

# Evaluasi Status Mutu Sungai Opak Terdampak TPST Piyungan Menggunakan Metode Biotilik dan Komparasinya dengan Metode STORET dan IP

Roni Ardyantoro<sup>1</sup>, Sunarto<sup>1\*</sup>, dan Prabang Setyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia; email: [rm.sunarto@staff.uns.ac.id](mailto:rm.sunarto@staff.uns.ac.id)

## ABSTRAK

Telah dilakukan evaluasi status mutu air sungai Opak menggunakan metode biotilik yang mudah, sederhana dan tergolong murah untuk pemantauan dan pengawasan lingkungan. Penelitian dilakukan dengan pengujian kualitas air sungai Opak pada 6 titik menggunakan metode biotilik dan dievaluasi status mutunya. Kualitas air sungai juga dilakukan uji pada parameter kimia, fisika dan mikrobiologi untuk selanjutnya dievaluasi dengan metode *Storage and Retrieval* (STORET) dan Indeks Pencemaran (IP). Evaluasi kualitas air sungai dengan metode biotilik kemudian diuji korelasi signifikansinya dengan metode STORET dan IP. Evaluasi kualitas air sungai Opak dengan metode biotilik pada titik T-1, T-2, T-3 dan O-3 diketahui tercemar berat. Evaluasi dengan STORET menunjukkan di semua titik sampling tercemar berat, sedangkan evaluasi dengan metode IP memberikan hasil yang sama dengan metode biotilik hanya berbeda di titik O-1 yang teridentifikasi tercemar ringan. Uji korelasi metode biotilik hanya berkorelasi dengan metode IP dimana besaran korelasi sebesar -0,871 dengan signifikansi sebesar 0,024.

**Kata kunci:** biotilik, kualitas, IP, pencemaran, STORET, sungai

## ABSTRACT

An investigation has been carried out to assess the water quality status of the Opak River utilizing the biotilik method which is simpler, and more prudent for natural observing and supervision. This research analyzed the water quality of the Opak River at 6 distinctive testing areas utilizing the Biotilik method and assessed its contamination status. River water quality examination was moreover carried out for chemical, physical, and microbiological parameters and after that assessed utilizing the STORET and Pollution Index (IP) examination method. The river water quality utilizing the Biotilik assessment method was then compared to the STORET and IP examination by testing their significant correlation. The river water quality of the Opak River utilizing the Biotilik assessment method appeared that T-1, T-2, T-3, and O-2 are classified as heavily polluted. The water quality of the Opak River with the STORET assessment method appeared in all areas was heavily contaminated whereas the assessment with the IP method appeared comparative results to the Biotilik assessment with the contrast that at O-1 was only lightly contaminated. The relationship test of the Biotilik method as it were correlates with the IP method with a correlation of -0.871 with a significance of 0.024.

**Keywords:** biotilik, correlation, IP, pollution, quality, river water, STORET.

**Citation:** Ardyantoro, R., Sunarto, dan Setyono, P. (2025). Evaluasi Status Mutu Sungai Opak Terdampak TPST Piyungan Menggunakan Metode Biotilik dan Komparasinya dengan Metode STORET dan IP. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 392-401, doi:10.14710/jil.23.2.392-401

## 1. PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk di Yogyakarta berdampak pada makin banyak timbulan sampah yang terakumulasi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan Bantul Yogyakarta dan dapat menimbulkan kerugian ekologis akibat cemaran yang ditimbulkan sampah di TPST tersebut (Ariyani, 2019). Kandungan air hasil dari Instalasi Pengolahan Lindi TPST Piyungan diketahui masih melebihi baku mutu untuk parameter BOD, TSS, ammonia dan cadmium. Air hasil olahan lindi yang terbuang ke badan air yang

bermuara di sungai Opak mengakibatkan sungai terindikasi tercemar berat dan tidak memungkinkan untuk dikonsumsi sehari-hari. Kewajiban utama untuk memitigasi potensi cemaran air lindi tentunya ada di pihak pengelola TPST Piyungan dalam mengolah air lindi sebaik mungkin sebelum dibuang ke badan air sehingga kelestarian lingkungan, dalam hal ini sungai Opak, dapat terjaga. Peranan sungai Opak ini perlu dijaga karena beranekaragam jenis organisme dapat hidup di dasar sungai dan dijadikan sebagai habitat organisme-organisme tersebut serta

tempat untuk berkembang biak dan mencari makanan dalam rantai ekosistem sungai Opak (Naka dkk., 2022). Peran proaktif dalam menjaga kelestarian sungai Opak juga dapat dilakukan oleh masyarakat dengan melakukan pengawasan dan pemantauan kualitas air sungai.

Pengawasan dan pemantauan kualitas air sungai bukan perkara mudah karena menyangkut pengujian dan analisis kualitas air parameter kimia, fisik dan mikrobiologi yang membutuhkan biaya yang mahal, terlebih jika dilakukan secara berkala dengan titik pengawasan yang dimungkinkan lebih dari satu. Metode biotilik dapat digunakan sebagai alternatif karena relatif murah baik waktu maupun biaya untuk pengawasan lingkungan air sungai. Peralatan yang digunakan mudah didapat maupun proses sampling yang tidak perlu keahlian khusus oleh karenanya masyarakat umum dapat turut berpartisipasi dalam memantau kebersihan dan kesehatan lingkungan sekitar sungai (Elias, 2021). Biomonitoring atau biotilik hanya cukup melihat parameter biologi karena parameter ini dapat memberikan gambaran utuh perihal riwayat suatu ekosistem sungai. Analisis kualitas air yang dilakukan dengan melihat biota yang ada memiliki kelebihan dibandingkan dengan parameter secara fisik dan kimia, karena setiap biota yang ada di dalam ekosistem sungai dapat merespon dampak yang berbeda-beda terhadap perubahan suatu lingkungan (Barbour, 1999). Penelitian yang dilakukan Trisnaini dkk. (2018) menggunakan metode biotilik dapat dengan baik memberikan kesimpulan pencemaran di sungai Musi. Namun demikian, metode biotilik juga memiliki kekurangan dimana metode ini tidak dapat spesifik memberitahukan polutan mana yang berpengaruh erat atas kualitas lingkungan dan juga metode ini merupakan hasil penelitian yang bersifat tahunan. Oleh karena itu biomonitoring dengan metode biotilik perlu dilakukan validasi dengan membandingkan dengan metode analisis kualitas air lainnya.

