

**[Research Article]**

Pendugaan Kerusakan Geologis pada Pencemaran Air Berdasarkan Profil Mikroinvertebrata di Aliran Sungai Wonosalam

Hikmal Akbar Habibie^{1*}, Ariesta Sulistyio Asih¹, Ivaul Hasanah²

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

*Correspondence: 24034010002@student.upnjatim.ac.id

Informasi Artikel:**Abstrak**

Diterima:
4 April 2026

Disetujui:
23 Juni 2026

Dipublikasi:
1 September 2026

Kata kunci:

bioindikator;
mikroinvertebrata;
kualitas air sungai.

Ekspansi aktivitas antroposfer di DAS Sungai Wonosalam, Jombang, memicu tekanan ekologis berupa pencemaran organik. Penelitian ini menganalisis degradasi kualitas lingkungan melalui pendekatan ekologi berbasis biomonitoring makroinvertebrata Biotic Index dan Family Biotic Index pada stasiun 1, 2, dan 3. Hasil penelitian menunjukkan temuan geologi perairan yang linear dengan intensitas pemanfaatan lahan. Segmen hulu yang bervegetasi rapat menjadi zona refugia bagi organisme sensitif sebesar 1,8 persen. Wilayah tengah dan hilir yang terinterseksi pertanian, peternakan, serta permukiman mengalami degradasi masif yang didominasi taksa toleran Buccinidae dan Thiaridae dengan Indeks Biotilik 1,83 atau kategori tercemar sedang. Dinamika biosfer sungai ini, secara geologis, dikendalikan oleh konektivitas ruang antara aktivitas antropogenik dan penurunan daya dukung lingkungan. Perubahan fungsi ruang dan tingginya tekanan limbah antropogenik berbanding lurus dengan penurunan struktur komunitas biologis di sungai. Hasil penelitian ini menegaskan perlunya pembatasan alih fungsi lahan serta penerapan tata kelola zonasi DAS berbasis pemantauan bioindikator untuk menjaga keberlanjutan ekosistem perairan.

Article Info:**Abstract**

Received:
4 April 2026

Accepted:
23 Juni 2026

Published:
1 September 2026

Keywords:

bioindicators;
macroinvertebrates;
water quality.

Expansion of anthroposphere activities in the Wonosalam River watershed, Jombang, triggers ecological pressure in the form of organic pollution. This study analyzes environmental quality degradation through an environmental approach based on macroinvertebrate biomonitoring using Biotilik and Family Biotic Index across stations 1, 2, and 3. Results show aquatic geological findings that align linearly with land use intensity. The densely vegetated upstream segment serves as a refugia zone for sensitive organisms at 1.8 percent. Conversely, the midstream and downstream areas intersected by agriculture, livestock farming, and settlements experience massive degradation dominated by tolerant taxa Buccinidae and Thiaridae with a Biotilik Index of 1.83, indicating moderate pollution. Geologically, the biosphere dynamics of this river are driven by spatial connectivity between anthropogenic activities and declining environmental carrying capacity. Changes in land use and high levels of anthropogenic waste pressure are directly correlated with the degradation of riverine biological community structures. These research findings underscore the need to limit land-use conversion and implement watershed zoning management based on bioindicator monitoring to ensure the sustainability of aquatic ecosystems.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital yang mendasari keberlangsungan seluruh makhluk hidup di bumi, sehingga pemanfaatannya harus dilakukan secara bijaksana untuk menjaga ketersediaannya bagi generasi saat ini dan generasi masa depan (Agustin dkk., 2026). Namun, kondisi lingkungan dan ekosistem perairan sering kali tidak stabil akibat campur tangan aktivitas manusia yang mengubah fungsi alamnya (Chowdhury dkk., 2023). Dampaknya, penurunan populasi dan hilangnya keanekaragaman hayati di suatu kawasan menjadi indikator kuat terjadinya gangguan atau pencemaran lingkungan (Erlangga dkk., 2024). Konteks masalah ini sangat relevan dengan kondisi Sungai Wonosalam di Kabupaten Jombang, Jawa Timur, yang kualitas perairannya mulai mengalami tekanan antropogenik akibat maraknya aktivitas domestik, pertanian, dan peternakan di wilayah daerah aliran sungai (DAS).

Limbah peternakan menjadi sumber pencemar dominan yang memicu perubahan kondisi fisik sungai menjadi keruh dan berbau (Ernawati dkk., 2025). Mengingat sungai memiliki peran penting dalam menjaga konektivitas ekologis kawasan, evaluasi dan pemantauan kualitas air menjadi langkah krusial untuk mengendalikan degradasi lingkungan perairan (Janwadi & Lestari, 2025). Wilayah Wonosalam sendiri didominasi oleh topografi berbukit dengan kemiringan lereng yang relatif curam. Karakter fisik ini, jika berpadu dengan pemanfaatan lahan untuk permukiman, pertanian, dan peternakan, berpotensi mempercepat proses limpasan permukaan yang membawa bahan organik serta residu limbah ke badan sungai (Ferdiansyah dkk., 2025). Kondisi geografis tersebut menyebabkan distribusi polutan berlangsung lebih cepat dan meluas di setiap segmen aliran sungai, sehingga pendekatan lingkungan sangat diperlukan untuk memahami hubungan yang kompleks antara karakteristik wilayah, tekanan antropogenik, dan kerentanan ekosistem perairan (Kadim dkk., 2025).

Penelitian ini mengacu pada konsep biomonitoring, yakni teknik evaluasi kualitas lingkungan yang menggunakan respons organisme sebagai indikator perubahan kondisi ekosistem (Mandasari dkk., 2024). Biomonitoring dalam ekosistem akuatik umumnya memanfaatkan makroinvertebrata benthos karena organisme ini memiliki habitat yang relatif menetap dan sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan (Munfarida dkk., 2025). Salah satu instrumen utama yang sering digunakan adalah Indeks Makroinvertebrata Benthos, yang merepresentasikan kelompok organisme air dengan tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap polutan organik (Nurhaliza dkk., 2025).

