengan curah hujan tinggi terjadi peningkatan TSS, terutama di segmen tengah–hilir. Tekanan ini diperkuat oleh kepadatan aktivitas manusia di kawasan tersebut, termasuk permukiman, pariwisata, pertanian, dan drainase perkotaan.

Tabel 9. Ringkasan WQI Lima Tahunan Sungai Ayung

Periode	Rata-rata WQI (Semua Tahun)	Klasifikasi WQI
2020–2024	51	Buruk (C)

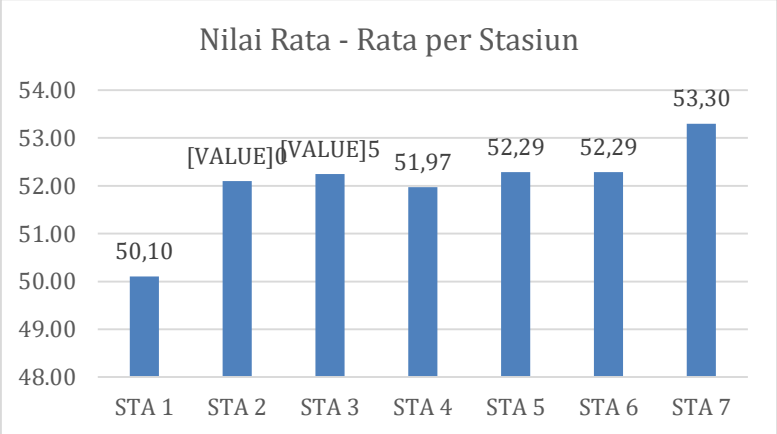
Perbandingan WQI tahunan menunjukkan bahwa 2020, 2022, dan 2024 berada pada kategori Buruk (C), sedangkan 2021 dan 2023 sempat membaik ke kategori Baik (B). Pola ini mencerminkan fluktuasi sementara akibat perubahan tekanan aktivitas dan debit sungai, bukan tren perbaikan jangka panjang. Secara keseluruhan, klasifikasi lima tahunan menegaskan bahwa kualitas air Sungai Ayung belum layak untuk pemanfaatan yang mensyaratkan kualitas tinggi tanpa pengolahan lanjutan, meskipun masih dapat dimanfaatkan secara terbatas seperti untuk irigasi. Temuan ini menekankan bahwa pencemaran Sungai Ayung didominasi oleh beban organik, bersifat persisten terutama di segmen tengah–hilir, dan memerlukan pengendalian limbah domestik serta pariwisata, perbaikan sanitasi dan drainase, sebagai fokus utama pengelolaan kualitas air.

Analisis Variasi Spasial Antar Stasiun

Analisis variasi spasial dilakukan untuk mengetahui sejauh mana mutu air berbeda antar stasiun pemantauan di sepanjang Sungai Ayung. Pada tahap ini, nilai WQI dihitung untuk setiap kombinasi tahun–stasiun selama periode 2020–2024, sehingga masing-masing stasiun (STA 1–STA 7) merepresentasikan segmen hulu, tengah, dan hilir sesuai posisi memanjang sungai. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi bagian sungai yang relatif masih memiliki kualitas lebih baik maupun segmen yang paling tertekan oleh beban pencemar. Ringkasan nilai WQI rata-rata lima tahunan per stasiun disajikan pada Tabel 10 dan Gambar 6.

Tabel 10. Nilai WQI Rata-rata per Stasiun (2020–2024)

Stasiun	Rata-rata WQI	Klasifikasi WQI
STA 1	50,10	Buruk (C)
STA 2	52,10	Buruk (C)
STA 3	52,25	Buruk (C)
STA 4	51,97	Buruk (C)
STA 5	52,29	Buruk (C)
STA 6	52,29	Buruk (C)
STA 7	53,30	Buruk (C)



Gambar 6. Nilai WQI rata-rata per stasiun (2020–2024)

Secara kategoris, STA 1 berada tepat di batas antara kelas Baik (B) dan Buruk (C), sedangkan seluruh stasiun lainnya berada pada kategori Buruk (C). Urutan kualitas dari yang terbaik hingga terburuk adalah STA 1 → STA 4 → STA 2 → STA 3 → STA 5 → STA 6 → STA 7, dengan STA 7 sebagai stasiun paling tercemar. Temuan ini menunjukkan bahwa hanya segmen hulu teratas yang

masih memiliki mutu air relatif lebih baik, sementara sebagian besar stasiun lain sudah berada pada tingkat pencemaran sedang.

