

# Biomonitoring Kesehatan Ekosistem Sungai Menggunakan Serangga Akuatik di Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta

Heri Wijaya<sup>1</sup>, Andhika Puspito Nugroho<sup>2</sup>, dan Margaretha Widyastuti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia; e-mail: [heriwijaya897@gmail.com](mailto:heriwijaya897@gmail.com)

<sup>2</sup>Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

## ABSTRAK

Aktivitas manusia, seperti urbanisasi, pertanian, dan deforestasi, secara signifikan mengubah lanskap di sekitar aliran sungai yang menyebabkan kerusakan lingkungan fisik sungai, seperti perubahan kualitas air dan hilangnya vegetasi riparian. Perubahan lahan untuk pengembangan wilayah perkotaan yang terjadi di sekitar Sungai Bedog telah membawa dampak yang signifikan terhadap kesehatan ekosistem sungai tersebut. Salah satu cara untuk mengevaluasi kualitas perairan adalah menggunakan bioindikator sebagai pemantauan kualitas air (biomonitoring). Biomonitoring kesehatan ekosistem sungai dapat dilakukan melalui analisis tingkat toleransi terhadap kehadiran beberapa famili serangga akuatik tertentu dan berfungsi untuk menilai kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kelimpahan, keanekaragaman, dan peran serangga akuatik yang ditemukan serta penilaian kualitas air Sungai Bedog berdasarkan analisis HBI. Metode yang digunakan yaitu analisis Indeks Kelimpahan Margalef ( $D_{mg}$ ), Indeks keanekaragaman Simpson ( $D_1$ ), Indeks kemerataan jenis Simpson ( $E_{D_2}$ ), dan Indeks kesamaan jenis Jaccard ( $S_j$ ) serta analisis *Hilsenhoff Biotic Index* (HBI). Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kelimpahan dan keanekaragaman tinggi serta peran serangga akuatik yang ditemukan yaitu sebagai Herbivor, Karnivor, Detritivor, dan Predator. Analisis kualitas air dan kesehatan sungai menggunakan metode *Hilsenhoff biotic index* (HBI) di Sungai Bedog tergolong baik hingga sangat baik di beberapa stasiun pengamatan.

**Kata kunci:** Sungai Bedog, Serangga Akuatik, Kualitas Air, *Hilsenhoff biotic index* (HBI)

## ABSTRACT

Human activities, including urbanization, agriculture, and deforestation, significantly modify riverine landscapes, resulting in environmental degradation such as deteriorating water quality and the loss of riparian vegetation. In particular, land conversion for urban development around the Bedog River has substantially impacted on the ecological health of the river. One effective method to evaluate water quality involves using bioindicators as part of water quality monitoring (biomonitoring). Biomonitoring assesses river ecosystem health by analyzing the tolerance levels of specific families of aquatic insects, providing critical insights into water quality and the overall condition of aquatic ecosystems. This study aims to assess the abundance, diversity, and ecological roles of aquatic insects while evaluating the water quality of the Bedog River through Hilsenhoff Biotic Index (HBI) analysis. The methods applied include Margalef's abundance index ( $D_{mg}$ ), Simpson's diversity index ( $D_1$ ), Simpson's evenness index ( $E_{D_2}$ ), Jaccard's similarity index ( $S_j$ ), and the HBI analysis. The results demonstrate a high level of abundance and diversity of aquatic insects in the Bedog River, with identified ecological roles encompassing herbivory, carnivory, detritivory, and predation. The HBI analysis classifies the water quality and overall river health as ranging from good to very good across several observation stations.

**Keywords:** Bedog River, Aquatic Insects, Water Quality, Hilsenhoff Biotic Index (HBI)

**Citation:** Wijaya, H., Nugroho, A. P., dan Widyastuti, M. (2025). Biomonitoring Kesehatan Ekosistem Sungai Menggunakan Serangga Akuatik di Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1140-1148, doi:10.14710/jil.23.4.1140-1148

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem air tawar menyediakan serangkaian jasa yang bernilai ekonomi bagi masyarakat, seperti air bersih, keperluan industri, irigasi, pembangkit

listrik, dan habitat bagi tumbuhan dan hewan (Magbanua *et al.*, 2023). Perubahan lahan di sekitar sungai untuk pemukiman sering kali menyebabkan degradasi ekosistem sungai yang berdampak

langsung pada kehidupan makroinvertebrata (Faria *et al.*, 2024). Perubahan lahan untuk pengembangan wilayah perkotaan yang terjadi disekitar Sungai Bedog telah membawa dampak yang signifikan terhadap kesehatan ekosistem sungai tersebut (Yudha & Dibiyosaputro, 2013).

Di sepanjang Sungai Bedog, tekanan ekologis meningkat akibat alih fungsi hutan dan lahan pertanian menjadi kawasan permukiman dan komersial, terutama di bagian hulu hingga tengah sungai. Studi oleh Wibowo *et al.* (2022) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah permukiman menyebabkan penurunan kualitas fisik dan kimia air, seperti meningkatnya nilai BOD dan total padatan tersuspensi. Hal ini berdampak langsung terhadap struktur komunitas biota perairan, termasuk serangga akuatik yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan kesehatan ekosistem Sungai Bedog menjadi penting untuk dilakukan secara periodik guna mengidentifikasi indikasi penurunan kualitas lingkungan sejak dini.

Dampak dari alih fungsi lahan di sepanjang aliran sungai adalah menurunnya kualitas air dan jumlah biota perairan secara keseluruhan dan peningkatan populasi spesies yang mampu bertahan dalam kondisi tertentu serta bersifat invasif (De *et al.*, 2021). Salah satu cara untuk mengevaluasi kualitas perairan adalah menggunakan bioindikator sebagai pemantauan kualitas air (biomonitoring) (Chakravarty & Gupta, 2021). Tanda-tanda kerusakan ekosistem sungai dapat terlihat melalui penurunan kualitas air dan berkurangnya keanekaragaman serta kelimpahan serangga akuatik yang berfungsi sebagai indikator biologis untuk kondisi air sungai (Solanki & Shukla, 2015).

Serangga akuatik, terutama dari ordo Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT), telah terbukti efektif dalam mencerminkan tingkat pencemaran organik dan perubahan kondisi substrat perairan. Kelebihan utama serangga akuatik sebagai bioindikator adalah kemampuan mereka merespons stres lingkungan secara spesifik dan beragamnya tingkat toleransi antar taksa (Rosenberg & Resh, 1993). Selain itu, distribusi yang luas dan siklus hidup yang relatif panjang memungkinkan pengamatan jangka panjang terhadap perubahan kualitas perairan, menjadikannya pilihan yang tepat dalam pemantauan Sungai Bedog yang mengalami tekanan antropogenik tinggi.