Kelimpahan makroinvertebrata benthos yang sensitif terhadap pencemaran secara langsung

menunjukkan kondisi perairan yang relatif baik (Nurrohmah dkk., 2025). Evaluasi biologis ini dilengkapi dengan metode Biotilik yang mengelompokkan organisme indikator berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pencemaran (Assunção dkk., 2023). Untuk meningkatkan akurasi analisis, metode tersebut dikombinasikan dengan Family Biotic Index (FBI) yang dirancang khusus untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran organik berdasarkan skor toleransi tiap famili makroinvertebrata (Dhea dkk., 2023). Selain faktor biologis, kondisi habitat fisik seperti sedimentasi, karakter substrat, dan vegetasi riparian turut dipertimbangkan karena terbukti berpengaruh signifikan terhadap distribusi dan sensitivitas komunitas benthos di sepanjang aliran sungai (Purnama dkk., 2024).

Beberapa penelitian biomonitoring sungai di Indonesia, seperti pada DAS Singhasari, Sungai Citarum (Saksaky, 2026), Sungai Opak (Saleh dkk., 2025), Sungai Boyong (Sulistiyowati dkk., 2024), dan Sungai Bedog (Wijaya dkk., 2025), umumnya masih berfokus pada penggunaan indeks biologis tunggal tanpa mengintegrasikan pendekatan lingkungan secara komprehensif (Erlangga dkk., 2024). Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak berlokasi di wilayah hilir yang berdekatan dengan kawasan industri, sedangkan kajian di wilayah hulu hingga tengah sungai yang berkarakter pedesaan, dengan dominasi pencemaran organik dari peternakan, masih relatif terbatas (Putri dkk., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait dinamika kualitas air dan respons ekologis biota di kawasan sungai yang berbasis pada aktivitas peternakan pedesaan (Robbi dkk., 2024). Penelitian ini mengintegrasikan metode Biotilik dan FBI untuk menilai kesehatan lingkungan Sungai Wonosalam secara lebih komprehensif melalui penggabungan observasi ekologis dan kuantifikasi presisi bioindikator. Pendekatan ini penting dalam kajian lingkungan karena tidak hanya menghasilkan data kualitas perairan berbasis angka laboratorium, tetapi juga mampu memetakan kerentanan ekosistem sungai berdasarkan distribusi tekanan antropogenik, kondisi habitat fisik, dan dinamika penggunaan lahan pada setiap segmen aliran. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih representatif dan aplikatif tentang hubungan antara aktivitas manusia dan perubahan kondisi ekologis sungai.

Penelitian ini berfokus pada bagaimana distribusi dan struktur komunitas makroinvertebrata benthos merespons beban polutan organik akibat aktivitas antropogenik di Sungai Wonosalam. Penelitian ini juga mengkaji keterkaitan antara keberadaan makroinvertebrata benthos, kondisi habitat fisik perairan, serta tingkat kualitas air sungai secara ekologis dan spasial. Oleh karena itu, tujuan utama penelitian ini adalah melakukan identifikasi dan penghitungan indeks keanekaragaman makroinvertebrata benthos, sekaligus

menentukan klasifikasi kualitas air menggunakan metode Biotilik dan indeks FBI. Selain itu, penelitian ini turut menganalisis pengaruh kondisi habitat fisik, seperti sedimentasi dan vegetasi riparian, terhadap distribusi komunitas benthos di sepanjang aliran sungai. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata berupa data ekologis spasial dan rekomendasi kebijakan yang valid bagi pengelolaan DAS, konservasi lingkungan perairan, serta penguatan literasi pendidikan Geografi Lingkungan.

METODE

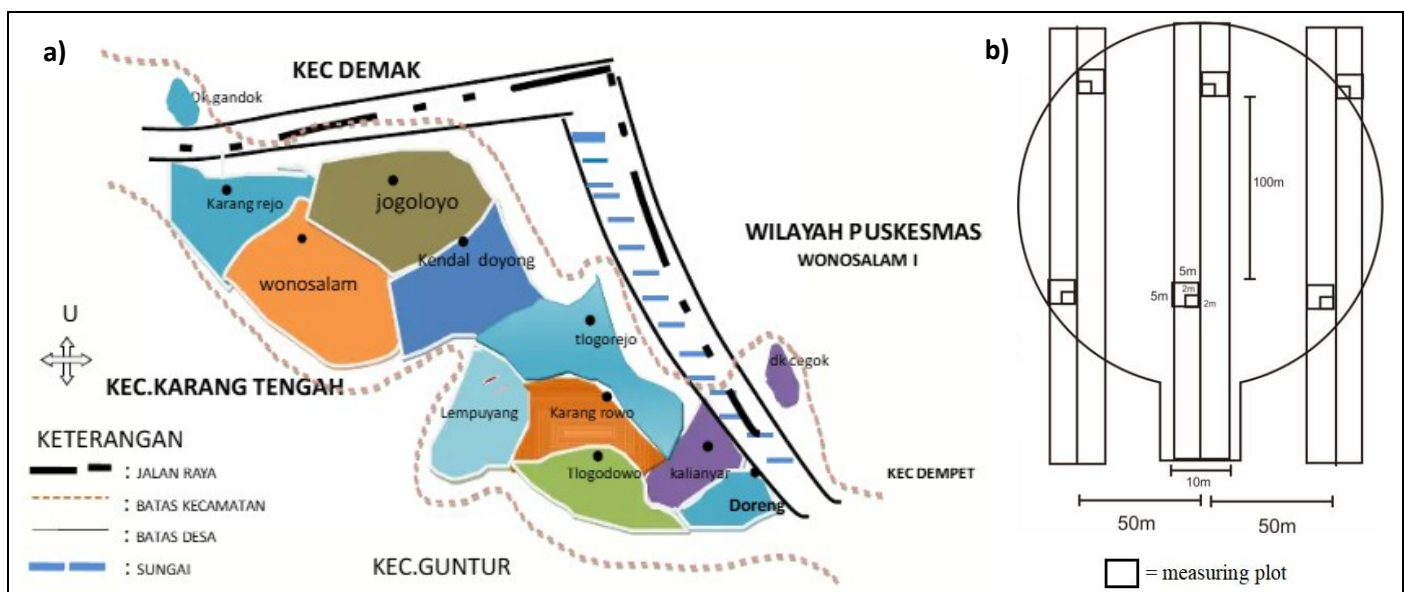
Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian observasional lapangan yang menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Desain ini dipilih karena pengamatan, pengambilan sampel makroinvertebrata, dan pengukuran parameter lingkungan dilakukan secara langsung di habitat alamnya (Wahyuningsih dkk., 2024). Peneliti tidak memberikan perlakuan atau manipulasi terhadap variabel lingkungan sungai, sehingga data yang

