

Perbandingan Status Mutu Air Sungai Bengawan Solo 2020 – 2022 dengan Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran

Nuha Amiratul Afifah^{1*}, Riska Aprilia Triyadi¹, Herwin Lukito¹, Aditya Pandu Wicaksono¹, I Putu Gema Bujangga Waisnawa¹, dan Asep Mulyana²

¹Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Yogyakarta, Indonesia; e-mail: nuha.amiratulafifah@upnyk.ac.id

²DAI USAID Indonesia Urban Resilient Water, Sanitation, and Hygiene (IUWASH Tangguh), Indonesia

ABSTRAK

Sungai Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Pulau Jawa yang memiliki peran krusial bagi kehidupan masyarakat sekitarnya sebagai sumber air baku, irigasi, dan transportasi. Namun, sungai ini menghadapi masalah pencemaran yang serius, yang berasal dari limbah industri, pertanian, dan rumah tangga. Pencemaran air dapat memberikan dampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan, serta mengancam keberlanjutan ekosistem sungai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode penetapan status mutu air, yaitu Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran, dalam mengevaluasi kualitas air Sungai Bengawan Solo. Metode penelitian ini menggunakan sampel air dari Sungai Bengawan Solo di pos pemantauan Juranggempal, Wonogiri, Jawa Tengah, dari tahun 2020 hingga 2022. Parameter kualitas air yang dianalisis mencakup pH, oksigen terlarut, BOD, COD, TSS, fosfat, nitrat, dan *fecal Coliform*, sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 27 Tahun 2021. Hasil analisis menunjukkan bahwa Metode STORET mengkategorikan kualitas air Sungai Bengawan Solo sebagai Cemar Berat dengan tren penurunan skor setiap tahun yaitu -38 pada tahun 2020, -40 pada 2021, dan -48 pada 2022. Metode IP juga mengindikasikan status Cemar Berat, meskipun terdapat perbaikan skor pada tahun 2022, yaitu 15.142 pada 2020, 15.879 pada 2021, dan 13.833 pada 2022. Perbedaan hasil analisis disebabkan oleh karakteristik kedua metode dimana Metode STORET lebih sensitif terhadap jumlah parameter yang melanggar baku mutu, sedangkan IP lebih menekankan pada konsentrasi absolut parameter dominan, pada kasus ini adalah parameter *fecal Coliform* yang menjadi kontributor utama. Perbedaan karakteristik kedua metode juga berimplikasi pada kecocokan penggunaan dimana Metode STORET cocok untuk pemantauan kualitas air jangka panjang, sedangkan metode IP lebih efektif untuk control kualitas air sesaat.

Kata kunci: Sungai Bengawan Solo, pencemaran air, Metode STORET, Metode Indeks Pencemaran, kualitas air

ABSTRACT

The Bengawan Solo River is one of the longest rivers in Java, playing a crucial role in the lives of the surrounding communities as a source of raw water, irrigation, and transportation. However, the river faces serious pollution issues stemming from industrial, agricultural, and household waste. River water pollution has negative impacts on human health and the environment, posing a threat to the sustainability of the river ecosystem. Therefore, this research aims to compare two methods for assessing water quality status, namely the STORET Method and the Pollution Index Method, in evaluating the water quality of the Bengawan Solo River. This research utilized water samples from the Bengawan Solo River at the Juranggempal monitoring post in Wonogiri, Central Java, from 2020 to 2022. The analyzed water quality parameters included pH, dissolved oxygen, BOD, COD, TSS, phosphate, nitrate, and *fecal Coliform*, in accordance with Minister of Environment and Forestry Regulation No. 27 of 2021. The results indicate that the STORET Method classified the river's water quality as "Heavily Polluted," with declining scores each year: -38 in 2020, -40 in 2021, and -48 in 2022. Similarly, the IP Method indicated "Heavily Polluted" status, although there was an improvement in scores in 2022, with scores of 15.142 in 2020, 15.879 in 2021, and 13.833 in 2022. The differences in analytical outcomes stem from the characteristics of the two methods: the STORET Method is more sensitive to the number of parameters exceeding quality standards, while the IP Method emphasizes the absolute concentration of dominant parameters, in this case, *fecal Coliform*, the primary contributor to pollution. These methodological differences also affect their suitability for application: the STORET Method is better suited for long-term water quality monitoring, whereas the IP Method is more effective for short-term water quality control.

Keywords: Bengawan Solo River, water pollution, STORET Method, Pollution Index Method, water quality

Citation: Afifah, N. A., Triyadi, R. A., Lukito, H., Wicaksono, A. P., Waisnawa, I. P. G. B., dan Mulyana, A. (2025). Perbandingan Status Mutu Air Sungai Bengawan Solo 2020 – 2022 dengan Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(3), 742-750, doi:10.14710/jil.23.3.742-750

1. PENDAHULUAN

Sungai Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Pulau Jawa yang mengalir melintasi Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur (Yusron dan Jaza, 2021). Sungai ini memiliki peran penting bagi kehidupan masyarakat di sekitarnya, baik sebagai sumber air baku domestik, air baku industri, maupun irigasi. Bengawan Solo juga menyimpan nilai sejarah dan budaya yang tinggi, menjadi bagian integral dari kehidupan masyarakat sejak zaman dahulu (Rahmawati, dkk., 2019).