Biomonitoring kesehatan ekosistem sungai dapat dilakukan melalui analisis tingkat toleransi terhadap kehadiran beberapa famili serangga akuatik tertentu, salah satunya menggunakan Hilsenhoff Biotic Index (HBI) (Hilsenhoff, 1988). Meskipun HBI telah dikembangkan sejak lama, indeks ini tetap relevan secara ilmiah dan praktis karena mampu memberikan gambaran langsung mengenai tingkat pencemaran organik berdasarkan komposisi makroinvertebrata. HBI banyak digunakan dalam studi biomonitoring karena kesederhanaannya, kemudahan penerapan di

lapangan, dan kebutuhan data taksonomi yang tidak harus sampai tingkat spesies, sehingga cocok digunakan di wilayah-wilayah dengan keterbatasan referensi spesifik seperti Indonesia (Chakravarty & Gupta, 2021).

Selain itu, penggunaan HBI dalam penelitian ini mempertimbangkan tujuan studi yang berfokus pada penilaian awal kualitas air sungai berbasis komunitas serangga akuatik, sehingga HBI cukup representatif. Beberapa penelitian biomonitoring di Indonesia juga masih menggunakan HBI karena fleksibilitas dan keterbandingannya dengan studi internasional (Hertika *et al.*, 2024; Yustian *et al.*, 2020). Meski terdapat indeks biotik yang lebih baru, seperti LQI (Lotic Quality Index) atau BMWP-ASPT yang telah dimodifikasi untuk Indonesia, banyak dari indeks tersebut belum sepenuhnya terstandarisasi di seluruh ekoregion nusantara, atau membutuhkan data referensi lokal yang belum tersedia secara lengkap. Dengan demikian, pemilihan HBI dalam penelitian ini merupakan pendekatan konservatif namun tetap valid untuk menggambarkan kondisi ekologis Sungai Bedog secara kuantitatif. Serangga akuatik memiliki peran penting di perairan, salah satunya yaitu sebagai komponen utama dalam rantai makanan, karena berfungsi sebagai pemakan detritus dan bahan organik yang membantu mendaur ulang nutrisi, serta menjadi sumber makanan bagi berbagai predator, seperti ikan, burung air, dan amfibi (Zequi *et al.*, 2019).

Penelitian mengenai kesehatan sungai di Sungai Bedog, Yogyakarta menjadi sangat penting karena kawasan ini mengalami tekanan yang semakin besar akibat aktivitas antropogenik, khususnya alih fungsi lahan untuk permukiman, pertanian intensif, dan infrastruktur pendukung pariwisata. Berdasarkan studi oleh Wibowo *et al.* (2022), peningkatan beban pencemaran di Sungai Bedog tercermin dari naiknya konsentrasi BOD dan TSS pada beberapa titik, yang melebihi ambang batas baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Pencemaran ini bersifat campuran, terdiri dari zat organik dan anorganik yang berasal dari limbah domestik, pupuk, dan detergen rumah tangga. Kondisi ini menunjukkan perlunya pemantauan ekologis yang komprehensif, tidak hanya berbasis parameter kimia, tetapi juga melalui pendekatan biotik yang mencerminkan dampak jangka panjang terhadap struktur komunitas perairan.

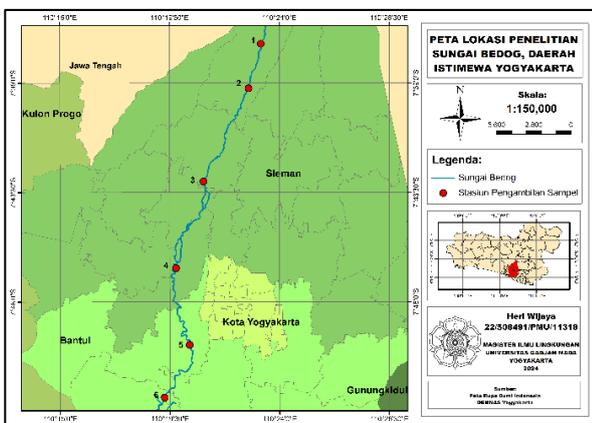
Dalam penelitian ini, serangga akuatik memiliki peran vital sebagai indikator biologis karena mampu mencerminkan perubahan kualitas lingkungan melalui kehadiran, kelimpahan, dan komposisinya. Namun, studi yang secara spesifik mengkaji struktur komunitas serangga akuatik di Sungai Bedog dalam kaitannya dengan penilaian kualitas air berbasis indeks biotik belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting sebagai kajian awal yang berkontribusi pada inventarisasi keanekaragaman serangga akuatik di Sungai Bedog, sekaligus sebagai dasar pengembangan program

biomonitoring berkelanjutan di wilayah ini. Sebagian besar studi sebelumnya lebih menekankan pada aspek fisik-kimia atau hanya mengidentifikasi takson tanpa mengaitkannya dengan indeks biotik yang terstandar. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan kontribusi baru (novelty) dalam penguatan metode biomonitoring kualitas air sungai berbasis Hilsenhoff Biotic Index (HBI) di kawasan aliran sungai yang mengalami perubahan penggunaan lahan secara cepat seperti Sungai Bedog. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman ekologis yang lebih utuh dan berbasis data biologis untuk mendukung pengelolaan sungai yang berkelanjutan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat kekayaan spesies dan keanekaragaman serangga akuatik pada berbagai kondisi perairan di sepanjang Sungai Bedog dalam rangka mendukung program biomonitoring kesehatan ekosistem sungai. Selain itu, menganalisis peran serangga akuatik dalam jejaring makanan pada biomonitoring kesehatan Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kesehatan ekosistem Sungai Bedog berdasarkan nilai Hilsenhoff Biotic Index (HBI), yang merepresentasikan tingkat toleransi serangga akuatik terhadap pencemaran organik di perairan. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi ekologis sungai yang mengalami tekanan dari aktivitas antropogenik di Daerah Istimewa Yogyakarta.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan panjang sungai 40 km. Pengambilan sampel serangga akuatik dan parameter fisik serta parameter kimia dilakukan di enam titik pengamatan mulai dari hulu, tengah, hingga hilir. Gambar 1 peta lokasi penelitian di sepanjang Sungai Bedog.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Sungai Bedog, Yogyakarta

Stasiun pertama berlokasi di Wonokerso, Turi (-7.62307, 110.38740); Stasiun kedua berada di

Jembatan Randusongo, Turi (-7.65367, 110.37895); Stasiun ketiga berada di Jembatan Pangukan, Tridadi (-7.71752, 110.34807); Stasiun keempat berada di Jembatan Demak Ijo, Sidoarum (-7.77688, 110.32922); Stasiun kelima berada di Jembatan Jl. Padokan, Bantul (-7.82949, 110.33853); Stasiun keenam berada di Jembatan Gantung Tegaldowo, Bantul (-7.86556, 110.32137).