dihasilkan benar-benar merepresentasikan kondisi faktual dan alamiah dari tingkat pencemaran perairan tersebut.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan aliran Sungai Wonosalam, secara spesifik bertempat di sekitar area Asriloka Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Penentuan lokasi pengambilan sampel dibagi ke dalam tiga stasiun pengamatan yang tersebar di sepanjang aliran sungai berdasarkan perbedaan karakteristik lingkungan dan tingkat intensitas aktivitas antropogenik di sekitarnya. Titik awal pengamatan (Stasiun 1) berada pada koordinat $-7,707456^{\circ}$ LS dan $112,372499^{\circ}$ BT, sedangkan stasiun berikutnya ditetapkan mengikuti arah aliran sungai untuk merepresentasikan variasi kondisi ekologis serta potensi pencemaran secara spasial. Tahap pengumpulan data lapangan telah dilaksanakan pada hari Sabtu, 16 November 2024, pada pukul 07.00 hingga 10.00 WIB. Sebaran lokasi penelitian dan plot pemetaan sampling disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. a) Lokasi Daerah Aliran Sungai Wonosalam, b) Stasiun Pengamatan

Populasi dan Sasaran Penelitian

Sasaran utama penelitian ini adalah populasi organisme makroinvertebrata akuatik yang mendiami bentang perairan Sungai Wonosalam. Data primer yang digunakan mencakup dua aspek utama yaitu data biologi dan data ekologi (Zakaria & Trintyani, 2025). Data biologi berupa keanekaragaman taksa dan perhitungan jumlah individu dari kelompok biota makroinvertebrata khususnya ordo Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT), serta kelompok benthos lainnya. Adapun data ekologi berupa observasi langsung profil habitat fisik sungai yang dinilai melalui 10 parameter

kondisi lingkungan perairan.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data biologis makroinvertebrata dilakukan menggunakan metode transek bujur sangkar pada badan air sungai. Area pengamatan dibatasi seluas 1 m^2 menggunakan tali dan pasak bambu, kemudian jaring sampel berdiameter 15 cm diletakkan berlawanan arah arus pada bagian hilir transek. Pengambilan sampel dilakukan secara purposive pada mikrohabitat berarus sedang hingga deras (riffle) yang didominasi substrat batu dan kerikil karena memiliki potensi kelimpahan

makroinvertebrata benthos yang lebih tinggi.

Pengambilan sampel benthos dilakukan menggunakan teknik *kicking* atau *jabbing*, yaitu dengan menginjak dan mengaduk substrat batu maupun pasir selama ± 3 menit pada setiap transek. Teknik ini bertujuan menghasilkan turbulensi buatan sehingga organisme benthos terlepas dari substrat dan terbawa arus menuju jaring. Biota yang tertangkap selanjutnya dipindahkan menggunakan sendok plastik ke dalam wadah penampung dan plastik klip. Prosedur ini diulang secara berantai hingga mencapai target minimal 100 individu biota per stasiun. Apabila target 100 individu belum terpenuhi pada satu transek, transek tambahan dipasang berdampingan dengan area awal.

Pengembangan Instrumen

Dua instrumen utama dikembangkan untuk menunjang penelitian, yaitu panduan penilaian kualitas habitat sungai dan rubrik status pencemaran. Panduan penilaian kualitas habitat sungai ini diadaptasi dari metode Visual Stream Assessment dan protokol penilaian habitat biomonitoring perairan. Instrumen ini memuat skoring terhadap 10 parameter kelayakan lingkungan, mencakup komposisi substrat batuan, tingkat fluktuasi aliran air, stabilitas fisik tebing sungai, kondisi vegetasi riparian, serta identifikasi potensi intervensi limbah antropogenik dari wilayah hulu. Adapun rubrik status pencemaran adalah pengembangan kriteria penilaian status pencemaran berdasarkan tingkat sensitivitas dan toleransi tiap kelompok famili makroinvertebrata yang mengacu pada standar metode Biotilik dan FBI.

Teknik Analisis Data

Analisis data difokuskan untuk menilai tingkat dampak pencemaran organik terhadap kualitas perairan melalui perhitungan matematis terhadap hasil tabulasi taksa biologis (Wardhani & Prijono, 2025). Status mutu air dikalkulasi menggunakan dua indeks utama:

