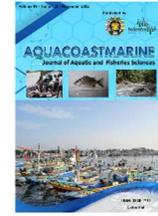




AQUACOASTMARINE

Journal of Aquatic and Fisheries Sciences

Journal homepage: <https://talenta.usu.ac.id/aquacoastmarine>



Status Kualitas Air Sungai Tumapel di Kawasan Singosari Kabupaten Malang dengan Metode Biotilik dan FBI (*Family Biotic Index*)

Water Quality Status of Tumapel River in Singosari Area, Malang Regency Using Biotilik Method and FBI (*Family Biotic Index*).

Mohamad Erik Erlangga^{*1}, Hamdani Dwi Prasetyo², Husain Latuconsina³ 

¹Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Malang, Indonesia

*Corresponding Author: erikerlangga0701@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 25 Oktober 2024

Revised : 16 November 2024

Accepted: 17 November 2024

Available online 26 November 2024

E-ISSN: 2829-1751

How to cite:

Erlangga, M.E., Prasetyo, H.D. & Latuconsina, H. (2024). Uji Perbandingan Metode Biotilik dan FBI (*Family Biotic Index*) Dalam Meninjau Kualitas Air di Sungai Tumapel Kawasan Singosari Kabupaten Malang. AQUACOASTMARINE: J.Aquat.Fish.Sci, 3(2), 84-95.

ABSTRACT

The Tumapel River in Malang is utilized by the community for various daily activities, such as agriculture, livestock farming, bathing, washing, and waste disposal, which can potentially degrade water quality. This study aims to assess the water quality condition of the Tumapel River using the Biotic Analysis and Family Biotic Index (FBI) methods. An exploratory method was employed, with samples collected from four observation stations, each with five repetitions. The results of the study indicated that both biological methods consistently demonstrated that the Tumapel River is polluted. The river flow in natural riparian areas showed moderate pollution, heavy pollution in agricultural and residential areas, and very heavy pollution in livestock areas. This study recommends regular water quality monitoring, enhancement of the Biotic Analysis method involving academics, identification of pollution sources, community education, and sustainable river management.

Keyword: Tumapel River, Water Quality, FBI, Biotilik

ABSTRAK

Sungai Tumapel di Malang digunakan oleh masyarakat untuk berbagai aktivitas sehari-hari seperti pertanian, peternakan, mandi, mencuci serta pembuangan limbah sehingga berpotensi menurunkan kualitas air. Tujuan penelitian ini untuk menilai kondisi kualitas air Sungai Tumapel menggunakan metode analisis Biotilik dan FBI (*Family Biotic Index*) Metode eksploratif digunakan dengan pengambilan sampel di empat stasiun pengamatan sebanyak 5 kali ulangan dan Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode biologis tersebut sama-sama menunjukkan bahwa air Sungai Tumapel telah tercemar. Aliran Sungai pada kawasan riparian alami menunjukkan kualitas air tercemar sedang. Tercemar berat pada kawasan Pertanian dan pemukiman. Sedangkan untuk aliran Sungai pada kawasan peternakan kualitas air tercemar sangat berat. Penelitian ini merekomendasikan pemantauan rutin kualitas air, peningkatan metode Biotilik dengan melibatkan akademisi, identifikasi sumber pencemaran, edukasi masyarakat, dan pengelolaan Sungai secara berkelanjutan.

Keyword: Sungai Tumapel, Kualitas Air Sungai, FBI, dan Biotilik



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
[10.32734/jafs.v3i2.18698](https://doi.org/10.32734/jafs.v3i2.18698)

1. Pendahuluan

Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sungai tidak hanya berperan sebagai sumber air bersih untuk keperluan konsumsi, tetapi juga memiliki fungsi ekosistem yang vital. Sungai juga menjadi suatu bentuk ekosistem akuatik yang dimana perannya sangat penting sebagai sistem hidrologi serta sebagai daerah tangkapan air (*cachment area*) untuk daerah sekitarnya, sehingga menjadikan kondisi suatu Sungai sangat dipengaruhi karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan sekitar (Latuconsina, 2019).

Sungai Tumapel adalah Sungai yang memiliki aliran yang melintasi kawasan Singosari kota Malang. Sungai Tumapel sendiri memiliki aliran yang mengalir sepanjang tahun, yang dimana potensi dari Sungai Tumapel di dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk keperluan, mandi, mencuci, memancing, mengairi persawahan dan pembuangan limbah peternakan sehingga diperlukannya pemantauan terhadap kualitas air Sungai. Menurut (Prasetyo & Hayati, 2020) bahwasannya ekosistem perairan Sungai sangat berperan penting dalam kehidupan manusia, tetapi ekosistem ini semakin terhimpit oleh bertambahnya jumlah penduduk. Situasi seperti ini semakin diperparah oleh kegiatan aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan, akibatnya menghasilkan pencemaran yang dapat menurunkan kualitas air Sungai Tumapel.

Pada Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 mengatur tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Pada Pasal 1 ayat (2) PP No. 22 Tahun 2021, Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk mel. estarikan fungsi Lingkungan Hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan Lingkungan Hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum. Kualitas air bisa diartikan sebagai keadaan suatu massa air baik kuantitatif maupun kualitatif yang diukur dan diidentifikasi dari segi sifat kimia, fisika, biologi, dan radioaktif yang dapat mempengaruhi penggunaan air tersebut. Kualitas air Sungai sangat mempengaruhi kesehatan manusia dan kelangsungan hidup berbagai makhluk hidup di dalamnya. Oleh karena itu, pemantauan dan peninjauan berkala terhadap kualitas air Sungai menjadi suatu kebutuhan yang mendesak (Khoiruddin et al., 2020).

Salah satu penilaian kualitas air yakni metode Biotilik, yang terinspirasi dari berbagai organisme hidup, metode ini telah menjadi pendekatan menarik dalam menjauhkan manusia dari praktik-praktik konvensional yang mungkin dapat merusak lingkungan. Menurut lembaga ECOTON (*Ecological Observation and Wetland Conservations*) pada bukunya Panduan Biotilik dijelaskan bahwa Biotilik berasal dari kata 'Bio' yang berarti biota, dan 'Tilik' berarti mengamati dengan teliti, sehingga Biotilik adalah pemantauan lingkungan menggunakan indikator biota, sinonim dengan istilah biomonitoring. Biotilik juga merupakan singkatan dari BIOta Tidak bertuLang belakang Indikator Kualitas air yaitu makroinvertebrata bentos, misalnya serangga air, kepiting, udang, siput, dan cacing. Biotilik adalah pemantauan lingkungan menggunakan indikator biota. Menurut lembaga Ecoton (*Ecological Observation and Wetland Conservation*) yang berperan memunculkan gagasan melakukan Biotilik di Indonesia mengatakan bahwasannya perhitungan skor parameter makroinvertebrata didasarkan sensitivitas makroinvertebrata terhadap pencemaran, sehingga dikelompokkan menjadi kelompok famili hewan yang sensitif yaitu famili *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera* (EPT) dan famili non EPT yang kurang sensitif terhadap pencemaran, misalnya *Coenagrionidae*, *Tubificidae*. Menurut Widianarko & Sholeh (2018) metode Biotilik mengadopsi prinsip-prinsip alamiah yang diterapkan oleh organisme hidup, sehingga metode Biotilik dapat memberikan solusi yang inovatif dan berkelanjutan dalam monitoring kualitas air sungai. Monitoring kualitas air yang biasa digunakan menggunakan parameter fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika dan kimia dalam penggunaannya cenderung memberikan gambaran seketika dan seringkali menghasilkan data dengan tingkat klarifikasi dan peralihan yang bersifat umum. Sedangkan monitoring yang menggunakan parameter biologi sangat penting karena dapat mengantisipasi perubahan kualitas lingkungan perairan (Trisnaini et al., 2018).