Pengambilan makroinvertebrata dilakukan menggunakan Surber net dan kick net berukuran 25 × 40 cm<sup>2</sup> dengan ukuran pori jaring 0,5 mm. Teknik yang digunakan adalah jabbing dan kicking, yaitu mengganggu substrat perairan seperti bebatuan, pasir, atau daun gugur selama kurang lebih 60 detik agar makroinvertebrata yang menempel dapat terperangkap dalam jaring (Barbour et al., 1999). Pada lokasi yang memiliki substrat berbatu dan beraliran deras, metode kicking digunakan secara intensif, sedangkan pada daerah yang lebih tenang dan berlumpur, metode jabbing dilakukan secara hati-hati untuk menangkap biota yang berada di bawah lapisan sedimen.

Sampel yang diperoleh kemudian dipindahkan ke dalam wadah koleksi yang telah diberi label dan diawetkan menggunakan etanol 70%. Identifikasi makroinvertebrata dilakukan di laboratorium menggunakan mikroskop stereo, dengan mengacu pada buku panduan identifikasi makroinvertebrata air tawar, seperti Merritt, Cummins & Berg (2008) dan referensi tambahan lokal untuk spesies di Indonesia. Identifikasi dilakukan hingga tingkat famili untuk keperluan perhitungan Hilsenhoff Biotic Index (HBI).

Penentuan waktu ini didasarkan pada aktivitas serangga akuatik yang cenderung lebih stabil pada pagi hari serta untuk meminimalkan fluktuasi parameter fisik-kimia perairan akibat peningkatan suhu dan aktivitas manusia di siang hari (Arimoro & Ikomi, 2009). Ulangan pengambilan sampel dilakukan untuk meningkatkan validitas dan representativitas data pada masing-masing titik, serta untuk mengurangi bias yang mungkin terjadi akibat variabilitas spasial dan temporal. Data dari lima ulangan kemudian dianalisis dengan pendekatan statistik deskriptif, di mana nilai rata-rata digunakan sebagai ukuran tendensi sentral untuk merepresentasikan kondisi ekologis setiap titik pengamatan.

Sampel kualitas air (BOD, COD, DO, pH, suhu, kecepatan arus, dan kedalaman) diukur secara bersamaan dengan pengambilan serangga akuatik agar diperoleh gambaran keterkaitan langsung antara kondisi fisik-kimia perairan dan komunitas biota. Pemilihan indeks Margalef (Dmg) digunakan untuk mengukur kekayaan spesies karena indeks ini mempertimbangkan jumlah total taksa dan jumlah individu, sehingga sensitif terhadap perubahan jumlah spesies di lokasi yang terdegradasi (Magurran, 2004). Indeks keanekaragaman Simpson (D1) dan indeks kemerataan Simpson (ED2) dipilih karena mampu menggambarkan dominansi spesies tertentu,

yang sering terjadi pada perairan yang mengalami tekanan lingkungan. Sementara itu, indeks Jaccard (Sj) digunakan untuk mengukur kesamaan komunitas antar lokasi, yang penting dalam membandingkan tingkat degradasi ekosistem antar segmen sungai.

Untuk menilai kualitas perairan berdasarkan komunitas makroinvertebrata, digunakan Hilsenhoff Biotic Index (HBI) yang mengklasifikasikan taksa berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pencemaran organik (Hilsenhoff, 1988). Indeks ini dinilai efektif karena memberikan gambaran langsung tentang dampak pencemaran terhadap struktur komunitas dan telah banyak diterapkan dalam studi biomonitoring di berbagai sistem sungai tropis maupun subtropis (Chakravarty & Gupta, 2021).

**Tabel 1.** Klasifikasi Kualitas Air pada HBI (Hilsenhoff, 1988)

Indeks Biotik	Kualitas Air	Tingkat Pencemaran Organik
0.00-3.50	Unggul	Tidak ada pencemaran organik
3.51-4.50	Sangat baik	Kemungkinan pencemaran organik sedikit
4.51-5.50	Baik	Beberapa pencemaran organik
5.51-6.50	Seimbang	Pencemaran organik agak signifikan
6.51-7.50	Cukup miskin	Pencemaran organik besar
7.51-8.50	Miskin	Pencemaran organik sangat signifikan
8.51-10.0	Sangat miskin	Pencemaran organik yang parah

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Identifikasi Serangga Akuatik

Berdasarkan penelitian (Tabel 2) yang dilakukan di Sungai Bedog, temuan serangga akuatik menunjukkan keanekaragaman yang cukup tinggi. Total keseluruhan serangga akuatik yang berhasil diidentifikasi mencapai 915 individu yang tersebar dalam 24 famili dan 8 ordo, dengan total 31 genus berbeda. Kedelapan ordo yang ditemukan meliputi Hemiptera, Ephemeroptera, Odonata, Diptera, Tricoptera, Neuroptera, Plecoptera, dan Coleoptera.

Hasil penelitian (Tabel 2) menunjukkan bahwa pada stasiun pengamatan 1 hingga 5, serangga akuatik yang mendominasi berasal dari famili Gerridae. Sementara itu, stasiun 6 menunjukkan pola dominasi yang berbeda, di mana serangga akuatik yang mendominasi berasal dari famili Micronectidae. Mahmoud dan Riad (2021) menjelaskan bahwa dominasi Hemiptera di ekosistem sungai terkait dengan modifikasi struktur tubuh mereka sebagai skater kolam yang memungkinkan mereka beraktivitas di permukaan air dan memanfaatkan udara atmosfer tanpa ketergantungan penuh pada air.

Hal ini sejalan dengan temuan Khamboonruang *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa, Ordo Hemiptera dikenal sebagai predator yang memangsa organisme lain di ekosistem perairan, seperti larva nyamuk atau serangga lain dan mikroorganisme kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kedua spesies memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem di masing-masing stasiun pengamatan.