Urgensi air sungai untuk keperluan manusia dan lingkungan tidak dapat diabaikan. Air sungai digunakan untuk berbagai keperluan seperti konsumsi rumah tangga, pertanian, perikanan, dan industri (Yusron dan Jaza, 2021). Keberadaan air yang berkualitas baik sangat penting untuk mendukung kesehatan masyarakat (Astuti, 2015), pertumbuhan ekonomi (Palit, dkk. 2020), dan kelestarian ekosistem (Sutamihardja, dkk., 2018). Selain itu, air sungai juga berfungsi sebagai habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna yang berkontribusi pada keseimbangan ekosistem (Rahmania dan Irawanto, 2022).

Air sungai merupakan salah satu sumber air penting bagi masyarakat. Kualitas air sungai yang buruk dapat berdampak langsung pada kesehatan masyarakat serta menyebabkan berbagai penyakit seperti diare, kolera, dan penyakit kulit. Dengan demikian, merupakan langkah penting menjaga kualitas air sungai agar kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber daya ini dapat terjamin (WHO, 2018).

Pada sektor pertanian, air sungai merupakan sumber irigasi utama bagi lahan pertanian. Ketersediaan air yang cukup dan berkualitas baik berpengaruh kepada pertanian yang efisien dan produktif. Berdasarkan FAO (2017), irigasi yang baik dapat meningkatkan hasil panen dan produktivitas lahan, sehingga dapat meningkatkan ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Oleh karena itu, pemeliharaan kualitas air sungai merupakan faktor penting dalam mendukung keberlanjutan pertanian dan perekonomian lokal.

Air sungai juga merupakan salah satu sumber air baku utama bagi industri untuk berbagai proses produksi seperti pendinginan, pencucian, dan sebagai bahan baku. Penggunaan air sungai dalam kegiatan industri memerlukan pasokan air yang stabil dan bersih untuk memastikan kelancaran operasi. Air sungai dengan kualitas buruk dapat merusak peralatan industri, menurunkan kualitas produk, dan meningkatkan biaya produksi yang disebabkan oleh biaya tambahan untuk pengelolaan kualitas air (OECD, 2020).

Selain beberapa sektor di atas, air sungai juga sangat berpengaruh kepada sektor perikanan dan ekosistem. Kualitas air sungai yang baik merupakan aspek penting untuk keseimbangan ekosistem perairan. Sungai menyediakan habitat bagi berbagai

spesies flora dan fauna yang berkontribusi pada biodiversitas dan keseimbangan alam. Ekosistem sungai yang sehat mendukung kehidupan berbagai organisme yang menjadi bagian dari rantai makanan dan proses ekologi penting seperti penyerapan karbon dan siklus nutrisi (WWF, 2018). Degradasi kualitas air sungai berpengaruh pada penurunan populasi ikan, terganggunya keseimbangan ekosistem, dan merugikan masyarakat atau nelayan lokal yang bergantung pada hasil tangkapan untuk mata pencaharian mereka (FAO, 2020).

Melihat pentingnya air sungai, pencemaran air sungai menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi (Yohannes, dkk., 2019). Pencemaran berasal dari berbagai sumber seperti limbah industri, pertanian, dan rumah tangga yang mengandung bahan kimia berbahaya, logam berat, dan mikroorganisme patogen (Firmansyah, dkk., 2021). Dampak pencemaran air sungai sangat merugikan, baik bagi manusia maupun lingkungan. Bagi manusia, konsumsi air yang tercemar dapat menyebabkan berbagai penyakit serius (Al Idrus, 2015), sedangkan bagi lingkungan, pencemaran dapat merusak habitat alami, mengurangi keanekaragaman hayati, dan mengganggu fungsi ekosistem (Ritiau, 2021).

Limbah industri seringkali mengandung bahan kimia berbahaya seperti fenol, benzena, dan berbagai senyawa organik lainnya yang dapat mencemari air sungai (Widodo, 2022). Limbah ini sering kali berasal dari pabrik-pabrik yang tidak memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai (Sairin, dkk., 2022). Menurut laporan UNEP (2019), pencemaran industri merupakan salah satu penyebab utama degradasi kualitas air di banyak sungai di dunia, termasuk di Indonesia.

Limbah pertanian juga berkontribusi signifikan terhadap pencemaran air sungai (Lusiana, dkk., 2020). Penggunaan pestisida, herbisida, dan pupuk kimia yang berlebihan dapat menyebabkan aliran limpasan yang membawa zat-zat berbahaya tersebut ke dalam sungai. Hal ini tidak hanya mengancam kehidupan akuatik, tetapi juga dapat berakibat fatal bagi kesehatan manusia yang memanfaatkan air tersebut. Penelitian oleh Zhang et al. (2017) menunjukkan bahwa residu pestisida dalam air sungai dapat menyebabkan gangguan endokrin dan penyakit kronis lainnya pada manusia.

Sumber pencemaran lainnya adalah limbah rumah tangga yang mengandung berbagai bahan organik dan anorganik. Air limbah rumah tangga seringkali mengandung patogen seperti bakteri, virus, dan parasit yang dapat menyebabkan penyakit menular (Muzaidi, dkk., 2019). Studi oleh WHO (2018) mengindikasikan bahwa sekitar 1,8 juta orang di seluruh dunia meninggal setiap tahunnya akibat penyakit yang disebabkan oleh air yang tidak bersih, banyak di antaranya disebabkan oleh pencemaran air sungai.

Dampak pencemaran air sungai tidak hanya dirasakan oleh manusia, tetapi juga oleh lingkungan

secara keseluruhan. Pencemaran dapat merusak habitat alami yang menjadi tempat hidup berbagai spesies flora dan fauna. Hal ini dapat mengurangi keanekaragaman hayati dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Menurut laporan WWF (2020), pencemaran air merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan penurunan populasi ikan air tawar hingga 83% sejak tahun 1970.