Penggunaan metode Biotilik atau biota makroinvertebrata sebagai indikator dapat digunakan dalam pengujian kualitas air dalam parameter biologi. Penggunaan biota makroinvertebrata terhadap Sungai Tumapel karena cenderung menetap relatif lebih lama serta memiliki kesensitifan dalam mendeteksi perubahan kondisi kualitas perairan Sungai Tumapel (Luthfi et al., 2018). Menurut Mariantika & Retnaningdyah (2014) penggunaan FBI dalam penelitian ini sebagai pembanding dari metode Biotilik. FBI dapat menilai status kualitas air berdasarkan tingkat toleransi keluarga makroinvertebrata terhadap pencemaran organik, sehingga metode ini lebih sederhana dan mudah diaplikasikan di berbagai wilayah dengan berbagai kondisi ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Tumapel di kawasan Singosari kabupaten Malang berdasarkan metode Biotilik dan *Family biotic index* (FBI).

2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2024, dimulai dari pengambilan sampel di Sungai Tumapel Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang dan proses identifikasi sampel di lakukan di Labolatorium Terpadu dan Halal Center (THC).

2.1 Alat dan Bahan

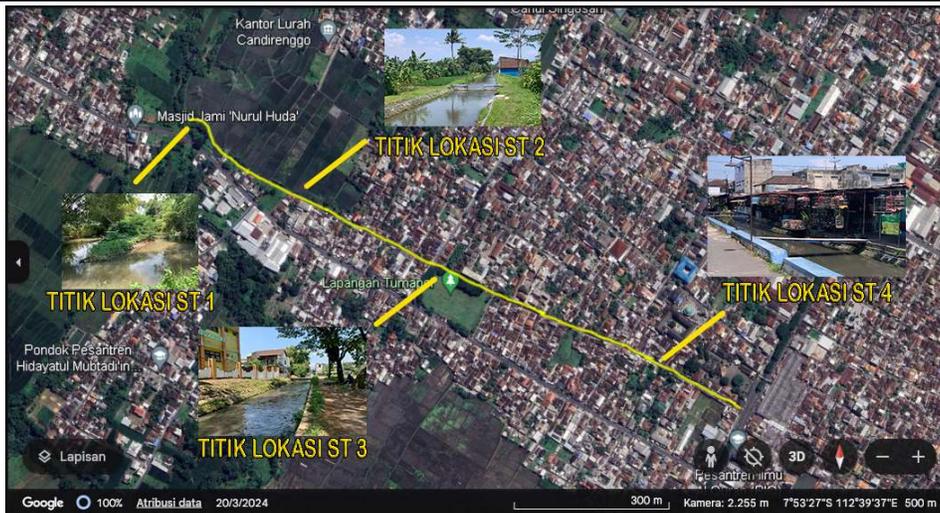
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi; Botol sampel, kick net, baskom, kuas kecil, piring plastik, kertas label, alat tulis, mikroskop stereo, dan kamera. Sementara bahan yang digunakan adalah makroinvertebrata bentos, buku identifikasi dan alkohol 70%.

2.2 Metode Penelitian

Pengambilan data sampel menggunakan metode *purposive sampling*. Penentuan lokasi sampling berdasarkan kondisi lingkungannya serta aktivitas antropogenik yang berada sekitar aliran Sungai Tumapel. Penentuan stasiun ditentukan sebanyak 4 titik stasiun yang menggambarkan kondisi daerah aliran Sungai Tumapel yakni :

Tabel 1. Titik koordinat setiap stasiun pada Sungai Tumapel

Stasiun	Koordinat lokasi stasiun	Aktivitas antropogenik
1	7°53'21"S 112°39'23"E	Zona alami riparian
2	7°53'25"S 112°39'26"E	Pertanian
3	7°53'32"S 112°39'41"E	Pembuangan limbah domestik (area pemukiman)
4	7°53'37"S 112°39'52"E	Area Peternakan



Gambar 1. Peta lokasi Sungai Tumapel (Google Earth, 2024)

Penentuan titik lokasi penelitian dilakukan secara purposive berdasarkan keadaan lingkungan yang berada di sekitar aliran Sungai Tumapel. Stasiun yang di gunakan dalam penelitian ini sebanyak 4 stasiun dengan panjang Sungai 1.196,29 meter.



Tabel 2. Profil setiap titik lokasi stasiun pengamatan.

Pengambilan sampel pada Indikator biologi berdasarkan pada buku panduan metode Biotilik (2022) pengambilan sampel menggunakan metode Biotilik dengan cara menggunakan teknik pengerukan dasar perairan dengan bantuan saringan/kicknet. Kemudian hasil pengerukan jika ada hewan makrozobentos masukan ke dalam wadah atau baskom dengan air yang mengalir sambil di goyangkan. Lalu pilahkan

makrozobentos dengan tanah/pasir lalu masukan makrozobentos ke dalam botol/toples yang berisikan larutan alkohol 70%. Setelah itu botol/toples sampel di bawa menuju laboratorium. Setelah itu sampel di identifikasi menggunakan buku identifikasi hewan avertebrata yang telah di siapkan. Semua tahapan kegiatan metode Biotilik di dokumentasikan kemudian data di analisis menggunakan indeks Biotilik maka yang perlu di ketahui adalah :

- Jumlah seluruh individu
- Keragaman jenis famili
- Keragaman jenis famili EPT
- Presentase kelimpahan EPT
- Indeks Biotilik = $\frac{X}{N}$

Keterangan :

X = Jumlah individu suatu jenis x skor jenis individu.

