

## Kondisi Habitat Fisik dan Keanekaragaman Makroinvertebrata Sebagai Indikator Pencemaran di Sungai Bone Gorontalo

Miftahul Khair Kadim\*, Nuralim Pasingi

Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Kelautan dan Teknologi Perikanan, Universitas Negeri Gorontalo. Jln. Jend. Sudirman No. 6. Kota Gorontalo. Gorontalo, Indonesia

\*Corresponding author: [miftahulhairkadim@ung.ac.id](mailto:miftahulhairkadim@ung.ac.id)

*Info Artikel: Diterima 30 April 2024 ; Direvisi 10 September 2024 ; Disetujui 12 September 2024*

*Tersedia online : 02 Oktober 2024 ; Diterbitkan secara teratur : Oktober 2024*

**Cara sitasi:** Kadim MK, Pasingi N. Kondisi Habitat Fisik dan Keanekaragaman Makroinvertebrata Sebagai Indikator Pencemaran di Sungai Bone Gorontalo. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2024 Oct;23(3):301-310. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.3.301-310>.

### ABSTRAK

**Latar belakang:** Sungai merupakan ekosistem perairan yang penting dalam siklus hidrologi, berfungsi sebagai daerah resapan air bagi lingkungannya. Habitat fisik dan kondisi kesehatan perairan sungai sangat dipengaruhi aktivitas antropogenik serta karakteristik lingkungan sekitar. Sungai Bone yang menjadi pusat aktivitas masyarakat di Gorontalo sangat rentan terhadap pencemaran. Makroinvertebrata potensial dijadikan sebagai alat pemantauan pencemaran di sungai karena karakteristik komunitas penyusunnya, yang ditandai dengan perilaku menetap, mobilitas terbatas, dan sensitif terhadap kondisi perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas perairan Sungai Bone berdasarkan kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata.

**Metode:** Penilaian terhadap kondisi habitat fisik dan kualitas perairan dilakukan pada 12 stasiun pengamatan yang mewakili aliran utama hulu-hilir Sungai Bone. Penentuan kondisi habitat fisik sungai didasarkan pada pemeriksaan dan penilaian terhadap kriteria tingkat kesehatan habitat sungai dimana parameter yang diamati berupa indikator karakteristik substrat dasar, indikator faktor gangguan, parameter fisika-kimia air. Struktur komunitas makroinvertebrata dianalisis melalui perhitungan keragaman famili makrozoobentos secara keseluruhan, persentase kelimpahan EPT, nilai indeks keanekaragaman ( $H'$ ), dominasi ( $D'$ ) serta keseragaman ( $E'$ ). Penentuan kualitas perairan dilakukan berdasarkan pendekatan Biotilik.

**Hasil:** Hasil penelitian ini mengungkapkan variasi spasial dalam komunitas makroinvertebrata, parameter kualitas air (terutama BOD, COD). Semakin ke hilir kondisi habitat fisik, dan kualitas perairan Sungai Bone cenderung mengalami penurunan.

**Simpulan:** Kualitas perairan Sungai Bone berdasarkan hasil penelitian terbagi menjadi tiga kategori kelompok tercemar yaitu tidak tercemar-sehat (bagian hulu), tercemar ringan-kurang sehat (bagian tengah), dan tercemar ringan-tidak sehat (bagian hilir). Kondisi tercemar di Sungai Bone, terutama di bagian tengah hingga hilir, kemungkinan besar disebabkan oleh pencemaran yang berasal dari aktivitas antropogenik masyarakat.

**Kata kunci:** Habitat fisik; Makroinvertebrata; Pencemaran; Bioindikator; Sungai

### ABSTRACT

**Title:** *Physical Habitat Conditions and Macroinvertebrate Diversity as Indicators of Pollution in the Bone River, Gorontalo*

**Background:** *Rivers are water ecosystems that are important in the hydrological cycle, functioning as water catchment areas for the environment. Anthropogenic activities and the characteristics of the surrounding environment greatly influence the physical habitat and health conditions of river waters. The Bone River, which*

is the center of community activity in Gorontalo, is very vulnerable to pollution. Macroinvertebrates have the potential to be used as a tool for monitoring pollution in rivers because of the characteristics of their constituent communities, which are characterized by sedentary behavior, limited mobility, and sensitivity to water conditions. This research aims to assess the water quality of the Bone River based on physical habitat conditions and macroinvertebrate diversity.