Pola spasial yang terbentuk tidak sepenuhnya linier dari hulu ke hilir. Hulu (STA 1) secara konsisten memiliki nilai WQI paling rendah (kualitas terbaik), dan hilir (STA 7) memiliki nilai WQI paling tinggi (kualitas terburuk), sehingga mencerminkan akumulasi beban pencemar dari seluruh DAS. Namun, stasiun-stasiun di zona tengah (STA 2, STA 3, dan STA 4) memiliki nilai WQI yang sangat berdekatan, sekitar 52, tanpa tren jelas meningkat atau menurun. Dengan kata lain, kualitas air di bagian tengah sungai bersifat fluktuatif dalam rentang yang sempit, bukan menunjukkan pola "semakin ke hilir semakin buruk" secara halus.

Ketidakteraturan pola di zona tengah berkaitan dengan keragaman aktivitas di masing-masing stasiun. STA 2 (wilayah Payangan) didominasi pertanian terasering dan sistem subak, sehingga tekanan utama berasal dari limpasan pupuk dan sedimen. STA 3 (Ubud tengah) berada di kawasan pariwisata yang padat, terpengaruh limbah domestik dan *greywater* dari hotel, vila, dan restoran. STA 4 (sekitar Mambal) merupakan area transisi dengan peningkatan permukiman dan keberadaan intake PDAM, sehingga sebagian beban pencemar dapat tereduksi melalui pengaturan teknis dan operasional. Kompleksitas kombinasi pertanian, pariwisata, dan permukiman di tiga stasiun ini menjelaskan mengapa nilai WQI di zona tengah naik–turun tetapi tetap berada dalam kelas Buruk (C).

Secara keseluruhan, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Ayung tidak mengikuti gradien linear dari hulu ke hilir. Hulu relatif paling bersih, zona tengah menunjukkan kualitas yang fluktuatif namun seragam pada kategori Buruk (C), dan hilir merupakan bagian paling tercemar akibat akumulasi limbah dari seluruh DAS, permukiman padat, aktivitas pariwisata, dan drainase perkotaan. Pola yang paling tepat untuk menggambarkan kondisi ini adalah: hulu lebih baik, tengah fluktuatif, dan hilir paling buruk.

Sintesis Spasial–Temporal Kualitas Air

Secara spasial–temporal, kualitas air Sungai Ayung selama periode 2020–2024 secara umum berada pada kategori Buruk (C). Nilai WQI per pengamatan berkisar antara 47,17–75,06 dengan rata-rata lima tahunan 51,46, di mana sebagian besar sampel terkonsentrasi pada rentang 50–55, hanya sebagian kecil masuk kategori Baik (B), dan satu kejadian mencapai Sangat Buruk (D). Pola ini menunjukkan bahwa pencemaran, khususnya pencemar organik, bersifat kronis, sementara variasi musim dan tahun tidak cukup besar untuk mendorong perbaikan mutu air secara berkelanjutan.

Secara spasial, segmen hulu (STA 1) memiliki kualitas relatif terbaik dengan WQI rata-rata sekitar 50,10 (batas Baik–Buruk), sedangkan segmen tengah (STA 2–STA 4) menunjukkan kualitas yang konsisten buruk dengan WQI sekitar 52,0–52,3, mencerminkan pengaruh aktivitas pertanian, permukiman, dan pariwisata. Segmen hilir (STA 5–STA 7) merupakan bagian paling tercemar, dengan STA 7 sebagai stasiun terburuk (WQI rata-rata 53,30). Pola spasial yang terbentuk adalah hulu relatif lebih baik – tengah fluktuatif – hilir paling buruk. Secara temporal, WQI tahunan berfluktuasi tanpa tren perbaikan jangka panjang, dengan tahun 2020, 2022, dan 2024 berada pada kategori Buruk (C), sementara 2021 dan 2023 sempat membaik ke kategori Baik (B). Pada skala musiman, WQI musim hujan (±51,33) dan kemarau (±51,58) sama-sama berada pada kategori Buruk (C), menunjukkan bahwa musim bukan faktor penentu tunggal, meskipun kombinasi hilir–musim hujan cenderung menghasilkan kondisi terburuk.

Integrasi spasial–temporal mengidentifikasi kondisi terbaik pada STA 3 (10 Mei 2021) dengan WQI 47,17 (Baik/B), serta kondisi terburuk pada STA 7 (2 November 2020) dengan WQI 75,06 (Sangat Buruk/D), yang ditandai oleh BOD sangat tinggi, peningkatan COD dan TSS, serta DO rendah (~1,45 mg/L). Secara keseluruhan, sintesis ini menegaskan bahwa Sungai Ayung mengalami pencemaran organik kronis, dengan tekanan tertinggi di segmen hilir, sehingga pengendalian beban limbah domestik dan pariwisata, terutama pada periode dan lokasi kritis, menjadi prioritas utama pengelolaan kualitas air sungai.