Selain itu, pencemaran air sungai juga mengganggu fungsi ekosistem yang penting seperti siklus nutrisi, pengaturan iklim, dan penyediaan jasa ekosistem lainnya. Ekosistem sungai yang tercemar tidak dapat berfungsi dengan baik dalam menyaring polutan dan mendukung kehidupan akuatik yang sehat, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas air dan kesehatan manusia (UNEP, 2018).

Permasalahan utama di Sungai Bengawan Solo menurut Firmansyah, dkk. (2021) berasal dari berbagai aktivitas manusia yaitu limbah industri, limbah sektor pertanian, dan limbah aktivitas rumah tangga. Berdasarkan laporan dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur tahun 2023, kualitas air Bengawan Solo pada beberapa segmen berada di bawah standar baku mutu dengan konsentrasi bahan pencemar yang terdeteksi yaitu logam berat, senyawa organik, dan mikroorganisme patogen. Kondisi ini dapat mengakibatkan gangguan terhadap kesehatan masyarakat, penurunan produksi pertanian, serta peningkatan biaya pengolahan air bagi keperluan industri maupun keperluan penyediaan air bersih komunal.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan 2 metode penetapan status mutu air yaitu Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran. Kedua metode tersebut merupakan metode yang sering digunakan di Indonesia untuk penetapan status mutu air. Metode STORET didasarkan pada sistem pemberian skor yang mengacu pada standar baku mutu untuk setiap parameter kualitas air. Metode STORET memiliki keunggulan dalam memberikan evaluasi secara rinci untuk parameter tertentu. Namun demikian, metode STORET juga memiliki kelemahan dalam hal subjektivitas dalam pemberian bobot penilaian, misalnya untuk parameter biologi mendapatkan skor penalti yang lebih besar dibandingkan parameter fisik dan kimia. Adapun Metode Indeks Pencemaran menggunakan pendekatan matematis untuk menghitung indeks kualitas air berdasarkan pada nilai rata-rata parameter pencemar. Metode ini lebih sederhana dibandingkan Metode STORET dan lebih mudah diaplikasikan, namun metode ini kurang sensitif terhadap parameter tertentu yang memiliki dampak signifikan terhadap kualitas air secara keseluruhan.

Melalui perbandingan kedua metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap status mutu kualitas air dan memberikan justifikasi ilmiah mengenai metode yang lebih efektif dalam menggambarkan kondisi kualitas air Sungai Bengawan Solo. Dengan mengetahui kualitas air sungai, pemerintah dan pihak terkait

dapat mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk menjaga dan memperbaiki kualitas air. Penetapan status mutu air juga berfungsi sebagai acuan dalam pengelolaan sumber daya air, penegakan hukum, dan penyusunan kebijakan lingkungan yang lebih baik. Upaya bersama dalam menjaga kualitas air sungai akan memastikan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air bagi generasi mendatang dan kelestarian lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Sampel air dari Sungai Bengawan Solo diperoleh dari pos pemantauan Juranggempal, yang terletak di Sungai Bengawan Solo, Desa Wonoboyo, Kecamatan Wonogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Data kualitas air sungai yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo (BBWS Bengawan Solo), mencakup data kualitas air dari tahun 2020 hingga 2022. Penggunaan data sekunder ini memungkinkan analisis yang lebih efisien dan berbasis pada rekaman pemantauan resmi yang telah dilakukan secara sistematis dan berkala. Data dari BBWS Bengawan Solo memiliki kredibilitas tinggi karena diperoleh melalui pengukuran menggunakan metode standar yang diakui secara nasional dan internasional, sehingga dapat diandalkan untuk mendukung analisis kualitas air yang akurat.

Adapun parameter-parameter yang disertakan pada perhitungan status mutu air mengikuti Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup yang terdiri atas parameter wajib pemantauan yaitu: pH, oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), Fosfat, Nitrat, dan *fecal Coliform*.

Lokasi pengambilan sampel dipilih di Pos Pengamatan Juranggempal karena pos ini berada di aliran utama Sungai Bengawan Solo yang menjadi *input* air utama Waduk Gajah Mungkur Wonogiri. Waduk ini adalah infrastruktur strategis yang dibangun sebagai waduk serbaguna bagi wilayah Wonogiri, Sukoharjo, Solo, Karanganyar, dan Sragen untuk berbagai sektor. Sebagai *input air* utama, kualitas air di lokasi ini akan sangat mempengaruhi kualitas air Waduk Gajah Mungkur yang merupakan sumber air vital bagi masyarakat sekitar. Selain itu, kualitas air di Waduk Gajah Mungkur merupakan hal yang penting karena waduk ini merupakan infrastruktur yang mendukung pengendalian banjir, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), dan keberlanjutan ekosistem lokal. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air di Pos Pengamatan Juranggempal dapat menjadi kunci dalam melakukan deteksi dini terhadap potensi degradasi kualitas air baik yang diakibatkan oleh aktivitas antropogenik maupun alami di badan sungai.