Indeks Biotilik

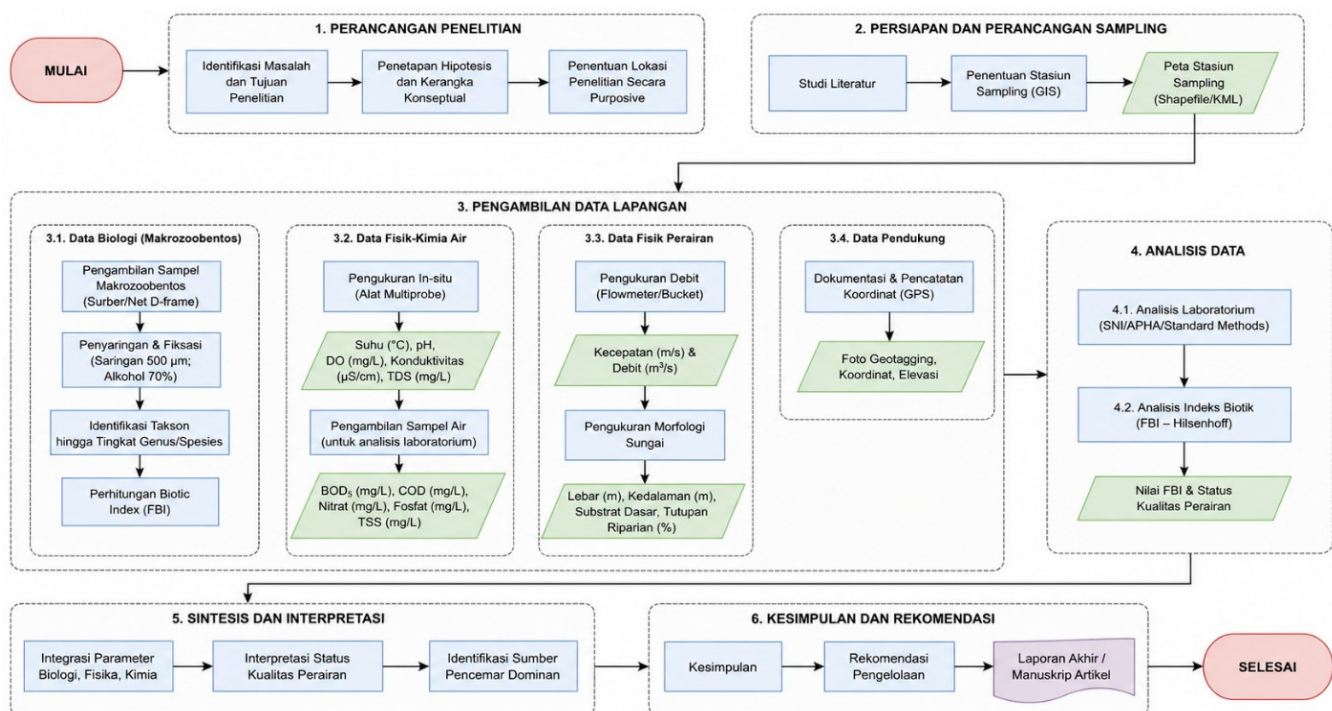
Indeks biotilik dihitung dengan mengalikan jumlah individu tiap famili dengan skor toleransi biotilik masing-masing, kemudian dibagi dengan total keseluruhan individu yang tertangkap. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung indeks biotilik yaitu menggunakan Persamaan 1 berikut:

$$IBT = \frac{\sum(n_i \times S_i)}{N} \quad (1)$$

di mana *IBT* adalah nilai indeks Biotilik, n_i adalah jumlah individu famili ke-*i*, s_i adalah skor toleransi Biotilik famili ke-*i*, dan *N* adalah total jumlah individu makroinvertebrata benthos yang ditemukan.

Family Biotic Index

Nilai FBI menunjukkan tingkat pencemaran berdasarkan toleransi organisme indikator. Family Biotic Index dihitung dengan membagikan total hasil kali jumlah individu tiap taksa dan skor toleransi pencemarannya terhadap total populasi sampel. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung FBI menggunakan Persamaan 2:



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

$$FBI = \frac{\sum(n_i \times t_i)}{N} \quad (2)$$

di mana *FBI* adalah nilai FBI, n_i adalah jumlah individu famili ke- i , t_i adalah skor toleransi pencemaran famili ke- i , dan N adalah total jumlah individu makroinvertebrata benthos yang ditemukan.

Validasi

Tingkat kesehatan kualitas air dievaluasi secara komparatif melalui triangulasi data parametrik untuk memastikan validitas klaim akhir. Uji akurasi ini menggabungkan total keanekaragaman famili, kelimpahan spesies sensitif, persentase struktur komunitas benthos, serta kalkulasi skor IBT dan FBI. Pendekatan komprehensif ini menjamin penetapan status pencemaran Sungai Wonosalam yang sah dan selaras dengan karakteristik fisik lingkungan pada setiap segmen pengamatan. Adapun seluruh rangkaian metodologi disajikan pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Habitat Sungai

Hasil pemeriksaan fisik habitat Sungai Wonosalam menunjukkan penurunan kualitas habitat yang ditandai oleh tingginya sedimentasi lumpur, erosi tebing, dan berkurangnya vegetasi riparian akibat tekanan aktivitas antropogenik di kawasan hulu DAS. Meskipun dasar sungai masih didominasi oleh substrat alami berupa kerikil dan bebatuan, akumulasi sedimen halus telah menutupi rongga-rongga batu yang berfungsi sebagai mikrohabitat penting bagi makroinvertebrata benthos yang sensitif terhadap pencemaran.

Kondisi tersebut diduga tidak hanya dipengaruhi oleh proses erosi alami akibat kemiringan lereng wilayah sungai, tetapi juga diperparah oleh limpasan limbah peternakan, pembukaan lahan, serta minimnya vegetasi penahan di sempadan sungai yang meningkatkan laju limpasan permukaan dan pasokan material organik ke badan sungai (Wijaya dkk., 2025). Meskipun demikian, hasil skor habitat fisik perlu dikaji kembali dan disesuaikan dengan standar klasifikasi kelayakan habitat yang digunakan. Skor agregat yang sangat rendah mengindikasikan kondisi habitat dengan tingkat kerusakan tinggi, sehingga berpotensi mencerminkan kategori pencemaran yang lebih berat dibandingkan dengan hasil klasifikasi biologis yang diperoleh (Saksaky, 2026).

Temuan degradasi fisik ini konsisten dengan berbagai literatur terdahulu yang menyimpulkan bahwa perubahan tata guna lahan di bantaran sungai selalu berkorelasi positif dengan peningkatan sedimentasi dan penurunan kualitas perairan (Saksaky, 2026; Saleh dkk., 2025; Sulistiyowati dkk., 2024; Wijaya dkk., 2025).

Melalui temuan ini, penelitian berhasil menjawab kesenjangan informasi terkait bias lokus penelitian terdahulu. Mayoritas studi ekologi sungai sebelumnya lebih banyak terpusat pada pencemaran limbah kimia industri di kawasan hilir perkotaan. Sebaliknya, analisis ini membuktikan bahwa perairan dataran tinggi pedesaan, dari segmen hulu hingga tengah, ternyata sangat rentan terhadap degradasi fisik tersembunyi. Kerusakan di Sungai Wonosalam menjadi bukti nyata bahwa akumulasi aktivitas komunal seperti pembuangan limbah peternakan, sampah domestik, dan ketiadaan manajemen sempadan mampu menekan kualitas habitat ekosistem sungai secara signifikan.