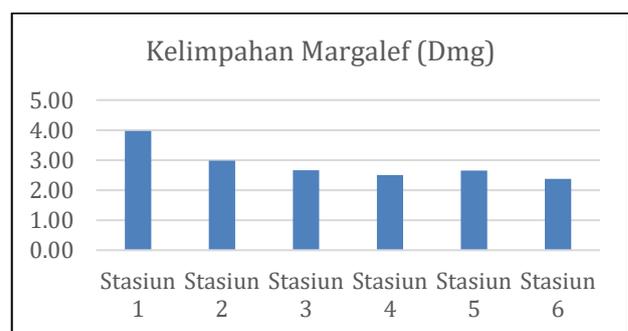
#### 3.2. Kelimpahan Serangga

Sungai Bedog menunjukkan gradien perubahan kondisi lingkungan yang jelas dari hulu ke hilir, yang secara langsung memengaruhi kelimpahan dan komposisi komunitas serangga akuatik. Stasiun 1 dan 2 yang berada di bagian hulu memiliki karakteristik lingkungan yang masih relatif alami, ditandai dengan tutupan vegetasi riparian yang lebat, aliran air yang deras, serta kadar oksigen terlarut yang tinggi. Aktivitas manusia di sekitar stasiun ini sangat terbatas, sehingga tekanan terhadap ekosistem perairan rendah dan memungkinkan keberadaan taksa serangga akuatik yang sensitif terhadap perubahan kualitas air.

Memasuki stasiun 3 yang merupakan zona transisi ke bagian tengah sungai, mulai terlihat adanya pembukaan lahan untuk pertanian dan pemukiman, disertai dengan penurunan tutupan vegetasi dan perlambatan arus sungai. Meskipun kondisi masih mendukung keberagaman organisme, mulai muncul aktivitas manusia seperti pencucian dan pembuangan limbah domestik dalam skala kecil. Pada stasiun 4 dan 5, tekanan antropogenik meningkat signifikan seiring bertambahnya kepadatan penduduk dan berkurangnya vegetasi riparian. Sungai pada segmen ini mulai menunjukkan gejala degradasi, seperti penurunan oksigen terlarut, akumulasi sedimen, dan keberadaan sampah serta limbah rumah tangga yang lebih nyata.

Stasiun 6 yang berada di bagian hilir mencerminkan kondisi lingkungan yang paling terdegradasi. Wilayah ini didominasi oleh pemukiman padat dan struktur buatan seperti betonisasi sungai. Arus sungai sangat lambat, memungkinkan terjadinya akumulasi bahan organik dan pencemar lainnya. Vegetasi riparian nyaris hilang, dan beban limbah domestik maupun aktivitas industri skala kecil semakin intensif. Hal ini menyebabkan penurunan tajam kadar oksigen terlarut dan mendorong dominasi spesies serangga akuatik yang toleran terhadap pencemaran.

Kelimpahan serangga akuatik yang ditemukan di Sungai Bedog mulai dari stasiun 1 hingga stasiun 6 sangat bervariasi dan menunjukkan trend yang menurun. Berikut merupakan Gambar 2 yang menampilkan diagram kelimpahan serangga akuatik di Sungai Bedog.



**Gambar 2.** Kelimpahan Serangga Akuatik

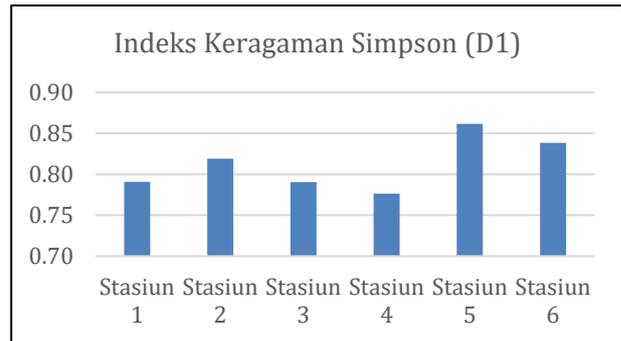
Gambar 2 menunjukkan nilai Kelimpahan Margalef (*Dmg*) di enam stasiun penelitian, terlihat bahwa Stasiun 1 memiliki nilai kelimpahan tertinggi yaitu 3.97, yang menunjukkan tingkat kelimpahan organisme paling besar dibandingkan stasiun lainnya. Nilai kelimpahan terendah ditemukan di Stasiun 6, yaitu 2.38, menandakan kelimpahan organisme yang relatif lebih rendah.

Hasil penelitian sejalan dengan temuan yang dilakukan oleh Zequi *et al.* (2019), kelimpahan serangga akuatik tertinggi ditemukan di titik pertama yang terletak di bagian hulu sungai. Tingginya kelimpahan ini berkorelasi dengan kondisi perairan yang masih sangat baik, ditandai dengan adanya vegetasi riparian. Titik lokasi dengan kelimpahan yang di rendah diakibatkan oleh rusaknya vegetasi riparian dan pembukaan lahan disekitar sungai, sehingga terjadi penurunan kualitas perairan (Aweng *et al.*, 2022).

**3.3. Keragaman Serangga Akuatik**

Keragaman serangga akuatik yang ditemukan di Sungai Bedog sangat bervariasi mulai dari stasiun 1 hingga stasiun 6. Berikut merupakan Gambar 3 yang menampilkan diagram keragaman serangga akuatik yang ditemukan di lokasi pengamatan.

Gambar 3 menunjukkan nilai indeks keragaman Simpson (*D1*) untuk serangga akuatik di enam stasiun pengamatan. Nilai tertinggi ditemukan di Stasiun 5 dengan nilai 0,86, sementara nilai terendah terdapat di Stasiun 4 dengan nilai 0,78. Secara umum, nilai *D1* yang cukup tinggi di seluruh stasiun menunjukkan bahwa komunitas serangga akuatik di Sungai Bedog masih memiliki distribusi yang relatif merata dengan jumlah spesies yang beragam. Namun, jika dibandingkan dengan kondisi fisik habitat di masing-masing lokasi, terlihat adanya keterkaitan antara kualitas habitat dan nilai keanekaragaman.