Dalam penentuan status mutu air Sungai Bengawan Solo, digunakan baku mutu sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan

Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan baku mutu kualitas peruntukan kelas dua, yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Analisis status mutu air permukaan dilakukan menggunakan metode STORET dan metode Indeks Pencemaran. Hasil dari perhitungan status mutu air Sungai Bengawan Solo menggunakan kedua metode di atas kemudian akan dibandingkan. Metode STORET adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan status mutu air. Metode STORET telah banyak digunakan di beberapa negara sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Dengan metode STORET ini, parameter-parameter yang memenuhi atau melebihi standar kualitas air dapat diidentifikasi. Pada prinsipnya, metode STORET adalah membandingkan data kualitas air dengan standar kualitas air yang disesuaikan dengan tujuan penggunaannya untuk menentukan status mutu air. Cara menentukan status mutu air adalah dengan menggunakan sistem nilai dari "US-EPA (Environmental Protection Agency)" yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kualitas Air Metode STORET

Skor STORET	Kelas	Status
0	A	Baik Sekali (Memenuhi Baku Mutu)
$-1 \leq x \leq -10$	B	Baik (Cemar Ringan)
$-11 \leq x \leq -30$	C	Sedang (Cemar Sedang)
≤ -31	D	Buruk (Cemar Berat)

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 115 Tahun 2003

Adapun prosedur penggunaan metode STORET adalah dengan memberikan penilaian (skor) terhadap parameter kualitas air yang dibandingkan dengan baku mutu tertentu. Prosedur metode STORET yaitu:

1. Menyusun data kualitas air secara periodik sehingga membentuk data dari waktu ke waktu (*time series data*).
2. Membandingkan data hasil pengukuran dari masing-masing parameter air dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan kelas air.
3. Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran < baku mutu) maka diberi skor 0.
4. Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu), maka diberi skor sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air

Jumlah Contoh	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥ 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 115 Tahun 2003

5. Jumlah negatif dari seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya dari jumlah skor yang didapat dengan menggunakan sistem nilai.

Metode Indeks Pencemaran (IP) digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Sebagai metode berbasis indeks, Metode IP ini dikelompokkan berdasarkan dua indeks kualitas. Indeks pertama adalah indeks rata-rata (IR), yang menunjukkan tingkat pencemaran rata-rata dari seluruh parameter dalam satu kali pengamatan. Indeks kedua adalah indeks maksimum (IM), yang mewakili kelompok parameter dengan dampak paling serius terhadap penurunan kualitas air pada satu kali pengamatan (Da Costa, dkk., 2022). Metode indeks pencemaran ini digunakan untuk menentukan status mutu air dengan data tunggal, tidak menggunakan data deret waktu, pada satu titik pengujian (Sari dan Wijaya, 2019).

Rumus yang digunakan dalam perhitungan status mutu air menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) adalah sebagai berikut:

$$IP_j = \frac{\sqrt{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2 M + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2 R}}{2} \quad (1)$$

dimana L_{ij} menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Peruntukan Air (j), C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, IP_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari $\frac{C_i}{L_{ij}}$. Adapun $\frac{C_i}{L_{ij}} M$ merupakan nilai maksimum dari C_i/L_{ij} , dan $\frac{C_i}{L_{ij}} R$ merupakan nilai rata-rata dari C_i/L_{ij} .

Adapun interpretasi hasil dari metode indeks pencemaran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Kualitas Air Metode Indeks Pencemaran (IP)

Skor IP	Kelas	Status
$0 \leq IP \leq 1,0$	A	Baik Sekali (Memenuhi Baku Mutu)
$1,0 < IP \leq 5,0$	B	Baik (Cemar Ringan)
$5,0 < IP \leq 10,0$	C	Sedang (Cemar Sedang)
$IP > 10,0$	D	Buruk (Cemar Berat)

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 115 tahun 2003

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas Air Sungai Bengawan Solo

Data yang didapatkan untuk tahun 2020 hingga 2022 merupakan data kualitas air sungai Bengawan Solo di bulan Agustus, September, Oktober, November, dan Desember. Pemilihan data hanya dari bulan-bulan tersebut disebabkan oleh pada tahun 2020, data kualitas air tidak tersedia secara lengkap untuk seluruh bulan dalam satu tahun. Untuk menjaga konsistensi dan validitas analisis, maka dipilih data

kualitas air untuk bulan-bulan tersebut di ketiga tahun pengamatan.

Pendekatan ini bertujuan untuk menghindari potensi bias dalam analisis terutama untuk perhitungan indeks kualitas air menggunakan metode STORET memerlukan data *time series* yang konsisten. Metode STORET dirancang untuk mengevaluasi status mutu air dan sangat bergantung pada ketersediaan data dalam jangka waktu tertentu agar hasil perhitungan dapat menggambarkan kondisi air dengan *representative*. Dengan demikian, keterbatasan data pada tahun 2020 diatasi dengan seleksi bulan yang konsisten di seluruh periode analisis, sehingga data dapat mendukung interpretasi secara valid dan reliabel terhadap status mutu air di lokasi penelitian.

Berdasarkan data yang didapatkan, pada tahun 2020 (Tabel 4) diketahui terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu: parameter *Dissolved Oxygen* (DO) di bulan Desember; parameter fosfat di bulan Oktober dan Desember; *Chemical Oxygen Demand* (COD) di bulan Agustus, September, dan Desember; *Biological Oxygen Demand* (BOD) di bulan Agustus dan Desember; dan parameter *fecal Coliform* di bulan Agustus, September, November, dan Desember. Secara keseluruhan, bulan Desember merupakan kualitas air terburuk Sungai Bengawan Solo di tahun 2020 dengan 5 parameter tidak memenuhi baku mutu.

Adapun data tahun 2021 (Tabel 5), diketahui terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu: parameter TSS di bulan November dan Desember; parameter DO di bulan Oktober; parameter fosfat di bulan September, Oktober, dan November; parameter COD di bulan Oktober dan November; parameter BOD di bulan September, Oktober, November, dan Desember; parameter *fecal Coliform* di bulan September, Oktober, November, dan Desember. Secara keseluruhan berdasarkan data yang didapatkan pada tahun 2021, kualitas air Sungai Bengawan Solo terburuk pada bulan Oktober dan November dengan 5 parameter tidak memenuhi baku mutu.