N = Jumlah seluruh individu

Tabel 3. Kriteria Kualitas Air Metode Biotilik

Kriteria kualitas air	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Rerata skor	3,3 – 4,0	2,6 – 3.2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7

Sumber : Buku Panduan Metode Biotilik (2022)

Pada indikator FBI (*Family Biotic Index*) pengambilan sampel bentos dilakukan dengan cara menurunkan grab *sampler* ke dasar perairan, kemudian sedimen yang terambil diayak untuk memisahkan organisme bentos pada aliran Sungai hingga diperoleh 100 individu pada tiap stasiun. Kemudian sampel yang didapat dimasukkan ke dalam botol sampel yang berisikan larutan alkohol 70% (Diani, 2024). Setelah itu. Sampel kemudian dibawa menuju laboratorium. Sampel yang sudah siap lalu diidentifikasi menggunakan mikroskop stereo dan buku identifikasi Mandaville (2002). Semua tahap kegiatan didokumentasikan kemudian data dianalisis menggunakan indeks FBI dan dihitung dengan menggunakan rumus (Hilsenhoff, 1988) berikut:

$$FBI = \frac{\sum Xi ti}{\sum n}$$

Keterangan :

Xi = Jumlah individu dalam takson

Ti = Nilai toleransi suatu takson

N = Jumlah total organisme dalam sampel (100)

2.3 Analisis data

Analisis data pada parameter biologi menggunakan sampel makrozobentos yang akan di analisis dengan indeks FBI (*Family Biotic Index*) dan menggunakan indeks Biotilik lalu hasil pengujian dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Tabel 4. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Indek Biotik Famili (Hilsenhoff,1988)

Famili Biotik Indeks	Kualitas Air	Tingkat Pencemaran Organik
0,00 – 3,75	Paling baik	Polusi organik tidak mungkin terjadi
3,76 – 4,25	Sangat baik	Kemungkinan polusi organik ringan
4,26 – 5,00	Baik	Kemungkinan adanya polusi organik
5,01 – 5,75	Sedang	Kemungkinan polusi cukup besar
5,76 – 6,50	Agak buruk	Kemungkinan terjadinya polusi besar
6,51 – 7,25	Buruk	Kemungkinan terjadinya polusi yang sangat besar
7,26 – 10,00	Sangat buruk	Kemungkinan terjadi polusi organik yang parah

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Metode Biotilik

Pada hasil penelitian di Sungai Tumapel Kabupaten Malang mengidentifikasi total 10 makrozobentos di empat stasiun pengamatan. Dengan variasi makrozobentos yang berbeda-beda di setiap stasiunnya. Pada

stasiun 1 skor rata-rata yang di dapat sebesar 2,25 yang termasuk dalam kategori tercemar sedang. Penyebab stasiun 1 masuk dalam kategori tercemar sedang karena masih ada beberapa sampah buangan yang datang dari aliran Sungai sebelumnya walaupun pada stasiun 1 Gambaran wilayahnya masih termasuk banyak riparian alami di sepanjang Sungai Tumapel stasiun 1. Hal ini serupa dengan penelitian dari (Ashar et al., 2020) yang mengatakan pada penelitiannya meskipun riparian masih alami, bisa jadi ada sumber pencemaran yang tidak langsung berasal dari area tersebut, seperti limpasan dari area pertanian, perkotaan, atau industri di bagian hulu Sungai. Polutan seperti pupuk, pestisida, atau limbah rumah tangga dapat terbawa aliran air ke area yang terlihat alami.

Makrozobentos yang paling banyak ditemukan pada stasiun satu yakni *Caenidae*, *Nepidae*, dan *Melanoides*. Banyaknya ditemukan spesies tersebut dikarenakan spesies tersebut memiliki toleransi tinggi terhadap pencemaran. Menurut (Ediyono and Indrawati, 2020) Spesies-spesies yang memiliki toleransi lebih tinggi terhadap kualitas air yang menurun cenderung mampu bertahan dalam kondisi tercemar dibandingkan dengan spesies yang lebih sensitif sehingga tidak mendukung bagi biota yang lebih rentan.

Tabel 5. Makrozobentos yang ditemukan dengan metode Biotilik pada stasiun 1.

Stasiun	Nama Jenis	Skor	Jumlah	X = (Jumlah) x (Skor)
Stasiun 1	<i>Nepidae</i> (Non EPT)	2	24	48
	<i>Caenidae</i> (EPT)	2	28	56
	<i>Melanoides</i> (Non EPT)	2	27	54
	<i>Chironomidae</i> (Non EPT)	1	8	8
		4	13	52
		3	2	6
Jumlah			102	218

Jumlah seluruh individu (N) = 108

Keragaman jenis famili = 6

Keragaman jenis famili EPT = 2, dengan jumlah total = 56 + 52 = 108

Presentase kelimpahan EPT dihitung dengan rumus, (Jumlah EPT / N) x 100% = (28 + 13)/102 x 100% = 40,2%

Indeks Biotilik (X / N) = 218 / 102 = 2,13

Tabel 6. Skoring Penilaian Biotilik Stasiun 1

Parameter	Skor				Skor Penilaian
	4	3	2	1	
Keragaman jenis famili	>13	10 – 13	7 – 9	<7	1
Keragaman jenis famili EPT	<7	3 – 7	1 – 2	0	2
Presentase kelimpahan EPT	40%	>15 – 40%	>0 – 15%	0	4
Indeks Biotilik (X / N)	3,3 – 40	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7	2
Total skor					9
Skor rata-rata					2,25

Tabel 7. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Skoring Menggunakan Metode Biotilik Sungai Tumapel Stasiun 1

Kriteria Kualitas Air	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Rerata Skor	3,3 – 4,0	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7

Pada stasiun 2 skor rata-rata yang di dapat dalam indeks Biotilik adalah sebesar 1,5 yang mana hal ini stasiun 2 termasuk dalam kategori tercemar berat. Pada stasiun 2 penyebab terjadinya pencemaran yang sangat berat karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi terutama dalam sektor limbah pertanian dan adanya aktivitas manusia di sepanjang Sungai Tumapel stasiun 2 berupa mencuci, mandi, dan buang air besar/kecil. Menurut (Firmansyah et al, 2021) aktivitas manusia yang berlebihan, terutama yang berkaitan dengan pembuangan limbah, akan mempengaruhi komposisi dan kelimpahan makroinvertebrata yang digunakan sebagai indikator dalam Biotilik. Banyaknya di temukan makrozobentos berupa *Melanoides* pada stasiun 2, yang mana dalam hal ini membuktikan bahwa sangat tercemarnya perairan Sungai pada stasiun 2. Hal ini didukung dengan penelitian dari (Aulia et al, 2020) mengatakan bahwa *Melanoides* adalah salah satu makrozoobentos yang memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang tercemar. Mereka dapat bertahan dalam perairan dengan kadar oksigen rendah, serta mampu hidup di lingkungan dengan kandungan

bahan organik tinggi dan polutan kimia. Spesies yang lebih sensitif biasanya tidak mampu bertahan dalam kondisi yang tercemar berat, sehingga *Melanoides* mendominasi.