Metode *Storage and Retrieval* (STORET) merupakan metode yang populer digunakan oleh praktisi dan peneliti kualitas air sungai di Indonesia. Metode STORET sensitif dalam merespon dinamika kualitas air pada tiap lokasi dengan sedikit atau banyak parameter. Makin banyak parameter air diukur kualitasnya maka makin banyak parameter yang memiliki kebolehjadian untuk tidak memenuhi baku mutu dan makin sering parameter tersebut tidak memenuhi ambang batas maka akan semakin jelek status mutu airnya (Nufutomo dkk., 2022). Metode Indeks Pencemaran (IP) biasa digunakan bersamaan dengan metode STORET sebagai pembanding dalam evaluasi status mutu air. Aplikasi dari kedua metode ini dapat menghasilkan hasil yang berbeda karena ada pembobotan tiap-tiap parameter yang berbeda. Penggunaannya metode STORET dan IP sudah menjadi *gold standard* evaluasi status mutu dan tertuang dalam KepMenLH Nomor 115 tahun 2003. Hanya saja, kedua metode tersebut memerlukan biaya yang tidak sedikit terkait pengujian fisika-kimia-

biologi, waktu pengerjaan lama dan tidak semua orang dapat melakukannya. Metode biotilik yang dipandang sebagai metode alternatif yang mudah, murah, cepat dan praktis perlu dikomparasikan metode STORET dan metode IP agar hasil dari metode biotilik dapat diketahui apakah tingkat kepercayaan dan validitas yang sama dengan metode STORET dan IP.

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian dan analisis kualitas air Sungai Opak dengan metode alternatif biotilik yang dibandingkan dengan analisis kualitas air sungai kimia-fisika-mikrobiologi dengan metode analisis STORET dan IP. Metode biotilik yang memiliki korelasi signifikan dengan metode STORET dan/atau IP dapat dijadikan sebagai instrumen alternatif pengawasan kualitas air sungai yang lebih praktis, mudah dan ekonomis.

## 2. METODE PENELITIAN

Air sungai 6 titik pada koordinat lokasi yang diperlihatkan pada Tabel 1, peta administrasi pada Gambar 1, lembar penilaian kualitas air dan perangkat lunak SPSS dan ArcGIS.

Sampel makroinvertebrata diambil menggunakan jaring D-net mesh ukuran 500 µm selama satu menit pada setiap titik sampling yang diletakkan pada dasar sungai menghadap ke arah hilir menggunakan teknik kicking and jabbing. Sampel makroinvertebrata dipisahkan dari substrat dengan cara menggoyang-goyangkan jaring di dalam air. Sampel yang sudah terpisah dari substrat kemudian dipindahkan ke dalam wadah penampung. Sampel yang sudah tertampung pada wadah penampung dikelompokkan dalam kotak es berdasarkan kesamaan morfologinya. Kemudian sampel yang sudah di kelompokkan berdasarkan kesamaan morfologinya. Sampel makroinvertebrata diidentifikasi level toleransinya terhadap cemaran untuk mendapat skor akhir.

Sebanyak 2 L sampel air sungai diambil pada titik yang sudah ditentukan dan disimpan pada jerigen. Sampel diuji sesuai SNI 6989:2005 untuk parameter pH, TSS, DO, BOD, COD, total fosfat, nitrat. Hasil pengujian kemudian dianalisis dengan metode STORET dan IP berdasarkan Kepmen LH No 115 Tahun 2003.

Uji T-test dilakukan dengan asumsi tidak ada pengaruh dan tidak berpasangan atau keterkaitan antara analisis satu dengan yang lain namun untuk membandingkan metode analisis biotilik dengan metode analisis STORET dan IP. Uji ini dilakukan dengan menginputkan skor nilai dari hasil analisis evaluasi status mutu dengan metode biotilik pada statistika SPSS 21 yang diujikan terhadap nilai hasil analisis evaluasi status mutu dengan metode STORET dan IP. Analisis biotilik, STORET dan IP dilakukan pada hasil uji kualitas air 6 titik lokasi seperti yang telah dijustifikasi pada poin pengujian sebelumnya. Hasil analisis T-test baik biotilik ke STORET maupun biotilik terhadap IP dilihat homogenitas varian dan signifikansi untuk menentukan apakah ada perbedaan antara analisis biotilik dengan analisis STORET dan IP.

Analisis kualitas air sungai parameter fisik-kimia-biologi dengan metode STORET dan IP dapat digunakan untuk memperkuat analisis hasil kualitas air sungai metode biotilik berdasarkan makroinvertebrata. Untuk mengetahui hubungan/korelasi antara metode biotilik terhadap metode

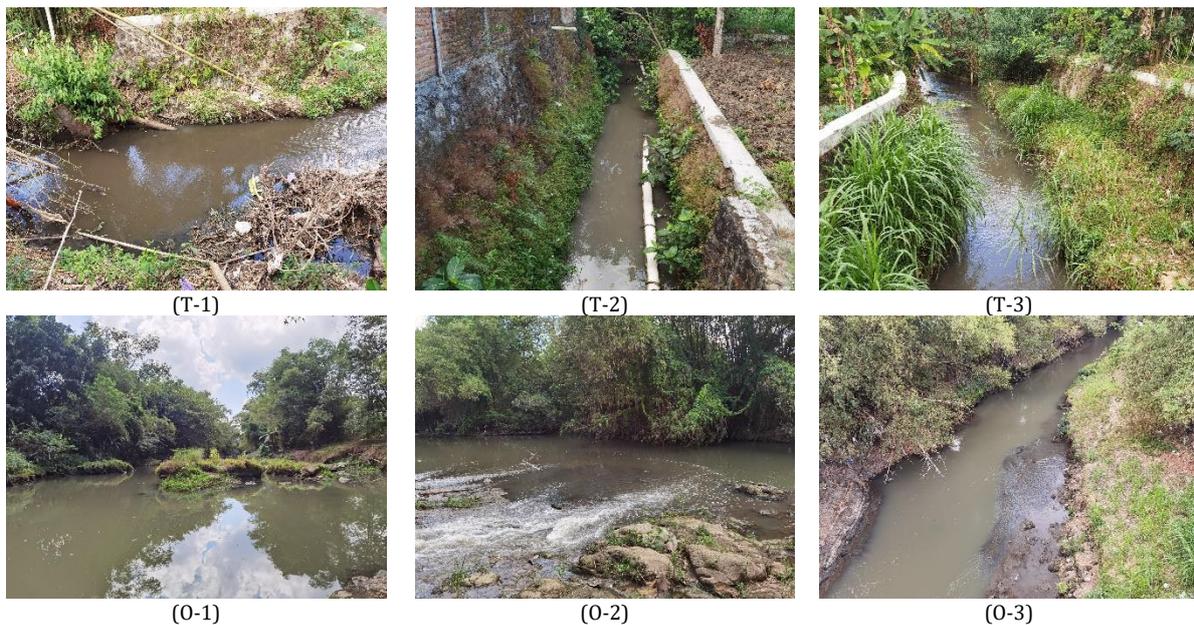
analisis STORET dan IP digunakan uji statistika korelasi Bivariate Pearson dengan memasukkan skor nilai dari analisis evaluasi status mutu metode biotilik, STORET dan IP dan akan menghasilkan kisaran nilai koefisien korelasi antara  $-1 < r < 1$ .