Adapun data tahun 2022 (Tabel 6), diketahui terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu: pH pada bulan Agustus; TSS pada bulan November; Fosfat pada bulan Agustus hingga Desember; COD pada bulan November dan Desember; BOD pada bulan Oktober; *fecal Coliform* pada bulan Oktober, November, dan Desember. Secara keseluruhan berdasarkan data yang didapatkan pada tahun 2022, kualitas air Sungai Bengawan Solo terburuk pada bulan November dengan 4 parameter tidak memenuhi baku mutu.

3.2. Status mutu Air Berdasarkan Metode STORET

Hasil analisis menggunakan Metode STORET didapatkan nilai skor -38 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2020, nilai

skor -40 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2021, dan nilai skor -48 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2022. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa status mutu air Sungai Bengawan Solo di Pos Pengamatan Juranggempal mengalami perburukan dari tahun ke tahun (Gambar 1). Penurunan nilai ini mengindikasikan adanya peningkatan tekanan terhadap kualitas air Sungai Bengawan Solo. Skor STORET semakin negatif menunjukkan bahwa jumlah parameter yang melampaui baku mutu semakin meningkat atau tingkat pencemarannya semakin parah.



Gambar 1. Skor STORET Sungai Bengawan Solo Pos Pengamatan Juranggempal 2020 – 2022

3.3. Status Mutu Air Berdasarkan Metode Indeks Pencemaran (IP)

Hasil analisis menggunakan Metode Indeks Pencemaran, didapatkan nilai skor 15.427 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2020, nilai skor 15.879 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2021, dan nilai skor 13.833 (Cemar Berat) untuk status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2022. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa status mutu air Sungai Bengawan Solo di Pos Pengamatan Juranggempal mengalami perburukan dari tahun 2020 ke tahun 2021, dan mengalami perbaikan kualitas pada tahun 2022 meskipun status kualitasnya masih menunjukkan Cemar Berat (Gambar 2). Dari data ini, terlihat bahwa pencemaran mencapai puncaknya pada tahun 2021. Pada tahun 2022, meskipun kualitas air sedikit membaik, pencemaran tetap berada di tingkat yang sangat serius.



Gambar 2. Skor Indeks Pencemaran Sungai Bengawan Solo Pos Pengamatan Juranggempal 2020 – 2022

3.4. Perbandingan Status Mutu Air Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari analisis status mutu air menggunakan Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran, diketahui terdapat perbedaan status mutu air Sungai Bengawan Solo Pos pengamatan Juranggempal (Tabel 7). Analisis menggunakan Metode STORET menghasilkan data perhitungan skor semakin menurun dari tahun ke tahun. Adapun hasil analisis menggunakan Metode Indeks Pencemaran diketahui bahwa status mutu air Sungai Bengawan Solo Pos pengamatan Juranggempal adalah Cemar Berat dengan perbaikan kualitas di tahun 2022.

Tabel 4. Kualitas Air Sungai Bengawan Solo Tahun 2020

Parameter (satuan)	Bulan					Baku Mutu
	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
pH	7.14	6.75	7.26	7.35	-	6 - 9
TSS (mg/l)	18	5	13	5	14	50
DO (mg/l)	6	7.4	4.6	7.9	3.7*	4
Nitrat (mg/l)	3.19	0.26	0.66	0	3.18	10
Fosfat (mg/l)	0.052	0.008	0.597*	0.011	0.547*	0.2
COD (mg/l)	30.3*	27*	13	24.3	45.8*	25
BOD (mg/l)	5.5*	3	5.1	2.9	5.4*	3
fecal Coliform (MPN/100mL)	54000*	2400*	79	54x10 ⁶ *	9.2x10 ⁶ *	1000

Sumber data: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, 2023

*Parameter tidak memenuhi baku mutu

Tabel 5. Kualitas Air Sungai Bengawan Solo Tahun 2021

Parameter (satuan)	Bulan					Baku Mutu
	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
pH	6.84	7.28	7.04	6.27	7.19	6 - 9
TSS (mg/l)	25	22	25	314*	216*	50
DO (mg/l)	5.5	7.25	3.7*	5.1	5.48	4
Nitrat (mg/l)	0.018	0.084	0.05	1.02	2.821	10
Fosfat (mg/l)	0.095	0.295*	0.21*	0.912*	0.161	0.2
COD (mg/l)	17.21	19.85	31.7*	30.2*	18.82	25
BOD (mg/l)	2.36	3.82*	3.2*	3.3*	4.71*	3
fecal Coliform (MPN/100mL)	330	1.3x10 ⁴ *	54x10 ⁴ *	9400*	7800*	1000

Sumber data: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, 2023

*Parameter tidak memenuhi baku mutu

Tabel 6. Kualitas Air Sungai Bengawan Solo Tahun 2022

Parameter (satuan)	Bulan					Baku Mutu
	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
pH	5.91*	6.11	6.12	8.47	8.49	6 - 9
TSS (mg/l)	7	13	27	351*	35	50
DO (mg/l)	5.7	5.1	5.4	6.2	6.7	4
Nitrat (mg/l)	0.04	0.12	1.12	0.58	0.16	10
Fosfat (mg/l)	547*	1.164*	758*	1.036*	884*	0.2
COD (mg/l)	14.8	18.3	21	48.7*	34.4*	25
BOD (mg/l)	2.1	1.9	3.2*	5.1	2.8	3
fecal Coliform (MPN/100mL)	240	460	5400*	4900*	2300*	1000