**Gambar 3.** Keragaman Serangga Akuatik

**Tabel 2.** Serangga Akuatik Sungai Bedog

Ordo	Famili	Genus	Lokasi Penelitian						Total
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Hemiptera	Gerridae	Gerris	94	69	38	48	22	25	296
	Micronectidae	Micronecta	63	50	37	24	12	27	213
	Hermatobatidae	Hermatobates	2	0	0	0	0	0	2
	Veliidae	Rhagovelia	8	6	3	0	1	0	18
	Gerridae	Rheumatobates	0	0	1	0	0	0	1
	Gerridae	Metrocoris	0	0	4	0	0	0	4
	Naucoridae	Pelocoris	17	23	0	4	1	0	45
	Gerridae	Rhagadotarsus	5	0	0	0	0	0	5
	Baetidae	Cloeon (sp1)	4	2	2	0	0	0	8
	Caenidae	Caenis (sp2)	1	0	3	0	0	0	4
Ephemeroptera	Caenidae	Caenis (sp3)	2	2	2	0	0	0	6
	Leptohyphidae	Tricorythodes	3	5	0	2	0	4	14
	Caenidae	Caenis (sp4)	0	0	0	3	0	0	3
	Leptophlebiidae	Paraleptophlebia (sp1)	1	0	0	0	4	3	8
	Leptohyphidae	Leptohyphes	0	0	3	9	0	10	22
	Ephemerellidae	Ephemerella	7	12	0	15	0	0	34
	Leptophlebiidae	Paraleptophlebia (sp2)	0	2	0	0	0	0	2
	Coenagrionidae	Pseudagrion (sp1)	9	0	27	6	7	4	53
	Gomphidae	Stylurus	4	8	0	0	0	0	12
	Chlorocyphidae	Libellago	0	0	0	2	0	0	2
Odonata	Coenagrionidae	Pseudagrion (sp2)	6	4	0	2	0	0	12
	Coenagrionidae	Ischnura	2	4	0	3	17	10	36
	Corduliidae	Procordulia	0	0	0	1	3	4	8
	Aeshnidae	Gynacantha	1	0	0	0	0	0	1
	Stratiomyidae	Hermetia	2	5	1	0	0	0	8
Diptera	Dixidae	Dixella (larva)	8	4	0	0	0	0	12
	Chironomidae	Chironomus	0	0	2	0	4	1	7
	Simuliidae	Prosimulium	0	0	0	0	10	6	16
Trichoptera	Hydropsychidae	Caddisfly (larva)	1	0	0	0	0	0	1
	Psychomyiidae	Psychomyia	3	3	0	0	0	0	6
Neuroptera	Hydropsychidae	Parapsyche	1	4	0	2	2	3	12
	Nemopteridae	Neuroptera	0	0	2	0	0	0	2
Coleoptera	Elmidae	Ancyronyx (larva)	0	0	7	0	4	5	16
Plecoptera	Chloroperlidae	Alloperla	11	11	0	0	5	0	27
Jumlah Individu (N)			255	214	132	121	92	102	916
Kelimpahan Margalef ( <i>Dmg</i> )			3.97	2.98	2.66	2.5	2.66	2.38	
Keragaman Simpson ( <i>D1</i> )			0.79	0.82	0.79	0.78	0.86	0.84	
Kemerataan Jenis ( <i>ED</i> )			0.21	0.32	0.34	0.34	0.56	0.52	

Sumber data diolah Penulis

Stasiun 5, meskipun berada di bagian hilir, masih memiliki nilai  $D_1$  tertinggi. Hal ini dapat dijelaskan dari pengamatan bahwa di lokasi tersebut vegetasi riparian masih tersisa sebagian dan arus sungai relatif tidak stagnan, memungkinkan terjadinya sirkulasi air yang mendukung organisme benthik. Selain itu, meskipun terdapat tekanan antropogenik, pengaruhnya cenderung tersebar dan tidak terlalu terpusat seperti di stasiun lain. Sebaliknya, Stasiun 4 yang memiliki nilai keragaman terendah menunjukkan kondisi fisik habitat yang lebih terbuka akibat berkurangnya vegetasi riparian, aliran yang lebih lambat, dan adanya akumulasi limbah organik dari aktivitas domestik. Penurunan kualitas fisik habitat ini kemungkinan menyebabkan dominansi oleh beberapa spesies yang toleran dan mengurangi jumlah spesies sensitif, sehingga menurunkan indeks keragaman.

Dengan demikian, hasil indeks keragaman Simpson tidak hanya mencerminkan keragaman komunitas serangga akuatik, tetapi juga selaras dengan penilaian habitat fisik secara riil di lapangan. Kondisi fisik yang lebih kompleks dan alami cenderung mendukung keanekaragaman yang lebih tinggi, sedangkan habitat yang terdegradasi akibat aktivitas manusia menunjukkan penurunan keanekaragaman dan perubahan struktur komunitas.

Hasil penelitian sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zequi *et al.* (2019), yang menyatakan bahwa tingkat keragaman serangga akuatik tertinggi di temukan di lokasi pertama dan ketiga dengan perairan yang baik. Hal tersebut terjadi karena pada lokasi penelitian sangat sedikit aktivitas antropogenik serta vegetasi riparian yang masih sangat terjaga.

Vegetasi riparian memiliki pengaruh besar terhadap keragaman serangga akuatik di suatu ekosistem perairan. Keberadaan vegetasi riparian juga meningkatkan heterogenitas habitat dengan menciptakan variasi dalam struktur fisik tepi sungai, yang memungkinkan berbagai spesies serangga untuk menemukan ceruk ekologis yang sesuai (Souza *et al.*, 2024).

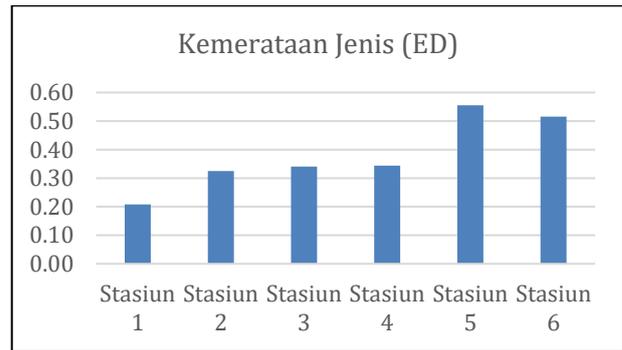
Hal tersebut menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi riparian yang baik secara langsung berkontribusi pada tingginya kelimpahan dan keragaman serangga akuatik, mencerminkan kondisi ekosistem sungai yang sehat dan seimbang (Aweng *et al.*, 2022).

### 3.4. Kemerataan Jenis

Kemerataan jenis serangga akuatik yang ditemukan di Sungai Bedog mulai dari stasiun 1 hingga stasiun 6 sangat fluktuatif. Berikut merupakan Gambar 4 yang menampilkan diagram trend kemerataan jenis serangga akuatik yang ditemukan di lokasi pengamatan.