**Tabel 1.** Koordinat Pengambilan Sampel Air Sungai

Kode	Koordinat	Keterangan
T-1	7°51'29.9"S 110°25'45.4"E	Aliran dari TPST Piyungan
T-2	7°51'29.8"S 110°25'45.4"E	Aliran dari pabrik tekstil X sekitar TPST Piyungan
T-3	7°51'29.0"S 110°25'42.1"E	Titik temu aliran TPST dan pabrik X
O-1	7°51'16.6"S 110°25'38.9"E	Sungai Opak sebelum terdampak TPST Piyungan
O-2	7°51'25.4"S 110°25'32.6"E	Sungai Opak tepat terdampak TPST Piyungan
O-3	7°51'38.7"S 110°25'17.6"E	Sungai Opak setelah terdampak TPST Piyungan



**Gambar 1.** Titik Lokasi Pengambilan Sampel Air Sungai



**Gambar 2.** Kondisi Vegetasi di Lokasi Pengambilan Sampel Air

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Air Sungai Opak dengan Metode Biotilik

No.	Famili	Jumlah Individu					
		T-1	T-2	T-3	O-1	O-2	O-3
1	<i>Baetidae</i> - A				8		7
2	<i>Caenidae</i>		1		1		1
3	<i>Heptagenidae</i>				5		7
4	<i>Libellulidae</i>					6	
5	<i>Noteridae</i>				4		
6	<i>Chironomidae</i> - Merah	275	221	275	98	161	150
7	<i>Chironomidae</i> - Putih	16	8	16			
8	<i>Parathelphusidae</i> - A				1	5	5
9	<i>Buccinidae</i>					1	3
10	<i>Thiaridae</i> - A		4		13	9	11
11	<i>Tubificidae</i>		4				1
12	<i>Dugesidae</i>						3
Total		291	238	291	130	182	188

**Tabel 3.** Hasil Evaluasi Indeks Biotilik Air Sungai Opak

No	Komponen	Skor					
		T-1	T-2	T-3	O-1	O-2	O-3
1	Keragaman Famili	1	1	1	2	1	2
2	Keragaman EPT	1	1	1	3	1	3
3	%EPT	1	2	1	2	1	2
4	Indeks Biotilik	1	1	1	1	1	1
Total		4	5	4	8	4	8
Skor Rata-rata		1	1,25	1	2	1	2
Tingkat cemaran		Berat	Berat	Berat	Sedang	Berat	Sedang

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada titik T-1, T-2, T-3, O-1, O-2 dan O-3, pengamatan lingkungan fisik sempadan sungai Opak di titik-titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2. Vegetasi yang teramati di titik sampling dapat dikatakan masih baik utamanya pada titik lokasi di sempadan sungai Opak. Kondisi sempadan di aliran air dari TPST Piyungan memiliki vegetasi yang kurang baik dikarenakan betonisasi di sepanjang aliran. Teridentifikasi bahwa air di aliran air dari TPST Piyungan berwarna kehitaman dengan bau seperti air lindi baik di titik T-1 maupun T-3. Aliran air ini memiliki muara di titik O-2 dan tampak mencemari langsung sungai Opak yang terlihat di titik O-3 ditandai dengan sungai Opak menjadi kehitaman.

Hasil Tabel 2 menunjukkan biota yang hidup di titik T-1 dan T-3 adalah biota non-EPT. Keragaman spesies hanya ditemukan 2 famili saja yang mengindikasikan bahwa sungai pada titik T-1 tercemar berat karena hanya ditemukan individu dari famili *Chironomidae* merah dan putih. Kedua jenis makrozobentos tersebut termasuk dalam golongan bentos yang paling tahan pencemaran (Kranzfelder & Ferrington, 2018). Larva *Chironomidae* biasa dipergunakan menjadi bioindikator kualitas air sungai dalam penentuan tingkat cemaran akibat pencemaran organik. *Chironomidae* biasanya melimpah di air sungai dengan tingkat cemaran sedang. Namun, larva *Chironomidae* akan menurun apabila tingkat cemaran meningkat ke level pencemaran berat. Larva *Chironomidae* biasanya juga bersifat toleran terhadap pencemaran organik (Sriariyanuwath dkk., 2015). Keberadaan larva *Diptera* khususnya *Chironomidae* menunjukkan telah terjadi pencemaran organik sehingga dapat diasumsikan sumber cemaran diduga berasal dari buangan air olahan lindi TPST Piyungan. Hal ini sesuai

dengan jumlah individu famili tersebut yang cukup banyak pada titik T-1 maupun T-3 dan dari hasil analisis indeks biotilik didapat kesimpulan pada titik T-1 dan T-3 tercemar berat dengan skor 4.

Hasil monitoring titik T-2 pada Tabel 2 menunjukkan bahwa ada biota EPT famili *Caenidae*. Biota ini menjadi penentu kualitas air bersih. Famili *Caenidae* termasuk dalam ordo *Ephemeroptera*. Organisme pada ordo ini tergolong organisme yang intoleran, berarti, organisme yang hanya dapat berkembang atau tumbuh dalam rentang kondisi lingkungan yang sempit dan jarang ditemui di perairan yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Tingkat adaptasi organisme ini pada kondisi perairan yang mengalami penurunan kualitas sangat rendah bahkan cenderung tidak dapat beradaptasi (Tampo dkk., 2021). Oleh karena itu, famili *Caenidae* yang sedikit di perairan tersebut menjadi pertanda bahwa kualitas air pada titik T-2 tercemar berat dengan skor 5 hasil analisis indeks biomonitoring, sedikit lebih tinggi dari kualitas air titik T-1. Ditemukannya individu dari famili *Chironomidae* merah dan putih mengindikasikan bahwa pada titik T-2 tercemar berat. Kedua jenis makrozobentos tersebut termasuk dalam golongan bentos yang paling tahan pencemaran (Kranzfelder & Ferrington, 2018). Keberadaan pabrik tekstil yang kemungkinan menjadikan aliran air ini sebagai tempat buangan outlet air olahan IPAL pabrik tekstil X secara langsung berperan dari sedikitnya keragaman biota air akibat tidak dapat bertahan oleh cemaran. Namun demikian jika dicermati, jumlah individu *Chironomidae* merah dan putih pada titik T-2 teridentifikasi lebih sedikit daripada individu famili tersebut pada titik T-1. Hal ini bisa terjadi akibat adanya lahan pertanian di sepanjang aliran air sungai, residu pestisida yang telah diaplikasikan ke pertanian dan bermuara di