Banyaknya *Melanoides* yang ditemukan di stasiun 2, yang tercemar berat, menunjukkan bahwa spesies ini mampu beradaptasi dan bertahan dalam kondisi lingkungan yang tercemar, di mana spesies lain yang lebih sensitif tidak dapat bertahan hidup. Kehadirannya dalam jumlah besar adalah indikator bahwa ekosistem Sungai tersebut telah mengalami penurunan kualitas yang signifikan, memungkinkan spesies toleran seperti *Melanoides* untuk mendominasi (Nguyen et al., 2021)

Tabel 8. Makrozobentos yang ditemukan dengan metode Biotilik pada stasiun 2.

	Nama Jenis	Skor	Jumlah	X = (Jumlah) x (Skor)
Stasiun 2	<i>Nepidae</i> (Non EPT)	2	7	14
	<i>Caenidae</i> (EPT)	2	8	16
	<i>Melanoides</i> (Non EPT)	2	28	56
	<i>Chironomidae</i> (Non EPT)	1	27	27
	<i>Tubificidae</i> (Non EPT)	1	29	29
	<i>Simuliidae</i> (Non EPT)	2	3	6
Jumlah			102	148

Jumlah seluruh individu (N) = 102

Keragaman jenis famili = 6

Keragaman jenis famili EPT = 1, dengan jumlah total 16

Presentase kelimpahan EPT, (Jumlah EPT / N) x 100% = (8 / 102) x 100% = 7,84%

Indeks Biotilik (X / N) = 148 / 102 = 1,45

Tabel 9. Skoring Penilaian Biotilik Stasiun 2

Parameter	Skor				Skor Penilaian
	4	3	2	1	
Keragaman jenis famili	>13	10 – 13	7 – 9	<7	1
Keragaman jenis famili EPT	<7	3 – 7	1 – 2	0	2
Presentase kelimpahan EPT	40%	>15 – 40%	>0 – 15%	0	2
Indeks Biotilik (X / N)	3,3 – 40	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7	1
Total skor					6
Skor rata-rata					1,5

Tabel 10. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Skoring Menggunakan Metode Biotilik Sungai Tumapel Stasiun 2

Kriteria Kualitas Air	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Rerata Skor	3,3 – 4,0	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7

Sama seperti stasiun 2, pada stasiun 3 ini mendapatkan kategori tercemar berat dengan skor rata-rata sebesar 0,5. Nilai dari skor pada stasiun 3 lebih rendah dari pada stasiun sebelumnya (stasiun 2 dan stasiun 1) dikarenakan pada wilayah stasiun 3 melintasi kawasan pemukiman padat penduduk. Sebagian besar limbah warga seperti sampah rumah tangga cukup banyak di jumpai pada Sungai Tumapel stasiun 3 ini. Di sisi lain banyak juga kegiatan aktivitas antropogenik manusia dalam stasiun ini berupa mencuci di beberapa titik sepanjang stasiun 3. Makrozobentos yang paling banyak di temukan adalah *Melanoides* dan *Tubificidae*. Makrozobentos ini sangat rentan sekali terhadap perubahan kualitas air. Tingginya bahan organik dan rendahnya oksigen pada stasiun 3 ini menjadi tempat tinggal yang cocok untuk *Melanoides* dan *Tubificidae*. Menurut (Gusna et al, 2022) pada kondisi pencemaran berat, terutama yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembuangan limbah organik (feses, urin, detergen) dan limbah pertanian (nitrat, fosfat), kandungan bahan organik dalam air sangat tinggi. *Melanoides* dan *Tubificidae* adalah pengurai (detritivor) yang dapat memanfaatkan bahan organik ini sebagai sumber makanan. Hal ini juga serupa dengan penelitian dari (Sudarmo et al, 2023) mengatakan bahwa *Melanoides* dan *Tubificidae* memiliki laju reproduksi yang sangat tinggi, baik secara seksual maupun aseksual. Mereka dapat berkembang biak dengan cepat dalam kondisi lingkungan yang mendukung, seperti adanya bahan organik yang melimpah. Ini membuat populasi mereka bisa meningkat pesat dalam waktu singkat, terutama di Sungai yang memiliki sumber nutrisi yang berlimpah karena pencemaran.

Tabel 11. Makrozobentos yang ditemukan dengan metode Biotilik pada stasiun 3.

	Nama Jenis	Skor	Jumlah	X = (Jumlah) x (Skor)
Stasiun 3	<i>Tubificidae</i> (Non EPT)	1	46	46
	<i>Melanooides</i> (Non EPT)	2	58	116
	<i>Tipupidae</i> (Non EPT)	3	3	9
	<i>Parathephusidae</i> (Non EPT)	2	2	4
Jumlah			109	175

Jumlah seluruh individu (N) = 109

Keragaman jenis family = 4

Keragaman jenis family EPT = -

Presentase kelimpahan EPT = -

Indek Biotilik (X / N) = 175 / 109 = 1,6

Pada stasiun 4, hasil perhitungan indeks Biotilik yang di dapat dengan skor sebesar 1,4, hasil ini menunjukkan lebih rendah dari pada stasiun 3 yang mendapatkan skor indeks Biotilik sebesar 1,6, artinya pada stasiun 4 ini bisa dikatakan lebih buruk lagi dari pada stasiun 3 walaupun pada kriteria kualitas air menggunakan indeks Biotilik dengan rata-rata skornya sama-sama 0,5 yang masuk dalam kategori tercemar berat. Pada stasiun 4, makrozobentos yang paling banyak ditemukan adalah *Tubificidae* dari pada 2 makrozobentos lainnya (*Melanooides* dan *Parathephusidae*). Wilayah stasiun 4 berada pada wilayah peternakan dan pemukiman padat penduduk serta banyak dijumpai di beberapa titik Sungai Tumapel selama stasiun 4 dijumpai aktivitas manusia mencuci, membuang air besar/kecil, serta ada beberapa penduduk yang membuang sampah pada Sungai, jika dilihat dari faktor-faktor pada wilayah stasiun 4 ini sudah menggambarkan bagaimana tercemarnya Sungai Tumapel. Sampah domestik yang dibuang langsung ke Sungai memperburuk pencemaran. Sampah organik terurai dan meningkatkan kandungan bahan organik dalam air, sementara sampah non-organik (plastik, logam, dll.) menyebabkan degradasi fisik lingkungan Sungai. Kumulasi sampah di Sungai juga menghalangi aliran air dan mempercepat sedimentasi, yang menciptakan habitat yang mendukung spesies toleran seperti *Tubificidae* dan *Melanooides*, sementara menghambat spesies yang lebih sensitif terhadap polusi (Hanum et al, 2022).