Sumber data: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, 2023

*Parameter tidak memenuhi baku mutu

Tabel 7. Perbandingan Hasil Analisis Status Mutu Air Bengawan Solo

Tahun	Skor Storet	Status Storet	Skor IP	Status IP
2020	-38	Cemar Berat	15.427	Cemar Berat
2021	-40	Cemar Berat	15.879	Cemar Berat
2022	-48	Cemar Berat	13.833	Cemar Berat

Sumber data: Analisis data oleh penulis, 2024

Perbedaan hasil analisis status mutu air Sungai Bengawan Solo terutama berkaitan dengan kondisi perbaikan skor di tahun 2022 dengan metode Indeks Pencemar (IP) disebabkan oleh perbedaan karakteristik dan sensitivitas antara kedua metode. Metode STORET memberikan skor negatif berdasarkan dari jumlah dan tingkat pelanggaran parameter kualitas air dari baku mutu yang telah ditetapkan. Setiap pelanggaran berimplikasi kepada skor negatif yang kemudian dijumlahkan secara keseluruhan. Metode STORET sangat sensitif terhadap jumlah parameter yang tidak sesuai baku mutu, sehingga jika hasil pengujian menunjukkan banyak parameter pada kualitas air yang tidak memenuhi baku mutu berimplikasi kepada kategori pencemaran yang lebih tinggi (Barokah, dkk. 2017).

Adapun Metode Indeks Pencemaran (IP) menghitung indeks berdasarkan rasio konsentrasi parameter yang terukur terhadap baku mutu. Indeks ini memperhitungkan kontribusi setiap parameter terhadap keseluruhan kualitas air dan menggabungkan nilai-nilai tersebut menjadi satu skor komposit. Metode IP lebih sensitif terhadap nilai absolut konsentrasi parameter dibandingkan dengan jumlah parameter yang tidak memenuhi baku mutu. Indeks dapat bervariasi berdasarkan nilai selisih dengan baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga hasilnya dapat menunjukkan perbedaan jika terdapat satu atau beberapa parameter sangat tinggi meskipun jumlah parameter yang melanggar tidak banyak (Purwaningsih, dkk., 2023).

Metode STORET dirancang untuk memanfaatkan data multi-waktu yang disusun secara *time series* agar dapat memberikan penilaian skor kualitas air yang lebih representatif. Sebaliknya, Metode Indeks Pencemaran memungkinkan perhitungan kualitas air berdasarkan rasio konsentrasi parameter tertentu terhadap baku mutunya (C_i/L_{ij}). Perhitungan ini dapat dilakukan bahkan dengan data yang berasal dari satu kali pengambilan sampel, karena menggunakan nilai maksimum dan rerata rasio sejumlah parameter kualitas air (Hidayah, et al., 2021).

Kualitas air sungai, baik secara fisik, kimia, maupun biologi, memiliki variabilitas yang sangat tinggi. Variabilitas kualitas air sungai ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah iklim, kondisi hidrologi, kondisi geografi, siklus nutrisi, kehidupan organisme air, serta gangguan alamiah dan aktivitas antropogenik. Oleh karena itu, data kualitas air yang diperoleh dari satu kali pengambilan sampel hanya merepresentasikan kondisi sesaat. Tujuan utama pemantauan lingkungan bukanlah untuk mendeteksi fluktuasi kecil yang cepat hilang, melainkan untuk mengidentifikasi perubahan signifikan dalam ekosistem. Dengan demikian, kualitas air perlu diukur secara spasial dan temporal, melalui pengambilan data secara periodik dan dalam bentuk deret waktu. Oleh karena itu, dalam tujuan untuk melakukan pemantauan kualitas secara periodik, maka Metode STORET dirasa lebih cocok. Adapun Metode Indeks Pencemaran lebih cocok

digunakan untuk mengontrol kualitas sesaat, misalnya pada *outlet* air limbah atau *intake* suplai instalasi pengolahan air bersih (Saraswati, dkk., 2014).

Hasil analisis status mutu air Sungai Bengawan Solo Tahun 2020 dengan menggunakan metode STORET menunjukkan status Cemar Berat dengan skor -38, sedangkan dengan metode IP menunjukkan status Cemar Berat dengan skor 15.427. Kedua metode sepakat bahwa status mutu air Sungai Bengawan Solo pada tahun 2020 tergolong Cemar berat. Metode STORET menggambarkan kondisi menyeluruh dengan banyaknya parameter yang melanggar, sementara metode IP menunjukkan adanya dominasi parameter tertentu dengan konsentrasi tinggi yang berkontribusi besar terhadap kualitas air.

Hasil analisis status mutu air Sungai Bengawan Solo Tahun 2021 dengan menggunakan metode STORET menunjukkan Cemar Berat dengan skor -40 sedangkan dengan metode IP menunjukkan Cemar Berat dengan skor 15.879. Hal ini menunjukkan bahwa dengan kedua metode, kualitas air tahun 2021 mengalami tren perburukan dari tahun sebelumnya. Metode STORET menunjukkan jumlah dan tingkat pelanggaran parameter yang semakin bertambah, dan metode Indeks Pencemar menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi parameter dominan pada tahun 2021 yang lebih tinggi dibandingkan tahun 2020.