badan air menjadi alasan penurunan jumlah individu *Chironomidae*. Larva *Chironomidae* diketahui tidak tahan atau sensitif terhadap bahan-bahan toksik seperti logam berat dan pestisida.

Hasil pada titik O-1 yang dapat dilihat pada Tabel 2 menunjukkan terdapat famili *Heptagenidae*, *Baetidae*, dan *Caenidae* termasuk ke dalam ordo *Ephemeroptera* (Shaegi dkk., 2017). Makrozoobentos dari kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera* dan *Tricoptera* (EPT) merupakan jenis kelompok yang rentan terhadap pencemaran sungai, dan keberadaan maupun ketidakberadaan ketiga taksa ini dapat memberikan gambaran kualitas air itu baik atau sebaliknya (Hamid & Rawi, 2017). Keberadaan dan keragaman individu dari ordo *Ephemeroptera* mempengaruhi dari analisis perhitungan indeks biotilik pada Tabel 3 dan dihasilkan konklusi bahwa sungai Opak pada titik O-1 yang merupakan titik sebelum adanya masukan aliran air dari TPST Piyungan sudah tercemar sedang dengan skor 8.

Hasil pada titik ke O-2 didominasi oleh golongan non-EPT yaitu *Libellulidae*, *Chironomidae* merah, *Parathelphusidae*, *Buccinidae* dan *Thiaridae-A*. Dominasi *Chironomidae* merah menunjukkan bahwa Sungai Opak pada titik ke O-2 tercemar. Sebagaimana telah dijelaskan, individu dari famili *Chironomidae* diidentifikasi sebagai takson yang toleran atau tahan dengan cemaran (Hettige dkk., 2022). Hasil pengamatan yang kemudian dianalisis indeks biomonitoring pada Tabel 3 menunjukkan bahwa titik ke O-2 tercemar berat dengan skor 4. Masukan aliran air dari TPST Piyungan disinyalir menjadi penyebab utama dari kenaikan status cemaran sungai Opak dari sebelumnya di titik pengamatan O-1 masih tercemar sedang.

Hasil pemantauan biota titik O-3 di sungai Opak terdapat biota dari famili EPT yang hidup di titik tersebut. Makroinvertebrata jenis EPT tergolong rentan dan sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan perairan sungai. Makroinvertebrata ini hanya dapat bertahan hidup pada saat kondisi

perairan sungai yang bersih dan sehat. Sedikit saja cemaran yang masuk badan air dapat mengakibatkan turunnya populasi organisme EPT ini. Pencemaran akan terdeteksi apabila populasi EPT menurun dan juga apabila dijumpai organisme yang toleran terhadap polusi (Jerves-Cobo dkk., 2017). Keberadaan makroinvertebrata jenis EPT sangat tergantung pada kebersihan dan ketersediaan bahan makanan yang berasal dari vegetasi yang ada di sepanjang sungai (Hamid & Rawi, 2017). Namun demikian, keberadaan individu EPT yang masih sedikit dan masih didominasi individu dari famili *Chironomidae* merah menunjukkan bahwa air pada titik O-3 tercemar dengan derajat cemaran yang berbeda dari titik O-2 dan relatif mirip dengan titik O-1. Spesies *Chironomidae* sebagai indikator racun biota yang toleran terhadap serangkaian banyak faktor lain yang berbeda sehingga menurunkan spesies dari golongan EPT. Hasil analisis indeks biomonitoring pada titik O-3 pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sungai tersebut tercemar sedang dengan skor 8.

Keenam sampel air sungai dari titik pengambilan sampel diuji parameter kimia-fisika-biologi sesuai parameter Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 dengan hasil pada Tabel 4. Dari hasil pengujian air diketahui bahwa pada titik T-1 dan T3 memiliki kandungan TSS, Warna, COD, *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* yang tinggi. Untuk titik T-2, kandungan tinggi pada warna TDS, COD, BOD, *Total Coliform* dan *Fecal Coliform*. Titik sampel T-1 dan T3 merupakan aliran air yang berhubungan dengan TPST Piyungan sedangkan titik T-2 merupakan aliran air terhubung dengan outlet dari pabrik tekstil X. Pada titik O-2 memiliki kandungan warna, nitrit, COD, BOD, *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* yang relatif tinggi karena merupakan hilir aliran air yang terkoneksi TPST Piyungan. Titik O-1 dan O-3 yang merupakan titik sampling sungai Opak sebelum dan sesudah hilir aliran air dari TPST Piyungan kualitas air sungainya relatif baik.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Parameter Kimia-Fisika-Biologi Air Sungai Opak

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Sungai					
			T-1	T-2	T-3	O-1	O-2	O-3
<b>Fisika</b>								
1	TSS	mg/L	158	44	62	4	44	6
2	TDS	mg/L	138	190	176	131	190,3	139
3	Warna	mg/L	174	115	90	5	60,5	17
<b>Kimia</b>								
4	pH	mg/L	7,6	7,8	7,7	7,4	8,47	7,5
5	Fosfat	mg/L	0,6800	0,6650	0,9820	1,098	0,9273	1,054
6	Nitrit	mg/L	0,0068	0,0086	0,0086	0,0631	3,1849	0,5903
7	COD	mg/L	27,5	60,6	44,4	10,6	43,34	10,2
8	BOD	mg/L	2,4	15,5	9,9	1,2	4,95	1,3
9	DO	mg/L	5,7	0,4	0,4	7,2	4,73	6,9
10	Amoniak sebagai N	mg/L	0,0068	0,4944	0,2429	0,005	0,1531	0,0110
11	Fenol	mg/L	0,0316	0,0393	0,0546	0,0019	0,0021	0,0019
12	Detergen total	mg/L	0,0055	0,0048	0,0044	0,0036	0,1917	0,1053
13	Kromium heksavalen	mg/L	0,0065	0,0046	0,0046	0,0046	0,0051	0,0046
<b>Biologi</b>								
14	<i>Total Coliform</i>	CFU/100 mL	54.000.000	2.200.000	54.000.000	24.000	16.000.000	24.000
15	<i>Fecal Coliform</i>	CFU/100 mL	4.900.000	2.200.000	4.900.000	7.900	2.400.000	24.000