Tabel 12. Skoring Penilaian Biotilik Stasiun 3

Parameter	Skor				Skor Penilaian
	4	3	2	1	
Keragaman jenis famili	>13	10 – 13	7 – 9	<7	1
Keragaman jenis famili EPT	<7	3 – 7	1 – 2	0	0
Presentase kelimpahan EPT	40%	>15 – 40%	>0 – 15%	0	0
Indeks Biotilik (X / N)	3,3 – 40	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7	1
Total skor					2
Skor rata-rata					0,5

Tabel 13. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Skoring Menggunakan Metode Biotilik Sungai Tumapel Stasiun 3

Kriteria Kualitas Air	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Rerata Skor	3,3 – 4,0	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7

Tabel 14. Makrozobentos yang ditemukan dengan metode Biotilik pada stasiun 4

	Nama Jenis	Skor	Jumlah	X = (Jumlah) x (Skor)
Stasiun 4	<i>Tubificidae</i> (Non EPT)	1	59	59
	<i>Melanooides</i> (Non EPT)	2	39	78
	<i>Parathephusidae</i> (Non EPT)	2	4	8
Jumlah			102	145

Jumlah seluruh individu (N) = 102

Keragaman jenis family = 3

Keragaman jenis family EPT = -

Presentase kelimpahan EPT = -

Indek Biotilik (X / N) = 145 / 102 = 1,4

Tabel 15. Skoring Penilaian Biotilik Stasiun 4

Parameter	Skor				Skor Penilaian
	4	3	2	1	
Keragaman jenis famili	>13	10 – 13	7 – 9	<7	1
Keragaman jenis famili EPT	<7	3 – 7	1 – 2	0	0
Presentase kelimpahan EPT	40%	>15 – 40%	>0 – 15%	0	0
Indeks Biotilik (X / N)	3,3 – 40	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7	1
Total skor					2
Skor rata-rata					0,5

Tabel 16. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Skoring Menggunakan Metode Biotilik Sungai Tumapel Stasiun 4

Kriteria Kualitas Air	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Rerata Skor	3,3 – 4,0	2,6 – 3,2	1,8 – 2,5	1,0 – 1,7

3.2 Hasil Pengujian Metode FBI (Family Biotic Index)

Metode FBI mampu menilai tingkat pencemaran Sungai Tumapel yang dibagi menjadi empat stasiun penelitian. Berdasarkan nilai FBI, stasiun yang memiliki nilai FBI tertinggi terdapat pada stasiun 4, hal ini dikarenakan adanya aktivitas antropogenik berupa peternakan burung dan melintasi wilayah pemukiman. Menurut (Yati, 2021) Pencemaran air Sungai dapat menghilangkan biota karena dampaknya terhadap oksigen terlarut, pH, toksisitas, sedimentasi, dan perubahan ekosistem yang kompleks. Banyak organisme air sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, sehingga ketika terjadi pencemaran, mereka tidak mampu bertahan hidup atau berkembang biak, yang pada akhirnya mengurangi keanekaragaman hayati di Sungai. Lalu pada stasiun 1 nilai FBI yang di dapat dikategorikan paling rendah dari 3 stasiun lainnya hal ini diakibatkan karena stasiun 1 berada pada zona riparian. Menurut (Dwi Prasetyo and Hayati, 2020) menyatakan bahwa ekologi zona riparian dapat mengendalikan stabilitas tepi Sungai, dapat menjadi filter dari berbagai jenis limpasan (runoff) residu zat pencemar dan membantu terjadinya infiltrasi dan juga menyediakan habitat biota akuatik seperti (makrozoobentos).

Pada stasiun 2 dan 3 yang masuk dalam garis kategori sedang yang kemungkinan polusi cukup besar. Penyebab stasiun 2 dan 3 masuk dalam kategori sedang karena pada stasiun 2 dan 3 melintasi wilayah pertanian dan pemukiman penduduk serta sepanjang arus Sungai stasiun 2 dan 3 banyak terdapat aktivitas warga seperti mencuci, mandi, memancing, dan ada beberapa yang melakukan pembuangan sampah pada aliran Sungai tersebut. Menurut (Sedana et al, 2018) Pencemaran juga bisa mengganggu siklus hidup organisme perairan. Banyak organisme air seperti ikan dan invertebrata memiliki siklus hidup yang bergantung pada kondisi lingkungan tertentu, seperti suhu air, ketersediaan makanan, dan kualitas habitat. Ketika pencemaran mengubah kondisi tersebut, misalnya dengan mengganggu suhu air atau merusak habitat penting seperti area bertelur atau tempat mencari makan, hal ini dapat menyebabkan penurunan populasi organisme secara drastis.

Penggunaan metode FBI dalam pengamatan ini memiliki kekurangan dan keunggulannya. Kelebihannya dari FBI sendiri adalah metode yang relatif sederhana dengan kategori toleransi yang sudah ditetapkan berdasarkan penelitian ekstensif, FBI dirancang untuk mendeteksi polusi organik, sehingga sangat cocok digunakan di perairan yang terpengaruh oleh limbah domestik atau pertanian yang menyebabkan peningkatan bahan organik serta FBI menghasilkan nilai numerik yang dapat dengan mudah digunakan untuk membandingkan kualitas air di berbagai lokasi (Ramadhan and Prawati, 2023). Sedangkan kekurangan dari FBI sendiri adalah FBI lebih fokus pada dampak polusi organik dan tidak mempertimbangkan jenis polusi lainnya seperti logam berat, pestisida, atau polutan anorganik lainnya (Muhdin and Torodjo, 2023). Menurut (Ramadhani, 2023) FBI kurang memberikan gambaran menyeluruh tentang ekosistem Sungai secara keseluruhan karena hanya melihat toleransi terhadap polusi organik. Variasi kecil dalam ekosistem yang mungkin tidak berkaitan dengan polusi organik bisa diabaikan serta FBI hanya menggunakan tingkat famili, sehingga keanekaragaman spesies yang lebih mendetail dan spesifik mungkin terlewatkan. Penggunaan taksonomi yang lebih rendah (seperti spesies) bisa memberikan informasi yang lebih akurat.