Gambar 4 menunjukkan nilai kemerataan jenis serangga akuatik ( $E_D$ ) di enam stasiun. Nilai terendah terdapat di Stasiun 1 dengan  $E_D = 0.21$ , menunjukkan bahwa distribusi individu antar spesies di stasiun ini

kurang merata. Sebaliknya, nilai tertinggi ditemukan di Stasiun 5 dengan  $E_D = 0.56$ .



Gambar 4. Kemerataan Jenis

Kemerataan yang tinggi menunjukkan distribusi individu antar spesies yang lebih seimbang, yang mencerminkan stabilitas ekosistem dan ketersediaan sumber daya yang merata bagi berbagai organisme (Kafrianto *et al.*, 2018). Kondisi tersebut sangat penting bagi keberlangsungan serangga predator, karena ketersediaan mangsa dalam jumlah yang mencukupi akan mendukung kelangsungan hidup populasi predator (De *et al.*, 2021).

### 3.5. Kesamaan Komunitas

Kesamaan komunitas serangga akuatik yang ditemukan di setiap stasiun pengamatan di Bedog cukup beragam. Hasil analisis *Jaccard Similarity Index* ditampilkan dalam bentuk matriks dengan tujuan untuk melihat tingkat kesamaan komunitas antar stasiun pengamatan. Berikut merupakan Tabel 3 yang menyajikan kesamaan komunitas serangga akuatik di Sungai Bedog.

**Tabel 3. Kesamaan Komunitas Jaccard**

		Kesamaan Komunitas Jaccard ( $S_j$ )					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	1	0.67	0.28	0.33	0.33	0.25	
S2	0.67	1	0.24	0.36	0.30	0.21	
S3	0.28	0.24	1	0.17	0.35	0.30	
S4	0.33	0.36	0.17	1	0.44	0.47	
S5	0.33	0.30	0.35	0.44	1	0.79	
S6	0.25	0.21	0.30	0.47	0.79	1	

Berdasarkan Tabel 3, menunjukkan matriks kesamaan komunitas serangga akuatik antarstasiun berdasarkan indeks Jaccard ( $S_j$ ). Nilai tertinggi dalam matriks *Jaccard Similarity Index* adalah 0.79, yang menunjukkan kesamaan tertinggi antara Stasiun 5 (S5) dan Stasiun 6 (S6). Nilai terendah yaitu 0.17, yang ditemukan antara Stasiun 3 (S3) dan Stasiun 4 (S4).

Perbedaan tingkat kesamaan spesies antar stasiun, seperti yang tercermin dari *Jaccard Similarity Index*, dapat dijelaskan oleh variasi gangguan antropogenik di sekitar stasiun pengamatan. Aktivitas seperti pembuangan limbah domestik, alih fungsi lahan, atau intensitas pemanfaatan air sungai cenderung memengaruhi struktur habitat dasar dan kualitas air, yang pada akhirnya berdampak pada keberagaman dan distribusi serangga akuatik (Souza *et al.*, 2024).

**3.6. Peran Serangga Akuatik**

Serangga akuatik memiliki peran penting dalam jejaring makanan di ekosistem perairan. Sebagai bagian dari rantai trofik, serangga akuatik membantu menjaga keseimbangan ekosistem dengan mendaur ulang bahan organik dan menyediakan nutrisi yang esensial bagi berbagai tingkatan trofik. Berikut merupakan Tabel 4 yang menampilkan peran dari serangga akuatik.

Kelompok Hemiptera didominasi oleh predator dari famili Gerridae. Predator memainkan peran penting dalam mengontrol populasi organisme lain di dalam ekosistem (Lima *et al.*, 2022). Kelompok Diptera, terutama dari famili Chironomidae dan Simuliidae, sebagian besar berfungsi sebagai detritivor, berperan dalam penguraian bahan organik (Oliveira & Nessimian, 2010). Ephemeroptera terutama berperan sebagai detritivor dan herbivor, mencerminkan peran mereka dalam daur ulang bahan organik dan pemanfaatan produsen primer seperti alga (Ramirez dan Gutiérrez-Fonseca, 2014).

*Aquatic insect* adalah komponen kunci dari jaring-jaring makanan di air yang menghubungkan bahan organik dan sumber makanan (seperti seresah daun, alga, dan detritus) dengan tingkatan trofik yang tinggi (Nieto *et al.*, 2017). Kelompok hewan ini sangat umum untuk ditemukan di semua jenis perairan. Organisme ini sebagian besar memiliki kebiasaan menetap dan mampu menggambarkan kondisi aktual dan spesifik

ekologi suatu tempat (Dorji *et al.*, 2021). Hal ini karena makroinvertebrata sangat sensitif dan memiliki rentang hidup yang relatif panjang (Miliša *et al.*, 2022).

**3.7. Analisis Hilsenhoff Biotic Index (HBI)**

Analisis *Hilsenhoff Biotic Index* (HBI) dilakukan untuk menentukan kesehatan sungai pada lokasi penelitian yang meliputi stasiun 1 hingga stasiun 6. Berikut merupakan Tabel 5 yang menampilkan hasil analisis *Hilsenhoff Biotic Index* (HBI) di setiap stasiun pengamatan di Sungai Bedog.

**Tabel 5.** Hasil Analisis *Hilsenhoff Biotic Index* (HBI)

Lokasi Pengamatan	Nilai HBI	Deskripsi
Stasiun 1	4.02	Sangat baik
Stasiun 2	3.71	Sangat baik
Stasiun 3	5.17	Baik
Stasiun 4	4.47	Sangat baik
Stasiun 5	5.40	Baik
Stasiun 6	4.77	Baik

Tabel 5 menyajikan hasil analisis Hilsenhoff Biotic Index (HBI) dari enam stasiun pengamatan, yang digunakan untuk menilai kualitas air berdasarkan komposisi makroinvertebrata. Nilai HBI tertinggi tercatat pada Stasiun 5 (5,40) yang mengindikasikan kualitas air baik, sedangkan nilai terendah terdapat pada Stasiun 2 (3,71) yang menunjukkan kualitas air sangat baik. Hasil ini mencerminkan adanya variasi kondisi fisik dan biotik antar lokasi yang berpengaruh terhadap struktur komunitas makroinvertebrata.