Biota yang Teridentifikasi

Inventarisasi dan identifikasi makroinvertebrata yang tertangkap di area stasiun pengamatan Sungai Wonosalam menghasilkan total 221 individu. Secara keseluruhan, biota perairan ini diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama berdasarkan tingkat sensitivitasnya terhadap pencemaran, yaitu kelompok makroinvertebrata sensitif, khususnya ordo Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT), kelompok non-EPT, serta kelompok benthos lainnya. Rincian kelimpahan taksa dan jumlah individu pada masing-masing kelompok disajikan secara lengkap dalam Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, kelompok makroinvertebrata sensitif (EPT) hanya terdiri dari dua famili, yaitu Baetidae (Agniidae-B) dan Hydropsychidae. Sementara itu, kelompok non-EPT terdiri atas beberapa famili, yakni Veliidae (27 individu), Atyidae (3 individu), Gerridae (3 individu), Mesoveliidae (13 individu), Gomphidae (3 individu), Palaemonidae (4 individu), Parathelphusidae-A (2 individu), Parathelphusidae-B (3 individu), Corixidae-A (1 individu), dan Corduliidae-C (2 individu). Adapun kelompok benthos lainnya didominasi oleh Thiaridae-B (9 individu), Buccinidae (135 individu), dan Thiaridae-A (15 individu). Temuan ini menunjukkan bahwa komunitas makroinvertebrata benthos di Sungai Wonosalam didominasi oleh famili yang toleran terhadap pencemaran organik. Rendahnya keberadaan famili makroinvertebrata sensitif mengindikasikan adanya tekanan terhadap kualitas lingkungan perairan akibat tingginya aktivitas antropogenik di kawasan DAS (Munfarida dkk., 2025).

Makroinvertebrata sering kali dijadikan indikator utama kualitas perairan. Organisme jenis intoleran (sensitif) umumnya hanya dapat hidup dan berkembang biak pada perairan yang belum tercemar atau memiliki kandungan bahan pencemar yang sangat rendah karena kisaran toleransinya yang sempit terhadap tekanan lingkungan (Erlangga dkk., 2024). Makroinvertebrata air memiliki kepekaan tinggi terhadap perubahan kualitas air yang berdampak langsung pada komposisi dan

Tabel 1. Keanekaragaman Mikroinvertebrata di Sungai Wonosalam

Kategori	Taksa	Stasiun Pengamatan		
		Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Mikroinvertebrata	Mikroinvertebrat aagenidae-B	1	0	0
	Vellidae	20	5	2
	Atyidae	3	0	0
	Gerridae	2	1	0
	Mesovellidae	9	3	1
Non	Gomphidae	2	1	0
Mikroinvertebrata	Palaemonidae	2	1	1
	Parathelphusidae-A	2	0	0
	Parathelphusidae-B	3	0	0
	Corixidae-A	1	0	0
	Corduliidae-C	1	1	0
Benthos	Thiaridae-B	5	2	2
	Bucchinidae	97	23	15
	Thiaridae-A	9	5	1
	Total	157	42	22

kelimpahannya. Selain itu, organisme ini ditemukan hampir di semua tipe perairan, terdiri dari berbagai spesies dengan tingkat respons yang spesifik terhadap jenis gangguan tertentu, pergerakannya terbatas, mampu mengakumulasi polutan, serta relatif mudah dikumpulkan dan diidentifikasi hingga tingkat famili (Kadim dkk., 2025).

Pemeriksaan Biotilik Sampel

Pemeriksaan biotilik sampel dilakukan sebagai bagian dari analisis biomonitoring untuk menilai kualitas perairan Sungai Wonosalam berdasarkan komposisi dan kelimpahan mikroinvertebrata (Agustin dkk., 2026). Metode biotilik digunakan karena bersifat praktis, partisipatif, dan mampu merepresentasikan kondisi ekologis perairan melalui tingkat sensitivitas organisme

terhadap pencemaran, khususnya pencemar organik (Ernawati dkk., 2025).

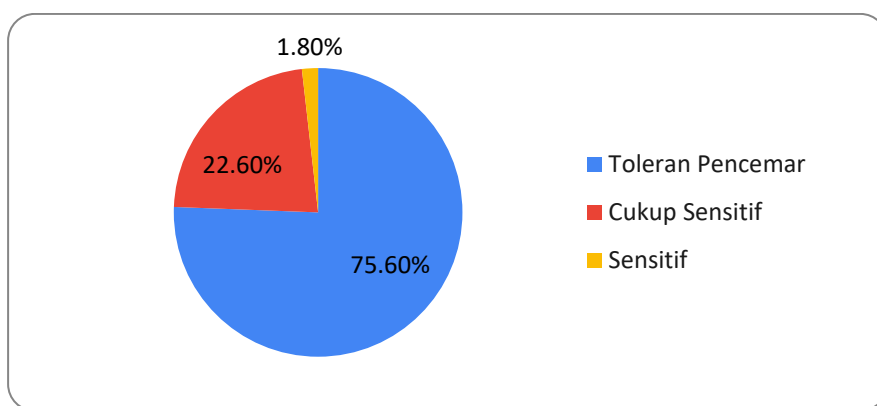
Berdasarkan hasil inventarisasi dan identifikasi mikroinvertebrata yang diperoleh dari tiga stasiun pengamatan, ditemukan total sebanyak 221 individu yang terdiri dari tiga kelompok utama, yaitu EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), Non-Mikroinvertebrata, dan Benthos (Tabel 2). Kelompok mikroinvertebrata yang dikenal sebagai indikator perairan bersih hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat terbatas, yaitu satu famili Mikroinvertebrata Aagenidae-B dengan jumlah individu yang rendah. Menurut penelitian Erlangga dkk. (2024) pada Sungai Singhasari, kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas perairan telah mengalami tekanan lingkungan yang cukup signifikan.