Tabel 17. Famili yang ditemukan di tiap stasiun pengamatan

Stasiun Pengamatan	Famili Biota	Xi	Ti	Xi.Ti	FBI
Stasiun 1	<i>Caenidae</i>	33	7	231	$FBI = \frac{\sum Xi ti}{\sum n} = \frac{506}{90} = 5,6$
	<i>Thiaridae</i>	24	4	96	
	<i>Chironomidae</i>	28	6	168	
	<i>Chloroperlidae</i>	3	1	3	
	<i>Hydrophilidae</i>	2	4	8	
Total		90		506	
Stasiun 2	<i>Caenidae</i>	8	7	56	$FBI = \frac{\sum Xi ti}{\sum n} = \frac{638}{95} = 6,7$
	<i>Thiaridae</i>	28	4	112	
	<i>Chironomidae</i>	27	6	162	
	<i>Tubificidae</i>	29	10	290	
	<i>Simuliidae</i>	3	6	18	
Total		95		638	
Stasiun 3	<i>Tubificidae</i>	46	10	460	$FBI = \frac{\sum Xi ti}{\sum n} = \frac{701}{107} = 6,5$
	<i>Thiaridae</i>	58	4	232	
	<i>Tipulidae</i>	3	3	9	
	<i>Gecarcinucoidea</i>	2	0	0	
Total		109		701	
Stasiun 4	<i>Tubificidae</i>	59	10	590	$FBI = \frac{\sum Xi ti}{\sum n} = \quad = 7,6$
	<i>Thiaridae</i>	39	4	156	
	<i>Gecarnucoidea</i>	4	0	0	
Total		102		746	

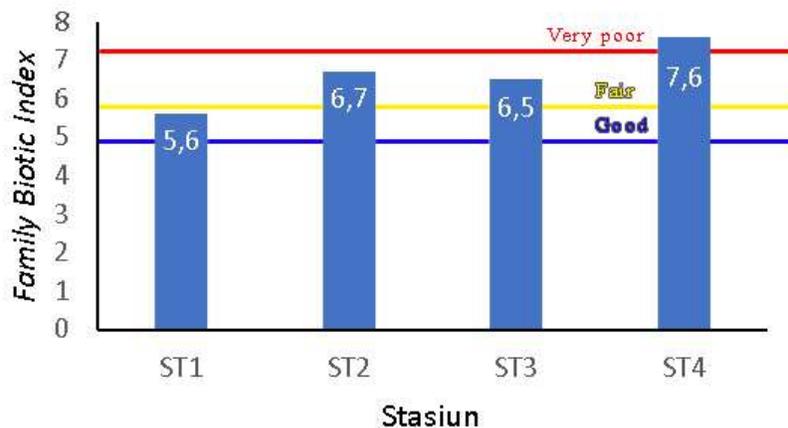
Nilai *Family Biotic Index* (FBI) di Sungai Tumapel di bagi menjadi 3 kategori pencemaran antara lain baik (*Good*), sedang (*Fair*), dan sangat buruk (*Very poor*) (Gambar 2). Dapat diketahui bahwa pada Gambar 8 di stasiun 4 memiliki perbedaan yang signifikan dengan stasiun lainnya. Nilai yang di dapat pada stasiun 4 yaitu sebesar 7,6 yang masuk dalam kategori kualitas air Sungai sangat buruk (*Very poor*), tingkat pencemaran polusi organik yang terdapat pada stasiun 4 terbilang sangat parah. Makroinvertebrata yang paling banyak di jumpai pada stasiun 4 yaitu dari famili *Tubificade* dari 1 famili lainnya (*Thiaridae*) dengan nilai toleransinya 10 yang artinya sangat toleran terhadap pencemaran. Hal ini didukung dengan pernyataan dari (Hana *et al.*, 2023) yang menyatakan bahwa *Tubificidae* adalah cacing yang dapat hidup di lingkungan dengan kadar oksigen yang sangat rendah, bahkan di kondisi anoksik (tanpa oksigen). Mereka mampu bertahan di lingkungan yang mengandung bahan organik tinggi, yang sering kali menjadi ciri khas air yang tercemar berat. *Tubificidae* memakan detritus dan bahan organik yang ada di dasar perairan. Di perairan yang tercemar, tingkat bahan organik dan sedimen sering kali tinggi karena adanya pencemaran dari limbah domestik, pertanian, atau industri. Hal ini menyediakan banyak makanan bagi *Tubificidae*, sehingga populasinya bisa berkembang pesat (Ramadini, 2019).

Pada stasiun 2 dan 3 mendapatkan nilai FBI sebesar 6,7 dan 6,5 yang berarti termasuk dalam kategori agak buruk. Makroinvertebrata bentos yang paling banyak di jumpai pada stasiun 2 dan 3 yakni *Thiaridae* dibandingkan 4 famili lainnya (*Chironomidae*, *Tubificidae*, *Simuliidae*, *Tipulidae*) yang ditemukan pada stasiun 2. Menurut (Rosyadi and Ali, 2020) *Thiaridae*, yang merupakan siput air tawar, lebih menyukai habitat dengan substrat dasar yang stabil, seperti pasir atau kerikil, serta aliran air yang lambat hingga sedang. Hal ini menggambarkan kondisi lingkungan air Sungai pada stasiun 2 dan 3 yang memiliki kondisi substrat yang lebih stabil atau aliran air yang tidak terlalu deras dibandingkan dengan stasiun lainnya, maka habitat ini menjadi lebih mendukung bagi *Thiaridae* untuk berkembang. *Thiaridae* cenderung lebih toleran terhadap kualitas air yang sedang hingga tercemar ringan, tetapi tidak sebaik *Tubificidae* dalam bertahan di air yang sangat tercemar. Jika stasiun 2 dan 3 memiliki tingkat pencemaran tinggi dibandingkan dengan stasiun 4 yang lebih rendah, tetapi tidak sebersih stasiun 1, ini bisa menjelaskan mengapa *Thiaridae* lebih mendominasi. Mereka mungkin menemukan kondisi optimal pada tingkat pencemaran tertentu.

Pada stasiun 1 memiliki nilai FBI sebesar 5,6 yang berarti masuk dalam kategori sedang dengan kemungkinan tingkat pencemaran polusi organik. Pada stasiun 1 lebih banyak dijumpai famili *Caenidae* dan *Chironomidae* dari pada 3 famili lainnya (*Thiaridae*, *Chloroperlidae*, *Hydrophilidae*) yang ditemukan pada stasiun 1. Jika kita lihat dari preferensi habitat dari *Caenidae* dan *Chironomidae*, menurut (Diani, 2024)

Caenidae adalah salah satu famili dari serangga air yang tergolong dalam ordo *Ephemeroptera* (kecoa air). Mereka cenderung hidup di substrat yang berlumpur atau berpasir, dan meskipun cukup sensitif terhadap pencemaran, mereka masih bisa bertahan dalam kondisi kualitas air yang sedang. *Caenidae* sering ditemukan di daerah aliran Sungai yang memiliki substrat berpasir atau berlumpur, yang bisa ditemukan di Sungai dengan vegetasi riparian yang cukup (Xiao-Dong et al, 2020).