**Tabel 4.** Peran Serangga Akuatik

Ordo	Famili	Genus	Peran	
Hemiptera	Gerridae	Gerris	Predator	
	Micronectidae	Micronecta	Predator	
	Hermatobatidae	Hermatobates	Predator	
	Veliidae	Rhagovelia	Predator	
	Gerridae	Rheumatobates	Predator	
	Gerridae	Metrocoris	Predator	
	Naucoridae	Pelocoris	Predator	
	Gerridae	Rhagadotarsus	Predator	
	Ephemeroptera	Baetidae	Cloeon (sp1)	Detritivor
		Caenidae	Caenis (sp2)	Detritivor
Caenidae		Caenis (sp3)	Detritivor	
Leptohyphidae		Tricorythodes	Herbivor	
Caenidae		Caenis (sp4)	Detritivor	
Leptophlebiidae		Paraleptophlebia (sp1)	Herbivor	
Leptohyphidae		Leptohyphes	Herbivor	
Ephemerellidae		Ephemerella	Herbivor	
Leptophlebiidae		Paraleptophlebia (sp2)	Herbivor	
Coenagrionidae		Pseudagrion (sp1)	Karnivor	
Odonata	Gomphidae	Stylurus	Karnivor	
	Chlorocyphidae	Libellago	Predator	
	Coenagrionidae	Pseudagrion (sp2)	Predator	
	Coenagrionidae	Ischnura	Predator	
	Corduliidae	Procordulia	Predator	
	Aeshnidae	Gynacantha	Predator	
	Diptera	Stratiomyidae	Hermetia	Detritivor
		Dixidae	Dixella (larva)	Detritivor
		Chironomidae	Chironomus	Detritivor
		Simuliidae	Prosimulium	Detritivor
Trichoptera		Hydropsychidae	Caddisfly (larva)	Detritivor
	Psychomyiidae	Psychomyia	Detritivor	
	Hydropsychidae	Parapsyche	Detritivor	
Neuroptera	Nemopteridae	Neuroptera	Predator	
Coleoptera	Elmidae	Ancyronyx (larva)	Herbivor	
Plecoptera	Chloroperlidae	Alloperla	Predator	

Stasiun 2, yang memiliki nilai HBI terendah, berada di bagian hulu sungai dengan lingkungan fisik yang masih alami. Tutupan vegetasi riparian yang rapat, aliran air yang deras, serta kadar oksigen terlarut yang tinggi menciptakan habitat yang ideal bagi taksa sensitif seperti Ephemeroptera dan Trichoptera. Sebaliknya, meskipun Stasiun 5 terletak di bagian hilir yang relatif lebih tercemar, nilai HBI-nya masih tergolong baik. Hal ini dapat dijelaskan dengan kondisi fisik yang masih relatif mendukung, seperti adanya sisa vegetasi riparian, substrat dasar yang bervariasi, serta aliran air yang tidak sepenuhnya stagnan, memungkinkan keberadaan makroinvertebrata dengan toleransi sedang terhadap pencemaran, seperti beberapa famili dari Ordo Diptera.

Kondisi fisik perairan seperti kecepatan arus, tutupan vegetasi tepi sungai, dan tingkat pencemaran antropogenik terbukti berkorelasi dengan distribusi makroinvertebrata di lokasi penelitian. Semakin baik kualitas habitat fisik, maka semakin banyak ditemui taksa indikator yang sensitif terhadap pencemaran, dan sebaliknya, pada lokasi yang habitat fisiknya terganggu, komunitas didominasi oleh spesies yang toleran. Oleh karena itu, kombinasi antara penilaian kondisi fisik dan hasil HBI memberikan gambaran menyeluruh terhadap status ekologis sungai, sekaligus menjelaskan pola keberadaan makroinvertebrata di setiap stasiun. Kondisi lokasi yang tergolong sangat baik berkaitan dengan minimnya pencemaran di lingkungan sekitar, baik dari aktivitas domestik, pertanian, maupun industri (Hertika *et al.*, 2024).

Ketidaksesuaian antara hasil HBI yang baik dan latar belakang yang menyebutkan adanya degradasi akibat perubahan lahan dapat dijelaskan melalui beberapa kemungkinan faktor eksternal. Pertama, biomonitoring menggunakan HBI lebih sensitif terhadap pencemaran organik, namun tidak secara langsung mendeteksi pencemaran anorganik seperti logam berat atau residu pestisida, yang mungkin berasal dari aktivitas industri atau pertanian sekitar (Arimoro & Ikomi, 2009; Chakravarty & Gupta, 2021). Kedua, waktu pengambilan sampel yang dilakukan pada musim kemarau dan pagi hari dapat memengaruhi hasil karena debit sungai yang lebih rendah berpotensi mengurangi laju aliran kontaminan, serta meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut, yang mendukung keberlangsungan hidup taksa sensitif (Barbour *et al.*, 1999).

Ketiga, kemungkinan adanya fungsi pemulihan alami (self-purification) di segmen tertentu Sungai Bedog juga dapat menjelaskan hasil ini. Sungai yang memiliki arus cukup, substrat beragam, dan vegetasi riparian yang baik cenderung mampu menstabilkan kondisi biologis dan mendukung komunitas makroinvertebrata yang sehat, bahkan di tengah tekanan antropogenik (Vaughn, 2010). Oleh karena itu, meskipun pengaruh alih fungsi lahan secara umum tetap menjadi ancaman terhadap keberlanjutan ekosistem sungai, hasil HBI yang tinggi

pada beberapa titik pengamatan dapat mencerminkan adanya resiliensi lokal ekosistem, atau bahwa sumber pencemaran berada di luar titik-titik pengambilan sampel utama.