Tabel 2. Pengelompokan Biota

Kategori	Taksa	Metode Pemeriksaan		
		Skor Biotilik	Jumlah Individu	Skor × Jumlah Individu
Mikroinvertebrata	Mikroinvertebrat aagenidae-B	4	1	4
	Vellidae	3	27	81
	Atyidae	2	3	6
	Gerridae	2	3	6
	Mesovellidae	3	13	39
Non	Gomphidae	4	3	12
Mikroinvertebrata	Palaemonidae	3	4	12
	Parathelphusidae-A	2	2	4
	Parathelphusidae-B	2	3	6
	Corixidae-A	3	1	3
	Corduliidae-C	3	2	6
Benthos	Thiaridae-B	2	9	18
	Bucchinidae	2	135	170
	Thiaridae-A	2	15	30
	Total		221	401

Berdasarkan Tabel 2, kondisi Sungai Wonosalam dapat diketahui dari keberadaan famili indikator Biotilik yang ditemukan. Terdapat beberapa famili non-EPT yang tergolong cukup sensitif terhadap pencemaran, yaitu Palaemonidae, Hydrophilidae, dan Veliidae. Selain itu, ditemukan pula famili dari kelompok EPT yang cukup sensitif, yakni Hydropsychidae, dengan persentase kelimpahan sebesar 2,64 persen. Keberadaan kelompok indikator tersebut menandakan bahwa kondisi Sungai Wonosalam berada pada kategori tercemar sedang (Saksaky, 2026). Tingginya aktivitas manusia di sekitar area aliran sungai menjadi faktor utama yang memengaruhi kondisi ekologis tersebut.

Mengacu pada data komposisi dan kelimpahan makroinvertebrata di setiap stasiun (Tabel 2), pengelompokan biota berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pencemaran (Gambar 3) menunjukkan bahwa komunitas didominasi oleh kategori biota toleran dengan persentase mencapai 75,6 persen. Selanjutnya, kategori biota yang cukup sensitif menempati urutan kedua dengan persentase sebesar 22,6 persen. Komposisi tersebut mengindikasikan adanya tekanan pencemaran pada ekosistem sungai. Sementara itu, biota yang tergolong sensitif terhadap pencemaran hanya ditemukan sebesar 1,8 persen, dan biota yang sangat toleran tidak ditemukan di sepanjang aliran Sungai Wonosalam.



Gambar 3. Diagram Persentase Biotilik

Skor Toleransi yang Diamati

Berdasarkan hasil identifikasi makroinvertebrata dan pengelompokan tingkat toleransi terhadap pencemaran, langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian skor toleransi setiap famili menggunakan metode Biotilik. Penilaian ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi setiap taksa terhadap tingkat pencemaran perairan melalui pembobotan antara jumlah

individu dan nilai toleransinya (Wardhani & Prijono., 2025). Hasil perhitungan skor disajikan pada Tabel 3.

Hasil pemeriksaan habitat fisik Sungai Wonosalam menunjukkan adanya penurunan kualitas lingkungan perairan yang ditandai oleh tingginya sedimentasi lumpur, erosi tebing, dan berkurangnya vegetasi riparian pada beberapa segmen DAS. Meskipun substrat dasar sungai masih didominasi kerikil dan bebatuan alami, akumulasi

Tabel 3. Skor Toleransi per Spesies

Kategori	Taksa	Metode Pemeriksaan		
		Jumlah	Index Toleransi	Jumlah × Indeks Toleransi
Mikroinvertebrata	Mikroinvertebrat aagenidae-B	1	4	4
	Vellidae	27	6	162
	Atyidae	3	7	21
	Gerridae	3	5	15
	Mesovellidae	13	Tidak Diketahui	Tidak Diketahui
Non Mikroinvertebrata	Gomphidae	3	1	3
	Palaemonidae	4	6	24
	Parathelphusidae-A	2	3	6
	Parathelphusidae-B	3	3	9
	Corixidae-A	1	2	2
	Corduliidae-C	2	2	4
	Thiaridae-B	9	4	36
Benthos	Bucchinidae	135	3	405
	Thiaridae-A	15	6	90
Total				781

sedimen halus telah menutupi rongga-rongga batu yang menjadi mikrohabitat penting bagi makroinvertebrata benthos yang sensitif terhadap pencemaran. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh kombinasi proses erosi lereng, alih fungsi lahan, limpasan permukaan, serta masuknya limbah peternakan dari kawasan hulu dan permukiman di sekitar sungai (Wijaya dkk., 2025). Secara geografis, topografi Wonosalam yang berbukit dengan kemiringan lereng relatif curam mempercepat proses transpor material organik menuju badan sungai, sehingga meningkatkan kerentanan ekologis perairan secara spasial (Janwadi & Lestari, 2025).

Berdasarkan hasil identifikasi biota, komunitas makroinvertebrata benthos di Sungai Wonosalam didominasi oleh organisme yang toleran terhadap pencemaran organik, seperti Buccinidae dan Thiaridae. Sebaliknya, kelompok organisme sensitif terhadap pencemaran ditemukan dalam jumlah yang sangat rendah dengan persentase kelimpahan hanya sekitar 1,8 persen, yang jauh di bawah kondisi perairan sehat yang umumnya memiliki persentase lebih dari 40 persen. Minimnya jumlah famili sensitif menandakan bahwa kualitas habitat perairan telah mengalami tekanan ekologis akibat peningkatan bahan organik dan sedimentasi. Dominasi organisme toleran yang melebihi 50 persen mengindikasikan penurunan kualitas lingkungan akibat tingginya beban bahan organik pada badan sungai (Saleh dkk., 2025).

Stasiun pengamatan yang berdekatan dengan kawasan peternakan, permukiman, dan area wisata di sekitar Asriloka menunjukkan dominasi organisme toleran yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun dengan vegetasi riparian yang masih terjaga. Hal ini membuktikan bahwa jarak terhadap sumber pencemar dan kondisi tata guna lahan berpengaruh langsung terhadap pola distribusi kualitas habitat sungai (Erlangga dkk., 2024). Tekanan antropogenik yang berlangsung secara terus-menerus menyebabkan perubahan struktur komunitas benthos pada segmen sungai tertentu, sehingga analisis tata guna lahan dan ruang menjadi penting untuk memahami keterkaitan antara karakteristik ruang, aktivitas manusia, dan degradasi kualitas lingkungan perairan (Wahyuningsih dkk., 2024).