Sedangkan *Chironomidae*, atau larva nyamuk non-biting, sangat toleran terhadap berbagai kondisi lingkungan dan dapat hidup dalam berbagai kualitas air, mulai dari yang cukup bersih hingga yang tercemar ringan. *Chironomidae* juga sering ditemukan di Sungai dengan vegetasi tepi (riparian), karena daerah ini sering memiliki pasokan bahan organik dari tumbuhan yang gugur, yang bisa menjadi sumber makanan bagi mereka. Maka Dominasi *Caenidae* dan *Chironomidae* di stasiun 1, meskipun berada di area yang relatif jauh dari aktivitas antropogenik dan dikelilingi oleh vegetasi riparian, disebabkan oleh kombinasi toleransi mereka terhadap kualitas air sedang (ditunjukkan oleh nilai FBI 5,6), preferensi habitat yang mendukung, dan ketersediaan makanan organik dari tumbuhan sekitar. Famili lain seperti *Thiaridae*, *Chloroperlidae*, dan *Hydrophilidae* mungkin kurang dominan karena perbedaan kebutuhan habitat atau preferensi terhadap kondisi air yang berbeda. Total makroinvertebrata bentos yang di dapatkan pada aliran Sungai Tumapel sebanyak 8 famili yaitu *Caenidae*, *Thiaridae*, *Chironomidae*, *Chloroperlidae*, *Hydrophilidae*, *Tubificidae*, *Simuliidae*, *Tipulidae*, *Gecarcinucoidea*



Gambar 2. Perbandingan nilai FBI Makroinvertebrata bentos antar stasiun pengamatan

3.3. Perbandingan FBI dan Biotilik

Pada penggunaan Biotilik dan FBI selama pengamatan di Sungai Tumapel ini memberikan beberapa faktor kelebihan dan kekurangannya. Jika dari kelebihanannya, Biotilik dapat mendeteksi tidak hanya polusi organik tetapi juga jenis pencemaran lain seperti polusi kimia, logam berat, dan eutrofikasi sedangkan FBI secara khusus dirancang untuk mengukur polusi organik melalui perubahan populasi makroinvertebrata air (misalnya, serangga). Menurut (Nurjanah,2023) Biotilik menggunakan spektrum organisme yang lebih luas, sehingga lebih sensitif terhadap berbagai jenis polutan, misalnya, alga dan mikroorganisme lebih peka terhadap perubahan kadar nutrien, sementara ikan bisa menjadi indikator keberadaan logam berat atau bahan kimia beracun lainnya.

Jika dalam segi kemampuan mendeteksi polusi dalam jangka panjang FBI kurang efektif karena terbatas pada organisme akuatik yang digunakan. Biotilik memungkinkan pemantauan polusi dalam jangka panjang melalui perubahan dalam struktur komunitas organisme, mencatat dampak kumulatif dari paparan polusi (Ni'am et al, 2022). FBI lebih cenderung memberikan gambaran polusi dalam jangka pendek berdasarkan komposisi makroinvertebrata pada waktu tertentu, sehingga mungkin kurang efektif dalam mendeteksi polusi yang bertahap atau jangka panjang (Nahli et al, 2022). Jika dalam segi tujuan dan fokus utamanya, FBI fokus pada makroinvertebrata (seperti serangga air, larva, siput) sebagai indikator kualitas air, terutama yang berkaitan dengan polusi organik sehingga tujuan dari FBI sendiri adalah untuk memberikan penilaian tentang beban organik di badan air. Hal ini serupa dengan (Ratnasari et al, 2023) yang mengatakan FBI menghitung indeks yang mengukur tingkat toleransi yang berfokus pada spesies makroinvertebrata terhadap polusi organik berdasarkan kehadiran dan kelimpahan berbagai famili.

Sedangkan Biotilik lebih beragam dalam menggunakan organisme akuatik seperti Nekton, Neuston, Bentos, dan Planton sehingga fokus dari Biotilik untuk memahami keseimbangan ekosistem dan dampak jangka panjang dari polusi (Buku Panduan Metode Biotilik, 2020). Dalam pernyataan ini juga serupa dengan

(Janah et al, 2024) yang mengatakan bahwa Biotilik dalam meninjau kualitas air menggunakan beragam organisme akuatik, termasuk tumbuhan, ikan, mikroorganisme, dan makroinvertebrata. Pendekatannya lebih luas karena mengukur respons ekosistem terhadap berbagai jenis polusi (polutan kimia, fisik, dan biologis). Jika dalam segi data dan outputnya pada FBI menampilkan hasil yang simple, walaupun FBI dapat menampilkan informasi terkait kualitas air Sungai tetapi tidak secara menyeluruh. Nilai FBI menampilkan hasil yang sederhana, dengan interpretasi yang terfokus pada tingkat pencemaran organik. Ini memberikan indikator kualitas air, tetapi tidak memberikan banyak informasi tentang dampak ekologi secara lebih luas. (Fabanjong and Inayah, 2021). Kebalikan dari FBI, Biotilik menampilkan hasil kualitas air yang menyeluruh, karena melibatkan analisis struktur komunitas organisme, dampak pada rantai makanan, serta potensi bioakumulasi polutan. Sehingga pemilihan metode tergantung pada tujuan penelitian atau pemantauan, apakah untuk penilaian cepat atau analisis menyeluruh terhadap kualitas air dan ekosistemnya sehingga dapat dilakukan pemantauan secara berkelanjutan oleh pihak-pihak terkait.

4. Kesimpulan

Penilaian kualitas air Sungai Tumapel menggunakan metode Biotilik dan Family Biotic Index (FBI) menunjukkan tingkat pencemaran yang berbeda-beda. Di kawasan riparian alami, kualitas air tercemar sedang, sedangkan di kawasan pertanian, tercemar berat akibat penggunaan pupuk dan pestisida. Di kawasan pemukiman, pencemaran berat disebabkan oleh limbah domestik, dan di kawasan peternakan, kualitas air tercemar sangat berat akibat limbah peternakan dan domestik. Metode FBI cocok untuk analisis cepat dan sederhana yang berfokus pada pencemaran organik, sedangkan metode Biotilik memberikan gambaran lebih mendalam tentang kesehatan ekosistem dengan mampu mendeteksi berbagai jenis pencemaran dan dampak jangka panjang. Penelitian ini merekomendasikan pemantauan rutin kualitas air, pengembangan metode Biotilik dengan melibatkan akademisi, identifikasi sumber pencemaran, edukasi masyarakat, dan pengelolaan sungai secara berkelanjutan.