Rekomendasi Penanganan Pencemaran dan Pengelolaan Sungai

Secara musiman, pengelolaan Sungai Ayung perlu dibedakan karena musim hujan cenderung meningkatkan TSS melalui limpasan dan erosi, sedangkan musim kemarau memperkuat konsentrasi BOD atau COD dan memicu penurunan DO terutama di segmen hilir akibat debit rendah. Pada musim hujan, fokus tindakan diarahkan pada pengendalian sedimen melalui pembangunan *check dam*/kolam pengendap/sumur resapan di saluran masuk, pembersihan drainase dan bak lumpur, rehabilitasi vegetasi penutup tanah dan riparian, serta pembatasan pekerjaan tanah saat curah hujan puncak, disertai SOP desa atau banjar, edukasi pelaku lahan, dan peringatan dini berbasis prakiraan hujan. Pada musim kemarau, prioritasnya menekan beban organik dengan optimalisasi IPAL komunal dan IPAL usaha wisata, program sedot *septic tank* berkala, pengurangan dan pemanfaatan ulang *greywater*, serta peningkatan aerasi lokal bila memungkinkan, didukung kampanye hemat air dan pengurangan deterjen, pembatasan aktivitas cuci saat debit sangat rendah, dan pemantauan komunitas hilir sebagai indikator dini DO rendah.

Secara spasial, zona hulu (STA 1–2) dipertahankan melalui konservasi riparian, pertanian ramah lingkungan, *septic tank* kedap, serta resapan, dengan dukungan edukasi dan aturan lokal; zona tengah (STA 3–4) memerlukan pengendalian limbah pariwisata dan *greywater* lewat IPAL, *grease trap*, penataan drainase, dan standar operasional usaha; sedangkan zona hilir (STA 5–7) diprioritaskan untuk penataan drainase kota, penguatan IPAL komunal, pemasangan saringan sampah dan perangkap sedimen, rehabilitasi bantaran, serta penguatan pengawasan dan sanksi.

Sementara berdasarkan parameter dominan, intervensi utama diarahkan pada penurunan BOD dan COD (IPAL, *septic tank* kedap, pengelolaan limbah dapur atau *greywater*), pengendalian TSS (konservasi lahan dan bak pengendap), pemulihan DO melalui pengurangan beban organik dan dukungan reaerasi alami, serta pemantauan pH untuk mencegah gangguan akibat limbah kimia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kualitas air Sungai Ayung menggunakan metode WQI (*Water Quality Index*) pada periode 2020–2024, yang mencakup variasi temporal dan spasial, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada skala musiman, kualitas air Sungai Ayung baik pada musim hujan maupun musim kemarau secara umum berada pada kategori Buruk (C). Perbedaan mutu air antarmusim relatif kecil, menunjukkan bahwa musim bukan faktor penentu tunggal, meskipun musim hujan cenderung berkaitan dengan peningkatan beban padatan tersuspensi akibat limpasan dan erosi, sedangkan musim kemarau memperkuat konsentrasi pencemar organik dan penurunan oksigen terlarut akibat debit sungai yang rendah.
2. Secara tahunan, kualitas air Sungai Ayung menunjukkan pola fluktuatif tanpa adanya kecenderungan perbaikan atau penurunan yang konsisten. Pada beberapa tahun tertentu kualitas air sempat membaik, namun perbaikan tersebut bersifat sementara dan tidak berlanjut pada tahun-tahun berikutnya, sehingga tidak terbentuk tren pemulihan mutu air jangka panjang.
3. Berdasarkan evaluasi lima tahunan, status mutu air Sungai Ayung secara keseluruhan tetap berada pada kategori Buruk (C). Kondisi ini mencerminkan bahwa tekanan pencemar bekerja secara persisten dan kronis dari tahun ke tahun, dan variasi hidrologi alami tidak cukup untuk meningkatkan kualitas air tanpa adanya intervensi pengelolaan yang berkelanjutan.
4. Secara spasial, kualitas air Sungai Ayung menunjukkan perbedaan yang jelas antar segmen, dengan hulu memiliki kualitas relatif lebih baik, zona tengah bersifat fluktuatif namun konsisten berada pada kategori Buruk, dan hilir sebagai segmen paling tertekan akibat akumulasi beban pencemar dari seluruh daerah aliran sungai. Pola ini menegaskan bahwa pencemaran meningkat ke arah hilir dan menjadikan segmen tengah–hilir sebagai wilayah prioritas dalam upaya pengendalian pencemaran.
5. Parameter pencemar yang paling berpengaruh terhadap penurunan kualitas air Sungai Ayung adalah pencemar organik, khususnya yang tercermin pada tingginya beban BOD dan COD. Selain itu, peningkatan TSS terutama terjadi pada musim hujan, sementara penurunan DO dijumpai pada kondisi debit rendah dan di segmen tertentu sungai. Temuan ini menunjukkan

keterbatasan kapasitas asimilasi sungai dalam merespons beban pencemar yang masuk secara terus-menerus.