Hasil analisis IBT menunjukkan nilai sebesar 1,83 yang tergolong dalam kategori tercemar sedang. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa komunitas biota di Sungai Wonosalam telah mengalami perubahan struktur akibat tekanan lingkungan. Sementara itu, hasil FBI sebesar 3,53 menunjukkan kondisi tercemar sangat ringan. Namun demikian, nilai FBI tersebut perlu ditinjau kembali karena belum sepenuhnya selaras dengan kondisi nyata komunitas benthos di lapangan. Dominasi famili toleran seperti Buccinidae dan Thiaridae secara ekologis seharusnya menghasilkan nilai FBI yang lebih tinggi yang mencerminkan tingkat pencemaran organik

yang lebih berat (Saleh dkk., 2025). Ketidaksesuaian ini mengindikasikan adanya potensi kekeliruan dalam proses penentuan skor toleransi, penginputan jumlah individu, maupun kalkulasi indeks. Mengacu pada konsep FBI, peningkatan dominasi organisme toleran seharusnya berkorelasi positif dengan memburuknya kualitas perairan akibat pencemaran organik (Agustin dkk., 2026).

Integrasi analisis biologis, kondisi habitat fisik, dan distribusi spasial menghasilkan skor rata-rata 2,25 yang mengklasifikasikan Sungai Wonosalam ke dalam kategori perairan tercemar sedang. Jika dibandingkan dengan kriteria Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, kondisi tersebut mendekati karakteristik perairan Kelas II–III yang mengalami penurunan kualitas ekologis akibat peningkatan bahan organik dan akumulasi sedimen. Pendugaan kerusakan ekologis ini dapat diidentifikasi melalui analisis gradasi kondisi perairan yang menunjukkan variasi tingkat pencemaran dari hulu hingga hilir (Ferdiansyah dkk., 2025). Segmen sungai yang menerima tekanan antropogenik tinggi, terutama di sekitar wilayah peternakan dan permukiman, secara konsisten menunjukkan kerusakan fisik dan kualitas habitat yang lebih buruk dibandingkan dengan segmen yang masih memiliki vegetasi riparian alami (Mandasari dkk., 2024). Dengan demikian, degradasi kualitas Sungai Wonosalam tidak hanya dipengaruhi oleh faktor biologis semata, tetapi juga berkaitan erat dengan dinamika tata guna lahan, penurunan konektivitas ekologis DAS, serta respons komunitas makroinvertebrata terhadap tekanan aktivitas manusia di sepanjang aliran sungai.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, terutama pada jumlah stasiun pengamatan dan periode sampling yang relatif singkat, sehingga dinamika temporal kualitas air belum dapat diamati secara menyeluruh. Selain itu, kajian ini masih berfokus pada pendekatan biologis dan kondisi habitat fisik tanpa didukung pengujian parameter kimia perairan secara komprehensif, seperti BOD, COD, amonia, dan fosfat (Saksaky, 2026; Saleh dkk., 2025; Sulistiyowati dkk., 2024; Wijaya dkk., 2025). Proses pengambilan sampel makroinvertebrata juga berpotensi mengalami bias akibat fluktuasi debit air harian yang dapat memengaruhi tingkat efisiensi penangkapan spesimen di lapangan. Di samping itu, keterbatasan akses ke beberapa titik anak sungai tertentu menyebabkan identifikasi sumber pencemar non-titik belum dapat dipetakan secara terisolasi. Perhitungan FBI juga memerlukan verifikasi ulang agar interpretasi kualitas air lebih konsisten dengan kondisi ekologis komunitas benthos di lapangan (Erlangga dkk., 2024).

Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan pengamatan pada setiap segmen DAS (Kadim dkk., 2025), meningkatkan intensitas pemantauan musiman (Robbi dkk., 2024), serta mengintegrasikan parameter biologis, fisik, dan kimia (Putri dkk., 2023), serta pemetaan spasial berbasis Sistem

Informasi Geografis guna memperkuat analisis zonasi kualitas air (Ferdiansyah dkk., 2025) demi mendukung pengelolaan ekosistem sungai secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pengelola kawasan Asriloka Wonosalam, Jombang, serta Pemerintah Kecamatan Wonosalam atas izin, dukungan, dan kemudahan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian di lapangan. Apresiasi dan ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur atas dukungan akademik dan sarana penelitian yang disediakan. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan arahan, bantuan teknis, dan kontribusi berharga sejak tahap pengambilan data lapangan, analisis, hingga penyelesaian naskah penelitian ini, serta *reviewers* dan editor Journal of Geographical Sciences and Education yang telah membantu meningkatkan kualitas naskah.

KONTRIBUSI PENULIS

Hikmal Akbar Habibie: konseptualisasi, metodologi, investigasi lapangan, analisis data, penulisan penyusunan draf awal, serta visualisasi; **Ariesta Sulistyo Asih:** konseptualisasi, supervisi, validasi, pengawasan metodologi, serta penulisan tinjauan dan penyuntingan; **Ivail Hasanah:** pengambilan data, analisis laboratorium/data, serta penulisan tinjauan dan penyuntingan. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi manuskrip yang diterbitkan

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

KETERSEDIAAN DATA

Semua data yang relevan disertakan dalam naskah atau Informasi Tambahnya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

Agustin, M., Putri, A. A. F., Nuraini, I., Pitaloka, Y. M., Zahra, P. S. R. A., Wimbaningrum, R., & Setiawan, R. (2026). Species Diversity of Lichen as A Bioindicators of Air Quality at the State Polytechnic of Jember. *Biosel Biology Science and Education*, 15(1), 20-28. <https://doi.org/10.33477/bs.v15i1.12855>

Assunção, J., Gandour, C., & Rocha, R. (2023). DETER- ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. *American*

Economic Journal: Applied Economics, 15(2), 125-156. <https://doi.org/10.1257/app.20200196>

Chowdhury, S., Dubey, V. K., Choudhury, S., Das, A., Jeengar, D., Sujatha, B., Kumar, A., Kumar, N., Semwal, A., & Kumar, V. (2023). Insects as Bioindicator: A Hidden Gem for Environmental Monitoring. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1146052. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1146052>

Dhea, L. A., Kurniawan, A., & Darmawan, A. (2023). Analisis Pencemaran Logam Berat Cu dan Cr Total dan Dampak Kerusakan Jaringan Insang Ikan Gatul (*Gambusia affinis*) di Sungai Kresak, Kediri. *Water and Marine Pollution Journal: PoluSea*, 1(1), 61–74. <https://doi.org/10.21776/ub.polusea.2023.001.01.5>