Berdasarkan hasil Tabel 4 kandungan fosfat baik titik 1 sampai dengan titik 6 melebihi baku mutu PP No 22 tahun 2021. Kandungan fosfat menurut peraturan tersebut maksimal 0,2 mg/L. Kandungan yang tinggi fosfat tersebut dimungkinkan akibat aktivitas pertanian seperti pemupukan menggunakan pupuk fosfat. Efisiensi penyerapan pupuk oleh tanaman diketahui berada pada kisaran 10-15% (Cassman dkk., 1996) sehingga residu dari pertanian terlimpas ke badan air dan meningkatkan kandungan fosfat dalam air sungai. Sumber masukan fosfat lain dimungkinkan juga berasal dari limbah detergen yang banyak digunakan pada berbagai bahan pencuci piring dan baju dimana bahan fosfat banyak digunakan pada detergen berbahan dasar fosfor. Titik O-1 dan titik ke O-3 memiliki kandungan fosfat yang relatif lebih tinggi dibanding yang lainnya. Hal ini diduga terkait dengan pemukiman di sekitar titik pengambilan sampel tersebut sehingga dimungkinkan adanya sumber cemaran dari aktivitas rumah tangga dengan penggunaan detergen oleh masyarakat sekitar dalam kegiatan pencucian alat rumah tangga dan pakaian sebagai limbah domestik (Zairinayati & Shatriadi, 2019). Deterjen dapat meningkatkan kadar fosfat pada kualitas air karena fosfat merupakan salah satu komposisi dalam detergen (Tungka et al., 2016). Kandungan fosfat dalam perairan tidak berdampak langsung kepada manusia ataupun hewan tetapi jika dikonsumsi terus menerus akan berdampak kepada masalah pencernaan.

Hasil uji Chemical Oxygen Demand (COD) menunjukkan titik T-1, T-2, T-3 dan O-2 memiliki kandungan COD yang tinggi. Pencemaran ini dikarenakan pada titik T-1 merupakan badan air dari TPST Piyungan dan dimungkinkan cemaran akibat lindi yang tidak terolah dengan baik yang terbuang ke badan air. Titik T-2 yang paling tinggi merupakan aliran air dari pabrik tekstil X dan masifnya keberadaan pertanian di sepanjang badan air sebelum titik T-2 dan menjadi penyebab tingginya COD dalam air sungai. Titik T-3 merupakan tempat persilangan dari TPST Piyungan dan dari pabrik tekstil X sehingga kandungan cenderung merupakan komposit dari kedua aliran titik tersebut dengan kandungan COD lebih besar dari T-1 dan lebih kecil dari T-2. Titik T-2 merupakan titik pertemuan dari TPST Piyungan, pertanian dan pabrik tekstil X pada sungai Opak. Titik O-2 ini kandungan limbah COD nya tidak sebesar relatif mirip dengan titik T-3 yang merupakan titik persilangan berbagai kegiatan di sepanjang sungai. Kandungan senyawa-senyawa organik yang tinggi menyebabkan kadar COD yang tinggi (Royani dkk., 2021).

Parameter selanjutnya yang menjadi pencemar air sungai adalah parameter BOD. Titik ke T-2, T-3 dan O-

2 menjadi titik yang tercemar kandungan BOD. Titik T-2 tercemar karena berkenaan dengan aliran air dari pabrik tekstil X dan pertanian dan menjadi titik yang memiliki kandungan BOD paling tinggi. Titik ke T-3 dan titik ke O-2 memiliki kandungan BOD tinggi karena kedua titik tersebut merupakan akumulasi aktivitas pertanian, pabrik tekstil X dan lindi dari TPST. Kandungan BOD yang tinggi menandakan minimnya oksigen terlarut yang terdapat di dalam perairan (Daroini & Arisandi, 2020). Kandungan BOD dapat diartikan kebutuhan oksigen mikroorganisme di perairan yang digunakan dalam proses biokimia. (Koda dkk., 2017). Buangan lindi, limbah domestik dan limbah dari pertanian yang tinggi kandungan organik memberi andil tingginya kandungan BOD dalam air.

Hasil nilai TSS menunjukkan titik T-1 dan T-3 yang berhubungan langsung dengan buangan air lindi dari TPST Piyungan memiliki kandungan TSS yang tinggi dan melebihi baku mutu. Kandungan TSS yang tinggi dimungkinkan karena limpasan sampah yang berada di sekitar instalasi dan genangan sampah yang berada pengolahan lindi (Yenita & Siprana, 2015). Faktor lain diduga karena adanya peningkatan kandungan pasir halus, lumpur, dan senyawa organik tidak terlarut yang ikut terbawa lindi. Kadar TSS lindi TPST Piyungan masih cukup tinggi sehingga perlu adanya peningkatan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Hasil pengamatan yang dilakukan didapatkan bahwa unit pengolahan lindi yang ada di TPST Piyungan masih belum efisien, masih sangat sederhana sehingga masih belum aman jika dibuang ke lingkungan di sekitar TPST Piyungan. Kondisi TSS yang tinggi dapat menyebabkan terhalangnya sinar matahari masuk ke dalam air limbah yang sedang mengalami pengolahan sehingga terhambatnya proses fotosintesis dan berkurangnya kadar oksigen dalam. Oleh karena itu aktivitas anaerobik menjadi lebih dominan dan hasil dari kegiatan bakteri anaerobik dapat membentuk hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), gas yang berbau busuk dan berbahaya, serta beberapa produk lainnya (Rizki dkk., al, 2015).