6. Penanganan pencemaran Sungai Ayung perlu dilakukan secara terintegrasi dan adaptif, dengan membedakan strategi antara musim hujan dan kemarau serta menyesuaikan karakteristik spasial tiap segmen sungai. Fokus pengelolaan diarahkan pada pengendalian sedimen dan limpasan pada musim hujan, serta pengurangan beban pencemar organik melalui peningkatan sanitasi, pengolahan limbah domestik dan pariwisata, dan pengelolaan *greywater* pada musim kemarau. Secara spasial, perlindungan zona hulu, pengendalian limbah di zona tengah, dan penanganan intensif di segmen hilir menjadi kunci utama dalam upaya peningkatan kualitas air Sungai Ayung secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Agustin, Y. S. (2024). Analisis Kualitas Air serta Status Mutu dengan Metode Indeks Pencemaran (IP) di Anak Sungai Gajah Putih Studi Kasus RT 02 RW 07 Kelurahan Sumber, Surakarta. *Jurnal Ekosains*, 16(1), 1-7.

Alfaleh, A., Ben Khedher, N., & Alviz-Meza, A. (2023). Is The Entropy-Weighted Water Quality Index A Suitable Index For Evaluating The Groundwater Quality In Ha'il, Saudi Arabia? *Water Science and Technology*, 88(3), 778–797.

Chazanah, N., Sudjono, P., Hasby, F. A., Suantika, G., & Muntalif, B. S. (2017). Development of Bioassessment Tools For Ecological Status Using Macrozoobenthic Community in Upstream Area (Case Study: Citarum River, West Java, Indonesia). *Journal of Water Resource and Protection*, 9(7), 770–785.

Marselina, M., Putri, S. H., & Nurhayati, S. A. (2025). Comparative Analysis of Water Quality Index Based on Seasonal Differences in The Upstream Citarum Watershed. *Water Quality Research Journal*, 60(1), 19–37.

Nada, I. M., Dewi, N. L. P. M., Graha, I. M. S., & Dwipayana, M. W. (2024). Uji Kualitas Air Pada Sumber Mata Air Sungai Ayung Menggunakan Metode Indeks Pencemaran. *Jurnal Ecocentrism*, 4(2), 85-94.

Pandiangan, Y. S., Zulaikha, S., & Yudo, S. (2023). Status of Ciliwung River Water Quality Based on Online Monitoring in DKI Jakarta Area in Terms of Temperature, pH, TDS, DO, DHL, and turbidity parameters. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 176–182.

Putri, I., Dharmayasa, N., & Suryanti, I. (2023). Debit Andalan Model NRECA Pada DAS Ayung Mendukung Pengelolaan Sedimentasi di Muara Sungai. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 27(2), 139-151.

Ramadhani, F. T. W. (2016). Penerapan Metode Water Quality Index (WQI) dan Metode STORET Untuk Menentukan Status Mutu Air Pada Ruas Sungai Brantas Hilir. *Tugas Akhir*, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Rohmah, B. Y. U., & Basyaiban, M. K. (2022). Pencemaran Tukad Ayung: Dampak dan Upaya Penanganannya di Bali, 2010-2021. *Environmental Pollution Journal*, 2(3), 538-552.

Saputra, H. M., dkk. (2023). Analisis Kualitas Lingkungan. Padang. Get Press Indonesia.

Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2020). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34–38.

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.

Widyasari, N. L., & Putra, I. K. A. (2022). Uji Penentuan Status Mutu Air Sungai Ayung Menggunakan Metode STORET. *Jurnal Ecocentrism*, 2(2), 51-59.

Wiranegara, P., Sunardi, S., Sumiarsa, D., & Juahir, H. (2023). Characteristics and Changes in Water Quality Based on Climate And Hydrology Effects in The Cirata Reservoir. *Water (Switzerland)*, 15(17).

Yuan, P., Li, H., Yi, X., Wang, J., Ning, C., Xu, X., & Nong, X. (2025). Optimizing Water Quality Index Using Machine Learning: A Six-Year Comparative Study in Riverine and Reservoir Systems. *Scientific Reports*, 15(1), 33919.