Erlangga, M. E., Prasetyo, H. D., & Latuconsina, H. (2024). Status Kualitas Air Sungai Tumapel di Kawasan Singosari Kabupaten Malang dengan Metode Biotilik dan FBI (Family Biotic Index): Status Kualitas Air Sungai Tumapel di Kawasan Singosari Kabupaten Malang. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 3(2), 82-93. <https://doi.org/10.32734/jafs.v3i2.18698>

Ernawati, E., Rohyani, I. S., Jupri, A., Isrowati, I., Rahayu, R. N., & Reda, R. (2025). Sosialisasi Analisis Kualitas Lingkungan Berdasarkan Bioindikator yang ada di Lingkungan Sekitar. *Sinergi dan Harmoni Masyarakat MIPA*, 1(2), 78-84. <https://doi.org/10.29303/sinonim.v1i2.6630>

Ferdiansyah, A., Mutiati, E., & Rukmana, S. (2025). Penanaman Sikap Kepedulian Lingkungan dalam Paradigma Pembelajaran Modern melalui Analisis Pencemaran Lokal Berbasis Skala New Ecological Paradigm (NEP) pada Mata Kuliah Biomonitoring. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(04), 230-246. <https://doi.org/10.23969/jp.v11i01.41203>

Janwadi, A. P., & Lestari, N. C. (2025). Keanekaragaman Capung (*Odonata*) di Koridor Sungai Perkotaan Pasca-Restorasi Riparian: Pendekatan eDNA Metabarcoding. *Insight of Biology*, 1(2), 28-33. <https://doi.org/10.70716/inbio.v1i2.277>

Kadim, M. K., Pasingi, N., Polamolo, A. I., & Maharani, S. A. (2025). Keberadaan Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT) sebagai Bioindikator Pencemaran di Sungai Bone Gorontalo. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 9(2), 153-164. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2025.Vol.9.No.2.445>

Mandasari, M., Nabila, R. R., Jannah, Z. N., & As' ari, R. (2024). Peranan Lingkungan sebagai Sumber Pembelajaran Geografi dalam Menumbuhkan Sikap dan Perilaku Keruangan Peserta Didik di

- SMA Negeri 8 Tasikmalaya. *EL-JUGHRAFIYAH: Jurnal Geografi dan Terapannya*, 4(1), 36-42. <http://dx.doi.org/10.24014/jej.v4i1.26401>
- Munfarida, I., Navratilova, F. D., & Oktorina, S. (2025). Evaluasi Kualitas Air Sungai Kemambang Berdasarkan Aspek Fisika-Kimia dan Mikroinvertebrata sebagai Bioindikator: Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 17(2), 153-166. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol17.iss2.art5>
- Nurhaliza, S., Bustamin, B., Rauf, A., Nurdin, M., Sabran, M., & Agni, R. (2025). Kepadatan Makrozoobentos di Perairan Sungai Desa Toaya Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(2), 754-762. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i2.15512>
- Nurrohman, D. P., Hapsari, A. T., Insani, M. S., Astuti, R. I. P., Fortuna, V. S. D., & Ramli, M. (2025). Keanekaragaman Biota Sungai sebagai Bioindikator Kualitas Sungai di Wilayah Jatimalang Kabupaten Sukoharjo. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 1(2), 127-138. <https://doi.org/10.24002/biota.v10i2.9807>
- Purnama, M. F., Suprihanto, A., & Hadiyanto, H. (2024). Penilaian Kualitas Lingkungan Perairan Berbasis Bioindikator (Gastropoda) di Area Dampak Pertambangan Nikel Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 2(6), 359-370. <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24930>
- Putri, Y., Kurniawan, A., & Kurniawan, A. (2023). Macrozoobenthos Community as Bioindicator of Water Quality for Fish Cultivation in the Air Duren River, Bangka Regency. *Journal of Aquatropica Asia*, 8(2), 77-85. <https://doi.org/10.33019/joaa.v8i2.4596>
- Robbi, A. A., Munfarida, I., Oktorina, S., Suprayogi, D., & Setyowati, R. D. N. (2024). Monitoring Macroinvertebrates as Bioindicators and Water Physicochemical Parameters in the Tambak Rejo River, Sidoarjo. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 16(1), 21-42. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol16.iss1.art3>
- Saleh, Y. F., Suwadji, S., & Yuslinawari. (2025). Keanekaragaman Jenis EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) sebagai Indikator Kesehatan Sungai Opak, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Wana Tropika*, 15(1), 24-29. <https://doi.org/10.55180/jwt.v15i1.1999>
- Saksaky, R. A. (2026). Pengaruh Pencemaran Limbah Industri terhadap Kualitas Air dan Komunitas Mikroinvertebrata di Sungai Citarum. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 1(1), 9-15.
- Sulistiyowati, E., Awaliyah, D. F., & Uyun, S. (2024). Penilaian Kesehatan Sungai Menggunakan Metode Biotik dan Fisik di Sungai Boyong, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(2), 162-169. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.162-169>
- Wahyuningsih, E., Rahayu, N. L., & Zaenuri, M. (2024). Macrozoobenthos Community Structure as a Bioindicator of Water Quality in the Banjaran River, Banyumas. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 11(3), 229-237. <https://doi.org/10.29103/aa.v11i3.13343>
- Wardhani, C., & Prijono, S. (2025). Analisis Tingkat Pencemaran Limbah Pabrik Kertas Menggunakan Metode BIOTILIK pada Aliran Anak Sungai Brantas. *Environmental Pollution Journal*, 5(1), 75-86. <https://doi.org/10.58954/epj.v5i1.246>
- Wijaya, H., Nugroho, A. P., & Widyastuti, M. (2025). Biomonitoring Kesehatan Ekosistem Sungai Menggunakan Serangga Akuatik di Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1140-1148. <https://doi.org/10.14710/jil.23.4.1140-1148>
- Zakaria, Z., & Trintyani, R. (2025). Analysis of Sea Water Pollution Status Using Gastropoda as Bioindicators in The Amahami Mangrove Area of Bima City. *Journal of Biology, Environment, and Edu-Tourism*, 1(1), 17-27.