Hasil kandungan *fecal coliform* dan total *coliform* menunjukkan semua titik lokasi tercemar bakteri tersebut. Hal ini disebabkan oleh bakteri coliform dimungkinkan bersumber pada kotoran manusia dan hewan yang terdapat dalam jumlah banyak dan tingginya kandungan organik menjadi bahan makanan bakteri. Buangan limbah domestik, pabrik tekstil X, pertanian dan lindi dari TPST Piyungan dimungkinkan menjadi masukan atau penyebab tingginya kandungan coliform. Dari hasil pengujian kualitas air sungai kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan STORET dan IP yang dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Evaluasi Kualitas Air Sungai dengan Metode STORET dan IP

Titik	STORET		IP	
	Nilai	Tingkat Cemar	Nilai	Tingkat Cemar
T-1	-70	berat	15,02	berat
T-2	-96	berat	12,81	berat
T-3	-102	berat	15,27	berat
O-1	-48	berat	3,97	ringan
O-2	-76	berat	13,41	berat
O-3	-50	berat	5,72	sedang

**Tabel 6.** Uji Statistika *T-test* Metode Biotilik pada Metode STORET

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	9,285	0,012	7,286	10	0,000	82,500	11,323	57,271	107,729
Equal variances not assumed			7,286	5,044	0,001	82,500	11,323	53,470	111,530

Hasil Tabel 5 menunjukkan bahwa pada evaluasi kualitas air sungai dengan STORET menghasilkan kesimpulan cemaran berat pada ke semua titik lokasi sampling. Hal ini bisa terjadi karena pada evaluasi status mutu dengan STORET, nilai konversi pada parameter biologi memiliki porsi tertinggi diantara parameter lain. Dapat dilihat pada Tabel parameter biologi masing-masing bernilai -3 untuk evaluasi konsentrasi minimum dan maksimum jika melebihi baku mutu. Konsentrasi rata-rata parameter biologi jika melebihi baku mutu maka dikonversi -9. Dari satu parameter biologi jika kesemua kriteria tadi melebihi baku mutu maka total nilai sebesar -15. Jika terjadi cemaran pada kedua parameter *coliform* di semua titik yang jauh melebihi baku mutu maka secara signifikan mempengaruhi kesimpulan cemaran yang terjadi. Total indeks STORET dari dua parameter itu saja jika dijumlahkan maka akan bernilai -30 sedangkan pada Tabel disebutkan kriteria tercemar berat jika lebih kecil dari -30 yang mana berarti jika adanya satu saja parameter yang melebihi baku mutu maka otomatis kesimpulan cemaran menjadi tercemar berat. Jika menilik analisis kualitas air sungai parameter kimia-fisika-biologi pada subbab sebelumnya, parameter biologi erat kaitannya dengan parameter kimia dan fisika dan diperoleh nilai akhir evaluasi dengan STORET semua titik sampling lebih kecil dari -30. Oleh karena itu, pada semua titik pengamatan dikatakan tercemar berat.

Tingkat cemaran sungai yang cenderung menurun jika diukur pada jarak tertentu bisa diakibatkan dari kualitas air yang kembali seperti kualitas awal di titik O-1 sebelum dikenai cemaran akibat pencampuran kumulatif air sungai. Pasalnya cemaran dari TPST Piyungan teridentifikasi memiliki debit air yang relatif jauh lebih kecil ketimbang sungai Opak dengan debit aliran air yang besar, ingat prinsip pengenceran. Oleh karena itu, kualitas air O-3 diduga terkomposit menjadi mirip dengan kualitas air pada titik O-1 sebelum menerima masukan dari aliran air TPST Piyungan. Keberadaan vegetasi yang masih asri di sepanjang aliran sungai Opak seperti yang terlihat di Gambar turut membantu pemulihan kualitas air sungai. Peran vegetasi pada pemulihan kualitas air

sungai terletak pada kemampuan vegetasi dalam menyerap polutan di dalam air sungai sehingga dapat meningkatkan kualitas air sungai (Chen dkk., 2022). Pada tren pencemaran di sungai Opak, terlihat pada titik O-3 memiliki kualitas air sungai yang mirip dengan titik O-1 walaupun pada titik O-2 terdeteksi tercemar berat. Keberadaan vegetasi yang masih bagus di sempadan sungai Opak membantu pemulihan kualitas air sungai sehingga kualitas air sungai dari titik O-2 ke titik O-3 membaik. Oleh karena itu, keberadaan dan keragaman individu makrobentos pada titik O-3 cenderung lebih bisa bertahan dibandingkan jika berada di titik O-2 yang terdampak dari TPST Piyungan.

Uji-T atau *T-test* adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol dengan mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan dari dua rerata sampel. Dikarenakan data sampel diambil dari populasi yang tidak terkait satu dengan yang lain dari metode biotilik terhadap metode STORET dan IP, maka dilakukan uji *Independent T-test* (Syafriani dkk., 2023). Hasil uji statistika *T-test* metode biotilik pada metode STORET dapat dilihat pada Tabel 6.

Uji statistika *T-test* metode biotilik terhadap STORET pada Tabel 6 menghasilkan nilai *Sig. Levene's Test for Equality of Variances* adalah sebesar 0,012. Nilai tersebut < 0,05 sehingga dapat diartikan bahwa varian data antara kedua metode tidak homogen (Sujarweni, 2014). Selanjutnya karena tidak homogen maka penafsiran dari *T-test* berpedoman pada nilai pada kolom *equal variances not assumed* didapat nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,001. Karena nilai tersebut < 0,05, maka dapat dikatakan  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima, dengan demikian disimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan antara metode evaluasi biotilik dan STORET. Perbandingan t hitung terhadap t tabel pun memberikan kesimpulan yang sama, dimana diketahui nilai t hitung sebesar 7,286 lebih besar dari t tabel sebesar 2,262. Dengan demikian  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima sehingga dapat dikatakan ada perbedaan signifikan dari hasil evaluasi metode biotilik dengan metode STORET (Sarwono, 2015).

**Tabel 7.** Uji Statistika *T-test* Metode Biotilik pada Metode IP

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	9,408	,012	-2,428	10	,036	-5,20000	2,14168	-9,97195	-,42805
Equal variances not assumed			-2,428	6,367	,049	-5,20000	2,14168	-10,36809	-,03191

**Tabel 8.** Hasil Statistika untuk Analisis Korelasi Metode Biotilik, STORET dan IP

		Indeks Biotilik
STORET	Pearson Correlation	0,572
	Sig. (2-tailed)	0,235
	N	6
Indeks Pencemaran	Pearson Correlation	-0,871*
	Sig. (2-tailed)	0,024
	N	6

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Uji statistika *T-test* metode biotilik terhadap IP pada Tabel 7 menghasilkan nilai Sig. Levene's Test for Equality of Variances adalah sebesar 0,012. Nilai tersebut < 0,05 sehingga dapat diartikan bahwa varian data antara kedua metode tidak homogen (Sujarweni, 2014). Selanjutnya karena tidak homogen maka penafsiran dari *T-test* berpedoman pada nilai pada kolom *equal variances not assumed* didapat nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,049. Karena nilai tersebut < 0,05, maka dapat dikatakan  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima, dengan demikian disimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan antara metode evaluasi biotilik dan IP. Perbandingan t hitung terhadap t tabel pun memberikan kesimpulan yang sama, dimana diketahui nilai t hitung sebesar 2,428 lebih besar dari t tabel sebesar 2,262. Dengan demikian  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima sehingga dapat dikatakan ada perbedaan signifikan dari hasil evaluasi metode biotilik dengan metode IP (Sarwono, 2015). Namun demikian nilai signifikansi hampir memenuhi syarat untuk dikatakan sama untuk rata-rata indeks kedua metode analisis tersebut (Andrade, 2019).