Hasil analisis status mutu air Sungai Bengawan Solo Tahun 2022 dengan Metode STORET menunjukkan skor -48 yang menunjukkan tren perburukan lebih lanjut dari periode sebelumnya. Adapun Metode Indeks Pencemaran mendapatkan skor 13.833 yang terkategori sebagai Cemar Berat, namun terdapat perbaikan skor dibandingkan tahun 2021. Penurunan skor mengindikasikan bahwa konsentrasi pencemar dominan relatif lebih rendah dibandingkan tahun sebelumnya, meskipun secara keseluruhan status mutu air di Pos Pengamatan Juranggepal secara keseluruhan tetap buruk.

Buruknya status kualitas air Sungai Bengawan Solo terutama disebabkan oleh tingginya konsentrasi *fecal Coliform* yang secara konsisten melampaui baku mutu di sebagian besar waktu pengukuran. Berdasarkan metode STORET, parameter biologi mendapatkan bobot penalti yang besar karena dianggap sangat penting, terutama dalam konteks kesehatan masyarakat. Hal ini sejalan dengan latar belakang metode ini, yang dikembangkan di Amerika Serikat, di mana parameter biologi menjadi indikator kunci untuk menentukan status kualitas air (Saraswati, dkk., 2014). Tingginya konsentrasi *fecal Coliform* menyebabkan skor STORET turun secara signifikan, menghasilkan status mutu air Sungai Bengawan Solo sebagai Cemar Berat dari tahun ke tahun. Hal tersebut diperparah dengan temuan parameter lain yang melampaui baku mutu sehingga memperburuk skor dengan perhitungan metode STORET.

Sementara itu, metode Indeks Pencemaran (IP) juga menunjukkan *fecal Coliform* sebagai parameter dominan yang berkontribusi besar terhadap nilai indeks. Hal ini disebabkan oleh tingginya rasio konsentrasi *fecal Coliform* terhadap baku mutu, yang sangat ekstrem di mayoritas bulan pengukuran, sehingga memengaruhi hasil akhir skor IP dan mengindikasikan status Cemar Berat. Perbaikan skor pada tahun 2022 juga dipengaruhi oleh berkurangnya konsentrasi parameter *fecal Coliform* jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Dominasi *fecal Coliform* sebagai pencemar utama mencerminkan tingginya beban pencemaran biologis akibat pembuangan limbah domestik yang tidak terolah di sepanjang sungai (Salsabila, dkk. 2023).

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan metode STORET menunjukkan tren penurunan skor mutu air Sungai Bengawan Solo di Pos Juranggepal dari tahun 2020 hingga 2022, dengan status konsisten sebagai Cemar Berat. Metode Indeks Pencemaran (IP) juga menunjukkan status Cemar Berat meskipun terdapat perbaikan skor pada tahun 2022. Di antara parameter-parameter yang dianalisis, parameter biologi *fecal Coliform* terindikasi sebagai parameter dominan yang menyebabkan buruknya status kualitas air berdasarkan hasil analisis kedua metode. Sumber utama parameter tersebut merupakan pembuangan limbah domestik yang tidak diolah.

Metode STORET lebih sensitif terhadap jumlah parameter yang melanggar baku mutu dan penalti besar pada parameter biologi dalam memberikan penilaian kualitas, sedangkan metode IP lebih fokus terhadap konsentrasi absolut parameter yang menjadi parameter pencemar dominan dengan nilai ekstrem, pada kasus ini adalah parameter *fecal Coliform*. Berkaitan dengan kecocokan dalam manajemen dan pemantauan lingkungan, metode STORET lebih cocok digunakan untuk pemantauan secara berkala kualitas air untuk mengidentifikasi tren pencemaran jangka panjang. Adapun metode IP dapat digunakan untuk control kualitas air secara sesaat, seperti memantau konsentrasi pencemar pada *outlet* air limbah di badan sungai atau *intake* air pada instalasi pengolahan air bersih.

Berdasarkan hasil analisis, dibutuhkan upaya untuk melakukan peningkatan pengelolaan limbah domestik di Sungai Bengawan Solo untuk mengurangi beban pencemaran dari parameter biologi serta pengawasan yang lebih ketat mengingat dampak dari pencemaran ini terhadap kesehatan masyarakat, tanpa mengabaikan pengawasan terhadap pencemaran akibat parameter lainnya.

Data yang digunakan pada penelitian ini terbatas pada bulan Agustus hingga Desember sehingga tidak dapat menggambarkan kondisi kualitas air sepanjang tahun. Selain itu, dapat pula dilakukan analisis menggunakan parameter lain selain yang digunakan pada penelitian ini jika di kemudian hari terdapat