Selain itu, keberadaan vegetasi riparian yang masih melimpah di sepanjang tepi sungai pada stasiun-stasiun tersebut juga memberikan kontribusi signifikan (Zakaria & Maryati, 2021). Hal ini sejalan dengan temuan pada penelitian Khan *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa kondisi perairan yang tercemar berat sebagian besar disebabkan oleh keberadaan sampah dan limbah cair di sepanjang sungai yang biasanya berasal dari limbah rumah tangga dan industri.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan di Sungai Bedog menunjukkan tingkat kelimpahan dan keanekaragaman yang tergolong tinggi. Serangga akuatik yang ditemukan di lokasi penelitian berperan dalam biomonitoring kesehatan sungai di Sungai Bedog dikelompokkan berdasarkan perannya dalam jejaring makanan yaitu sebagai Herbivor, Karnivor, Detrivor, dan Predator. Analisis kualitas air dan kesehatan sungai menggunakan metode *Hilsenhoff biotic index* (HBI) di Sungai Bedog, menunjukkan dua kategori yaitu mulai dari baik hingga sangat baik di beberapa stasiun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arimoro, F.O., & Ikomi, R.B. (2009). *Ecological integrity of upper Warri River, Niger Delta using aquatic insects as bioindicators*. *Ecological Indicators*, 9(3), 455–461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.06.004>
- Aweng, E. R., Aisyah, S. O. S., Salam, M. A., Liyana, A. A., & Mior, I. B. 2022. Interaction of Various Ecological Factors on Benthic Macroinvertebrate and River Health. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1102, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.
- Barbour, M. T., et al. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers*. EPA. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/rbpmanual\\_2001.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/rbpmanual_2001.pdf)
- Chakravarty, T., & GUPTA, S. 2021. Monitoring of River Health Using Aquatic Insects: A study on Jatinga River, North East India. *Aquatic Research*, 4(4), 363-375.
- De, K., Sarkar, A., Singh, K., Uniyal, V. P., Johnson, J. A., & Hussain, S. A. 2021. Diversity of Aquatic Insects and Biomonitoring of Water Quality in the Upper Ganga River, a Ramsar Site: a Preliminary Assessment. *Journal of Threatened Taxa*, 13(13), 20011-20018.
- Dorji, T., Tshering, S., Wangchuk, N., & Acharja, I. P. 2021. Biomonitoring of Health of Chubachu Stream Using Macroinvertebrate Diversity. *Bhutan Journal of Research and Development*, 10(2).
- Faria, A. P. J., Ligeiro, R., Calvão, L. B., Giam, X., Leibold, M. A., & Juen, L. 2024. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 851(2), 281-298.

- Hertika, a. M. S., Sudaryanti, S., Musa, M., Amron, K., Putra, R. B. D. S., Alfari, M. A., & halimah, m. F. 2024. Benthic macroinvertebrates as bioindicators to detect the level of water pollution in the upstream segment of Brantas River Watershed in Malang, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(2).
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society* 7(1), 65-68.
- Khamboonruang, P., Klorvuttimontara, S., & Prommi, T. O. 2024. Diversity and Structure of Aquatic Insect Communities in Relation to Water Quality Parameters in The Kasetsart University Drainage Ditches, Central Thailand. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 17(1), 11-22.
- Khan, A. S., Anavkar, A., Ali, A., Patel, N., & Alim, H. 2021. A review on current status of riverine pollution in India. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 18(1), 9-22.
- Lima, M., Firmino, V. C., de Paiva, C. K. S., Juen, L., & Brasil, L. S. 2022. Land use changes disrupt streams and affect the functional feeding groups of aquatic insects in the Amazon. *Journal of Insect Conservation*, 26(2), 137-148.
- Magbanua, F. S., Hilario, J. E., Salluta, J. C. R. B., Alpecho, B. C., Mendoza, S. S., & Lit Jr, I. L. 2023. Freshwater Biomonitoring with Macroinvertebrates in the Philippines: Towards the Development of the Philippine Biotic Index. *Limnologica*, 126098.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Mahmoud, M., & A Riad, S. 2020. Ecological studies on some aquatic insects in the Damietta branch, River Nile of Egypt as bioindicators of pollution. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(4), 57-76.
- Miliša, M., Stubbington, R., Datry, T., Cid, N., Bonada, N., Šumanović, M., & Milošević, D. 2022. Taxon-specific sensitivities to flow intermittence reveal macroinvertebrates as potential bioindicators of intermittent rivers and streams. *Science of the Total Environment*, 804.
- Nieto, C., Ovando, X. M. C., Loyola, R., Izquierdo, A., Romero, F., Molineri, C., Rodríguez, J., Rueda Martín, P., Fernández, H., Manzo, V., & Miranda, M. J. 2017. The role of macroinvertebrates for conservation of freshwater systems. *Ecology and Evolution*, 7(14), 5502-5513.
- Oliveira, A. L. H. D., & Nessimian, J. L. 2010. Spatial distribution and functional feeding groups of aquatic insect communities in Serra da Bocaina streams, southeastern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22, 424-441.
- Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. 2014. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de biologia tropical*, 62, 155-167.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall.
- Solanki, R., & Shukla, A. 2015. Aquatic insects for biomonitoring freshwater ecosystems: A report. *International Journal of Science and Research*, 6(2), 2056-2058.
- Souza, F. N., da Silva, R. M. L., & Campiolo, S. 2024. Spatial and Environmental Influence on the Community of Aquatic Insects in Atlantic Forest Streams. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(1), e03913-e03913.
- Vaughn, C.C. (2010). *Biodiversity losses and ecosystem function in freshwaters: emerging conclusions and research directions*. *BioScience*, 60(1), 25-35. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.7>
- Vaughn, C.C. (2010). *Biodiversity losses and ecosystem function in freshwaters: emerging conclusions and research directions*. *BioScience*, 60(1), 25-35. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.7>
- Wibowo, A., Setyawan, A., & Dewi, R. (2022). Analisis Kualitas Air Sungai Bedog dan Potensinya Sebagai Kawasan Edu-Ekowisata Berbasis Konservasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 119-128. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.119-128>
- Wibowo, A., Setyawan, A., & Dewi, R. (2022). Analisis Kualitas Air Sungai Bedog dan Potensinya Sebagai Kawasan Edu-Ekowisata Berbasis Konservasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 119-128. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.119-128>
- Yudha, S., & Dibyosaputro, S. 2016. Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Perubahan Runoff di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedog Yogyakarta. *Majalah Geografi Indonesia*, 27(2), 117-137.
- Yustian, I., et al. (2020). *Kajian Kualitas Air Sungai Musi Menggunakan Hilsenhoff Biotic Index (HBI)*. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*, 15(2), 137-145.
- Arimoro, F.O., & Ikomi, R.B. (2009). *Ecological integrity of upper Warri River, Niger Delta using aquatic insects as bioindicators*. *Ecological Indicators*, 9(3), 455-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.06.004>
- Yustian, I., et al. (2020). *Kajian Kualitas Air Sungai Musi Menggunakan Hilsenhoff Biotic Index (HBI)*. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*, 15(2), 137-145
- Zakaria, M. Z., & Maryati, M. 2021. Comparison of diversity and community structure of aquatic insects based on habitat class in Johor. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 736, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.
- Zequi, J. A. C., Espinoza, A. A., de Almeida Paccola, J., & Lopes, J. 2019. Aquatic Insect Communities in Small Stream in the South of Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(7), 408.