5. Daftar Pustaka

- Ashar, Y. K., Susilawati, S., & Agustina, D. (2020). Analisis Kualitas (BOD, COD, DO) Air Sungai Pesanggrahan Desa Rawadenok Kelurahan Rangkepan Jaya Baru Kecamatan Mas Kota Depok.
- Aulia, P. R., Supratman, O., & Gustomi, A. (2020). Struktur Komunitas Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Sungai Upang Desa Tanah Bawah Kecamatan Puding Besar Kabupaten Bangka. *Aquatic Science*, 2(1), 17-29
- Buku Panduan Metode Biotilik. (2022). Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malang.
- Diani, C. M. (2024). *Status ekosistem perairan situ asih pulo, Depok, Jawa Barat berdasarkan struktur komunitas makrozoobentos* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Dwi Prasetyo, H., Hayati, A., 2020. Pengaruh Gangguan pada Zona Riparian Terhadap Jasa layanan Ekosistem Hulu Sungai Brantas. *Biotropika J. Trop. Biol.* 8, 125–134. <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2020.008.02.08>
- Ediyono, S. H., & Indrawati, D. (2020). Pemantauan kualitas air di kawasan Taman Wisata Pikatan dengan menggunakan Bentos sebagai indikator biologis. (SKRIPSI). *Universitas Trisakti, Jakarta*
- Fabanjo, M. A., & Inayah, I. (2021). Analysis of Water Quality in the Mandaong River for Development of Freshwater Fish Cultivation. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3), 965-973.
- Firmansyah, Y. W., Widiyantoro, W., Fuadi, M. F., Afrina, Y., & Hardiyanto, A. (2021). Dampak pencemaran Sungai di Indonesia terhadap gangguan kesehatan: Literature Review. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 120-133
- Gusna, G. M., Nurdin, J., Mursyid, A., Putra, W., Aryzegovina, R., & Junaldi, R. (2022). Analisa Pencemaran Organik Sungai Masang Kecil Di Kabupaten Pasaman Barat Berdasarkan Komunitas Dan Indeks Biologi Makrozoobentos. *Konservasi Hayati*, 18(2), 69-79.
- Hana, A. A., Firdhausi, N. F., & Bahri, S. (2023). Analisis Keragaman Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro. *BIOMETRIC*, 3(03), 45-51
- Hanum, U., Ramadhan, M. F., Armando, M. F., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. (2022). Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air di Sungai Pepe Bagian Hilir, Surakarta. *Prosiding Sains dan Teknologi*, 1(1), 376-386.
- Janah, N. K. F., Rauf, A., & Bustamin, B. (2024). Makrozoobenthos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Sungai Paneki Desa Pombewe Kabupaten Sigi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 12(1), 856-864.
- Khoiruddin, M., Nusyirwan, N., & Rahayu, A. (2020). Biotilik Approach in Design: A Review. *Procedia CIRP*, 95, 144-149

- Latuconsina, H. (2019). Ekologi perairan tropis: prinsip dasar pengelolaan sumber daya hayati perairan. UGM Press.
- Luthfi, O. M., Citra, S. U. D., Respati, D. S., Dimas, S. A., Dimas, B. D. P., dan Firly, Y. (2018). Ke limpahan Inventarisasi di Pulau Sempu sebagai Indeks Bioindikator, Ekonomis Penting Konsumsi, dan Komoditas Koleksi Akuarium. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(2), 137-148.
- Mariantika, L., & Retnaningdyah, C. (2014). Perubahan struktur komunitas makroinvertebrata bentos akibat aktivitas manusia di saluran Mata Air Sumber Awan Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 2(5), 254-259
- Muhdin, N. K., & Torodjo, S. (2023). Jenis Dan Kelimpahan Makrozoobentos di Perairan Sungai Salukaia Kecamatan Pamona Barat Kabupaten Poso. *Jurnal Biologi Babasal*, 47-54.
- Nahli, A., Oubraim, S., & Chlaida, M. (2022). Application of the biotic indices for water quality and resilience assessment of a disturbed stream (Casablanca, Morocco). *Biologia*, 77(10), 2887-2904
- Nurjanah, B. A. (2023). *Biomonitoring Kualitas Air Sungai Di Desa Rejosari Kecamatan Deket Dengan Bioindikator Makroinvertebrata* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan).
- Nguyen, H. M., Van, H. H., Ho, L. T., Tatonova, Y. V., & Madsen, H. (2021). Are *Melanoides tuberculata* and *Tarebia granifera* (Gastropoda, Thiaridae), suitable first intermediate hosts of *Clonorchis sinensis* in Vietnam?. *PLoS neglected tropical diseases*, 15(1), e0009093
- Ni'am, A. C., Sari, A. N., Nabilah, K. B., Terrukeni, G. J., Mukminin, A., & Syah, C. B. (2022). A Biomonitoring Kualitas Air Sungai Kalibokor Sebrang Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya Menggunakan Metode Biotilik: Biomonitoring Kualitas Air Sungai Kalibokor Sebrang Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya Menggunakan Metode Biotilik. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 7(2), 48-55.
- Ramadhan, R., & Prawati, E. (2023). Penilaian Kualitas Kesehatan Air Sungai Berbasis Makroinvertebrata Dan Pemodelan Formula Dyterasdas Di Kecamatan Metro Timur Dan Metro Barat. *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(2), 349-355.
- Rahmadhani, D. (2023). *Deteksi Indikator Mikrobiologi Lingkungan (Bacteriophage, Total Coliform, Escherichia Coli, Salmonella Typhimurium Dan Shigella, Sp.) pada Sungai Code* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Ramadani, L. (2019). *Keanekaragaman Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air Di Sungai Way Kedamaian Bandar Lampung* (Doctoral dissertation, UIN Raden Intan Lampung).
- Ratnasari, D., Muhammad Thoifur, I. F., & Elhany, N. A. (2023). Uji Kualitas Air Sungai Di Desa Sumberkolak Kecamatan Panarukan Kabupaten Situbondo. *BIOGENIC : Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(2), 12-20. doi:10.36841/biogenic.v1i2.3749
- Rosyadi, H. I., & Ali, M. (2020). Biomonitoring makrozoobentos sebagai indikator kualitas air Sungai. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 12(1), 11-18.
- Sedana, I. G. M. A., Darmadi, N. M., & Arya, I. W. (2018). Analisis tingkat pencemaran air Sungai Yeh Sungi di kabupaten Tabanan dengan menggunakan indikator biologis NVC ikan dan keragaman jenis makrozoobenthos. *Gema Agro*, 23(1), 79-91
- Sudarmo, A. P., Ali, M., Anggraeni, D. P., Dwirastina, M., Ditya, Y. C., Makri, S. M., ... & Samuel, S. (2023). Assessing Benthic Community and Water Quality as the Bioindicator of Environment in Semayang Lake East Kalimantan, Indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4281-4290.
- Trisnaini, I., Kumala Sari, T. N., & Utama, F. (2018). Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.1.1-8>
- Widianarko, B., & Sholeh, M. (2018). Monitoring of water quality using benthic macroinvertebrates and water quality index in the Citarum River, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142, 012054
- Xu, Xiao. D., Jia, Y. Y., Dai, X. Y., Ma, J. L., Storey, K. B., Zhang, J. Y., & Yu, D. N. (2020). The mitochondrial genome of *Caenis* sp.(Ephemeroptera: Caenidae) from Fujian and the phylogeny of Caenidae within Ephemeroptera. *Mitochondrial DNA Part B*, 5(1), 192-193.
- Yati, R. (2021). Permasalahan pencemaran Sungai akibat aktivitas rumah tangga dan dampaknya bagi masyarakat. *OSF PREPRINTS*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/azjhp>