Korelasi dari metode analisis biotilik terhadap metode analisis STORET dan IP diuji statistika dengan korelasi *Bivariate Pearson*. Dari Tabel 8 dapat diketahui hanya metode IP yang memiliki korelasi dengan metode biotilik dengan adanya tanda bintang pada nilai korelasi. Pada korelasi antara metode biotilik terhadap metode STORET dilihat dari nilai signifikansi sebesar 0,235 > 0,05 yang berarti tidak ada korelasi yang signifikan antara metode biotilik dengan metode analisis STORET. Nilai *pearson correlation* memberikan dimensi apabila nilai korelasinya makin mendekati nilai 1 maka semakin kuat atau sempurna atau signifikan korelasi antara sampel yang diperbandingkan, begitupun sebaliknya, semakin mendekati nilai 0 maka semakin tidak ada korelasi antara sampel yang diperbandingkan (Schober dkk., 2018). Nilai *pearson correlations* kedua metode tersebut yang sebesar 0,572 dapat diartikan korelasi antara metode analisis biotilik terhadap metode analisis STORET tidak terlalu signifikan.

Di lain sisi, nilai signifikansi memperlihatkan adanya korelasi antara metode analisis biotilik dengan metode analisis IP dengan nilai sebesar 0,024 < 0,05. Selain itu r hitung atau *pearson correlations* diketahui lebih besar dari r tabel yakni 0,871 > 0,811 sehingga memperkuat kesimpulan adanya korelasi antara metode biotilik dengan metode IP. Nilai r hitung yang bernilai negatif bukan diartikan nilainya kecil, nilai negatif hanya memperlihatkan hubungan metode analisis biotilik berkebalikan dengan metode analisis IP dalam menentukan status mutu air sungai (Schober dkk., 2018). Hal ini dikarenakan indeks yang digunakan dalam menentukan cemaran pada biotilik semakin besar nilainya maka semakin baik status mutunya. Sebaliknya, indeks yang digunakan metode IP semakin besar nilainya maka semakin buruk status mutunya.

Evaluasi status mutu dengan metode STORET kurang cocok untuk digunakan pada penelitian ini. Seyogyanya penggunaan metode STORET digunakan dalam penentuan status mutu air berupa time series sesuai dengan kepanjangan STORET, *storage* yang berarti disimpan dan *retrieval* yang berarti dipakai kembali. Hal ini selaras dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Pada prinsipnya pengukuran menggunakan data tunggal di lokasi yang sama namun di waktu yang berlainan seringkali dapat menghasilkan status mutu air yang berbeda pula (Martin-Garcia dkk., 2024). Hal ini mengakibatkan perbedaan penafsiran menyoal status mutu kualitas air yang dipantau dan dapat menimbulkan kerancuan atau perbedaan persepsi bagi masyarakat umum. Dalam penelitian Aristawidya dkk. tahun 2020, metode STORET lebih akurat menjelaskan kondisi pencemaran jika dilakukan pada interval waktu tertentu. Sedangkan pada penelitian hanya dilakukan teknik sampling *grab sampling* sehingga analisis status mutu hanya menggambarkan hanya pada saat pengambilan sampel (Bernard dkk., 2019; Valenzuela dkk., 2020). Oleh karena penggunaan data yang tidak sesuai dengan prinsip uji metode evaluasi STORET,

maka dalam penelitian ini metode evaluasi STORET memberikan hasil yang tidak maksimal dalam penentuan korelasi metode analisis STORET yang diperbandingkan dengan metode analisis biotilik.

Namun demikian, adanya korelasi signifikan metode analisis biotilik terhadap metode analisis IP dapat dipandang bahwa metode analisis biotilik memiliki tingkat kepercayaan yang dapat disandingkan dengan *gold standard* metode evaluasi status mutu air. Oleh karena itu, aplikasi biotilik dalam pemantauan lingkungan cukup dapat dipercaya dan dapat dipertanggungjawabkan untuk mengatakan lingkungan air itu tercemar atau tidak.