indikasi adanya pencemaran yang diakibatkan oleh polutan lain, misalnya logam berat.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk dapat memahami kontribusi spesifik aktivitas antropogenik seperti aktivitas domestik, pertanian, dan industri terhadap kualitas air sungai. Selain itu, diperlukan pula penelitian lanjutan yang berkaitan dengan dampak pencemaran terhadap biodiversitas sungai dan fungsi ekosistem untuk mendukung keberlanjutan lingkungan di masa depan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada USAID Indonesia Urban Resilient Water, Sanitation, and Hygiene (IUWASH Tangguh), Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo, dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Idrus, S. W. (2015). Analisis Pencemaran Air Menggunakan Metode Sederhana pada Sungai Jangkuk, Kekalik dan Sekarbela Kota Mataram. *Jurnal Pijar MIPA*, 10(2).
- Arey, H., Wardhani, E., Qonita, F. D. (2017). Analisis Kualitas Air Waduk Saguling untuk Memenuhi Kebutuhan Air di Kota Bandung. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Dan Desain Itenas* 2017.
- Astuti, B. C. (2015). Kualitas air sumur Desa Bantaran Sungai Bengawan Solo berdasarkan Aspek Kemasyarakatan dan Standar Menteri Kesehatan. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 16(1), 18-25.
- Barokah, G. R., Ariyani, F., & Siregar, T. H. (2017). Comparison of STORET and Pollution Index Method to Assess the Environmental Pollution Status: A Case Study from Lampung Bay, Indonesia. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 12(2), 67-74.
- Da Costa, M., Nipu, L. P., & Solo, A. A. M. (2022). Evaluasi Kualitas Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Dendeng Menggunakan Metode Indeks Pencemaran. *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, 2(2), 146-150.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. Rome: FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. Rome: FAO.
- Hidayah, I., Januar, H. I., Dwiwitno, D., & Prihantini, N. B. (2021). Seasonal and Spatial Water Pollution Status at the Rivers Estuaries in Cirebon Region. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 16(2), 75-82.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2003). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta.
- Lusiana, N., Sulianto, A. A., Devianto, L. A., & Sabina, S. (2020). Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya

- Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software QUAL2Kw (Studi kasus Sungai Brantas Kota Malang). *J. Wilayah dan Lingkungan*, 8(2).
- Muzaidi, I., Anggraini, E., & Prayugo, H. M. R. (2018). Studi Kasus Pencemaran Air Sungai Teluk dalam Banjarmasin Akibat Limbah Domestik. *Media Teknik Sipil*, 16(2), 108-114.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities*. Paris: OECD Publishing.
- Palit, F. A., Polii, B., & Rotinsulu, W. (2020). Evaluasi Kajian Kualitas Air, Status Mutu Serta Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Sangkub di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Administrasi Publik*, 6(93).
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Purwaningsih, D. P., Oktorina, S., & Setyowati, R. D. N. (2023). Komparasi Kualitas Air Tanah dengan Metode Indeks Pencemar serta Storet pada Musim Pancaroba (Studi Kasus: Desa Glagaharum, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 7(1), 35-53.
- Rahmania, F. N., & Irawanto, R. (2022, November). Inventarisasi Keanekaragaman Jenis Vegetasi Riparian Bagian Hulu Sungai Welang-Jawa Timur. In *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek)* (pp. 290-298).
- Rahmawati, M., Riyadi, M. I., & Rizaldy, R. J. (2019). Sungai Bengawan Solo: Tinjauan Sejarah Maritim Dan Perdagangan di Laut Jawa. *Candrasangkala: Jurnal Pendidikan dan Sejarah*, 5(2), 24-39.
- Ritiau, Y. A. P. (2021). Analisis Dampak Pencemaran Sungai Terhadap Kesehatan Lingkungan Di Sungai Desa Cukir, Kabupaten Jombang. In *SemanTECH (Seminar Nasional Teknologi, Sains dan Humaniora)* (Vol. 3, No. 1, pp. 134-141).
- Sairin, M. E., Atthahara, H., & Kurniansyah, D. (2022). Responsivitas Pemerintah Daerah Dalam Pemulihan Pencemaran Limbah Cair Industri Di Sungai Citarum: Studi Pada Dinas Lingkungan Hidup Dan Kebersihan Kabupaten Karawang. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(15), 395-404.
- Salsabila, N. F., Raharjo, M., & Joko, T. (2023). Indeks Pencemaran Air Sungai dan Persebaran Penyakit yang Ditularkan Air (Waterborne Diseases): Suatu Kajian Sistematis. *Environmental Occupational Health and Safety Journal*, 4(1), 24-34.
- Saraswati, S. P., Sunyoto, S., Kironoto, B. A., & Hadisusanto, S. (2014). Kajian Bentuk Dan Sensitivitas Rumus Indeks Pi, Storet, Ccme Untuk Penentuan Status Mutu Perairan Sungai Tropis di Indonesia (Assessment of the Forms and Sensitivity of the Index Formula Pi, Storet, Ccme for the Determination of Water Quality Status). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2), 129-142.
- Sari, E. K., & Wijaya, O. E. (2019). Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Indeks Pencemaran dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Ogan Kabupaten Ogan Komering Ulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 486-491.
- Sutamihardja, R. T. M., Azizah, M., & Hardini, Y. (2018). Studi Dinamika Senyawa Fosfat dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor. *Jurnal Sains Natural*, 8(1), 43-49.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). *Progress on Ambient Water Quality: Tracking SDG 6 Series*. Nairobi: UNEP.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Nairobi: UNEP.
- Widodo, A. F. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Fenol Pada Air Tanah Kawasan Industri Daerah Aliran Sungai Winongo Yogyakarta.
- World Health Organization (WHO). (2018). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*. Geneva: WHO.
- World Wildlife Fund (WWF). (2018). *Living Planet Report 2018: Aiming Higher*. Gland, Switzerland: WWF International.
- World Wildlife Fund (WWF). (2020). *Living Planet Report 2020: Bending the Curve of Biodiversity Loss*. Gland, Switzerland: WWF International.
- Yohannes, B. Y., Utomo, S. W., & Agustina, H. (2019). Kajian Kualitas Air Sungai dan upaya Pengendalian Pencemaran Air. *IJEEM-Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 4(2), 136-155.
- Yusron, M., & Jaza, M. A. (2021). Analisis Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik serta Pencemaran Logam Berat pada Hulu Sungai Bengawan Solo. *Environmental Pollution Journal*, 1(1).
- Zhang, W., Jiang, F., & Ou, J. (2017). *Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus*. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 7(1), 1-14.