#### 4. KESIMPULAN

Evaluasi status mutu air sungai Opak dilakukan dengan menggunakan metode analisis biotilik, STORET dan IP. Dari keenam titik pengujian kualitas air, diketahui bahwa hampir kesemua titik telah tercemar berat yang erat kaitannya dengan keberadaan TPST Piyungan yang bermuara di sungai Opak. Metode analisis biotilik sebagai metode alternatif evaluasi air yang mudah, murah, cepat dan praktis terbukti dapat disandingkan dengan metode analisis IP dengan korelasi signifikan sebesar 0,871. Oleh karena itu, hasil evaluasi dengan metode biotilik dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan untuk mengatakan suatu lingkungan air itu tercemar atau tidak. Kedepannya, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkomparasikan metode analisis biotilik terhadap metode analisis STORET dengan menggunakan *data set* secara *time series* sesuai dengan prinsip analisis STORET.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andrade C. 2019. The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives. *Indian Journal of Psychological Medicine* 41:210. DOI: 10.4103/IJPSYM.IJPSYM\_193\_19
- Aristawidya M, Hasan Z, Herawati H. 2020. Status Pencemaran Situ Gunung Putri di Kabupaten Bogor Berdasarkan Metode STORET dan Indeks Pencemaran. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia* 27: 27-38. DOI: 10.14203/limnotek.v27i1.311
- Ariyani SF, Putra HP, Kasam, Damanhuri E, and Sembiring E. 2019. Evaluation of waste management in Piyungan landfill, Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 280, 1-11. DOI: 10.1051/mateconf/201928005018
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, and Stribling JB. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bernard M, Boutry S, Lissalde S dkk. 2019. Combination of passive and grab sampling strategies improves the assessment of pesticide occurrence and contamination levels in a large-scale watershed. *The Science of The Total Environment* 651:684-695. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.202
- Cassman KG, Gines GC, Dizon MA, Samson MI, Alcantara JM. 1996. Nitrogen-use efficiency in tropical lowland rice systems: Contributions from indigenous and applied nitrogen. *Field Crops Research* 47) 1-12. DOI: 10.1016/0378-4290(95)00101-8
- Chen J, Yang T, Wang Y, Jiang H, He C. 2022. Effects of ecological restoration on water quality and benthic macroinvertebrates in rural rivers of cold regions: A case study of the Huaide River, Northeast China. *Ecological Indicator* 142. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109169
- Daroini TA & Arisandi A. 2020. Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) Di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil* 1:4. DOI: 10.21107/juvenil.v1i4.9037
- Elias DJ. 2021. Simple and Cost-Effective Biomonitoring Method for Assessing Pollution in Tropical African Rivers. *Open Journal of Ecology* 11:4. DOI: 10.4236/oje.2021.114027
- Hamid SA, Rawi CSM. 2017. Application of Aquatic Insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) In Water Quality Assessment of Malaysian Headwater. *Tropical Life Sciences Research* 28:143-162. DOI: 10.21315/tlsr2017.28.2.11.
- Hettige, ND, Hashim R, Kutty AA, Ash'aari, ZH, Jamil NR. 2022. Using Benthic Macroinvertebrate Distribution and Water Quality as Organic Pollution Indicators for Fish Farming Areas in Rawang Sub-basin, Selangor River, Malaysia: A Correlation Analysis. *Journal of Fisheries and Environment*, 46: 180-197.
- Jerves-Cobo R, Everaert G, Iñiguez-Vela X, Córdova-Vela G, Díaz-Granda C, Cisneros F, Nopens I, Goethals PLM. 2017. A Methodology to Model Environmental Preferences of EPT Taxa in the Machangara River Basin (Ecuador). *Water* 159: 1-31. DOI: 10.3390/w9030195
- Koda, E., Miszkowska, A., and Sieczka, A. (2017). Levels of Organic Pollution Indicators in Groundwater at the Old Landfill and Waste management Site. *Applied Sciences*, 7(6): 1-22.
- Kranzfelder P & Ferrington LC. 2018. Chironomidae (Diptera) species diversity of estuaries across a land use gradient on the Caribbean coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 66: 1118-1134. DOI: 10.15517/rbt.v66i3.31927
- Martin-Garcia AP, Egea-Corbacho A, Franco AA, Rodriguez-Barroso R, Coello MD, Quiroga JM. 2024. Grab and composite samples: Variations in the analysis of microplastics in a real wastewater treatment plant in the South of Spain. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 11:2. DOI: 10.1016/j.jece.2023.109486
- Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Departemen Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Naka LN, Werneck FP, Rosser N, Pil1 MW, and Boubli JP. 2022. Editorial: The role of rivers in the origins, evolution, adaptation, and distribution of biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10. DOI: 10.3389/fevo.2022.1035859
- Nufutomo TK, Manalu YS, & Muntalif BS. 2022. STORET (Storage and Retrieval) method for analysis and identification of water pollutants in the Upper Citarum Watershed, West Java, Indonesia. *IOP*

Ardyantoro, R., Sunarto, dan Setyono, P. (2025). Evaluasi Status Mutu Sungai Opak Terdampak TPST Piyungan Menggunakan Metode Biotilik dan Komparasinya dengan Metode STORET dan IP. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 392-401, doi:10.14710/jil.23.2.392-401

- Conference Series: Earth Environmental Science 1201012050. DOI: 10.1088/1755-1315/1201/1/012050
- Pemerintah Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah RI Nomer 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pemerintah Indonesia, Jakarta.
- Rizki N, Sutrisno E & Sumiyati S. 2015. Penurunan Konsentrasi COD dan TSS pada Limbah Cair Tahu dengan Teknologi Kolam (Pond) – Biofilm Menggunakan Media Biofilter Jaring Ikan dan Bioball. *Jurnal Teknik Lingkungan* 4:1.
- Royani S, Fitriana AS, Enarga ABP, Bagaskara HZ. 2021. Kajian Cod dan Bod Dalam Air di Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Kaliiori Kabupaten Banyumas. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* 13:1. DOI: 10.20885/jstl.vol13.iss1.art4
- Sarwono J. 2015. Rumus-rumus Populer dalam SPSS 22 untuk Riset Skripsi. Yogyakarta: Andi Offset.
- Schober P, Boer C & Schwarte LA. 2018. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia* 126:1. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864
- Shaeghi M, Dehghan H, Pakdad K, Nikpour F, Absavaran A, Sofizadeh A, Akhavan AA, Vatandoost H, Aghai-Afshar. 2017. Faunistic Study of the Aquatic Arthropods in a Tourism Area in Northern Iran. *Iranian Journal of Arthropod-Borne Diseases* 11(2):276-291. PMID: PMC5641617
- Sriariyanuwath E, Sangpradub N, & Hanjavanit C. 2015. Diversity of chironomid larvae in relation to water quality in the Phong River, Thailand. *AAFL Bioflux*, 8:933-945.
- Sujarweni VW. 2014. *Metodologi Penelitian*. Pustaka Baru Press. Yogyakarta.
- Syafriani D, Darmana A, Syuhada FA & Sari DP. 2023. *Buku Ajar Statistik Uji Beda untuk Penelitian Pendidikan (Cara dan Pengolahannya dengan SPSS)*. Purbalingga: Eureka.
- Tampo L, Kaboré I, Alhassan EH, Ouéda A, Bawa LM, Djaneye-Boundjou G dkk. 2021. Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river. *Frontiers in Water* 3. DOI: 10.3389/frwa.2021.662765
- Trisnaini I, Kumalasari TN & Utama F. 2018. Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 17:1. DOI: 10.14710/jkli.17.1.1-8.
- Tungka AW, Haeruddin & Ain C. 2016. Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Kaitannya dengan Kelimpahan Fitoplankton Harmful Alga Blooms (HABs). *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology* 12:1. DOI: 10.14710/ijfst.12.1.40-46
- Valenzuela EF, Menezes HC, & Cardeal ZL. 2020. Passive and grab sampling methods to assess pesticide residues in water. *A Review Environmental Chemistry Letters* 18:1019-1048. DOI: 10.1007/s10311-020-00998-8
- Zairinayati & Shatriadi H. 2019. Biodegradasi Fosfat pada Limbah Laundry menggunakan Bakteri Consorsium Pelarut Fosfat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 18:1. DOI: 10.14710/jkli.18.1.57-61