**Method:** Assessment of physical habitat conditions and water quality was carried out at 12 observation stations representing the main upstream and downstream streams of the Bone River. The evaluation of the river's physical habitat condition was based on the examination and assessment of criteria related to river habitat health, with observed parameters including substrate characteristics, disturbance indicators, and physicochemical water parameters. The structure of the macroinvertebrate community was analyzed by calculating the overall diversity of macrozoobenthos families, the percentage of EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) abundance, and indices of diversity ( $H'$ ), dominance ( $D'$ ), and evenness ( $E'$ ). The water quality assessment was conducted using the Biotilik approach.

**Result:** The results of this study revealed spatial variations in macroinvertebrate communities, water quality parameters (especially BOD, COD). The further downstream the physical habitat conditions, the water quality of the Bone River tends to decline.

**Conclusion:** Based on research results, the water quality of the Bone River is divided into three categories of polluted groups: not polluted-healthy (upstream part), lightly polluted-unhealthy (middle part), and lightly polluted-unhealthy (downstream part). The polluted conditions in the Bone River, especially in the middle to downstream parts, are most likely caused by pollution originating from the community's anthropogenic activities.

**Keywords:** Physical Habitat; Macroinvertebrate; Pollution; Bioindicator; Sungai

## PENDAHULUAN

Sungai memegang peran penting sebagai salah satu sumber air utama dan ekosistem vital yang mendukung kehidupan bagi berbagai makhluk, baik yang berada di dalam maupun di sekitar perairan sungai<sup>1</sup>. Seiring dengan pertumbuhan pesat populasi dan aktivitas manusia, seringkali kebutuhan akan sumber daya alam tidak sejalan dengan pelestarian ekosistem sungai<sup>2</sup>. Lingkungan sungai tidak hanya penting bagi kebutuhan manusia, tetapi juga berperan penting bagi kelangsungan hidup berbagai makhluk hidup, khususnya biota yang hidup di dalam perairan sungai<sup>3</sup>.

Kualitas air sungai sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia di sekitarnya. Tingkat kepedulian dan partisipasi masyarakat dalam pelestarian lingkungan sungai menjadi faktor kunci dalam menjaga kualitas air sungai. Ketidaktahuan atau kurangnya kesadaran masyarakat dapat berdampak negatif pada kualitas air sungai, mengakibatkan penurunan jumlah biota sungai dan penurunan kualitas air sungai secara keseluruhan, terutama di bagian hilir yang bermuara di laut<sup>4</sup>.

Sungai Bone, yang merupakan salah satu sungai terbesar di Provinsi Gorontalo, memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat setempat. Sungai Bone melintasi wilayah dari Kecamatan Pinogu Kabupaten Bone Bolango hingga muara Talumolo di Kota Gorontalo<sup>5</sup>. Sungai ini berperan signifikan dalam kehidupan sebagian besar masyarakat Bone Bolango dan sebagian masyarakat di Kota Gorontalo. Namun, kondisi aliran Sungai Bone dapat beragam, tergantung pada lokasi geografisnya. Data Balihrasti tahun 2008-2011 menyebutkan bahwa aktivitas antropogenik di sekitar perairan Sungai Bone mayoritas berasal dari permukiman, pertanian, industri, penambangan pasir

dan penambangan emas dimana aktivitas ini berpotensi menghasilkan pencemaran dan mempengaruhi habitat fisik sungai<sup>6</sup>. Hasil penelitian Pantolay et al.<sup>7</sup> melaporkan bahwa di daerah hulu, kondisi aliran Sungai Bone cenderung lebih baik, dengan minimnya pemukiman di sekitarnya. Namun, di hilir, pemukiman yang dekat dengan sungai semakin padat, sementara aktivitas MCK (mandi, cuci, kakus) dari penduduk dan pemukiman juga semakin meningkat.

Aktivitas antropogenik menjadi penyebab utama pencemaran di perairan<sup>8,9</sup> yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kualitas perairan, keseimbangan ekologi organisme serta dapat mengganggu kesehatan manusia. Aktivitas manusia di sekitar Sungai Bone dapat menyebabkan perubahan pada habitat fisik sungai. Sudaryanti<sup>10</sup> menjelaskan bahwa aktivitas manusia secara langsung mempengaruhi kondisi lingkungan sungai sebagai habitat biota terutama makroinvertebrata sebagai penghuni tetap sungai. Sebagian besar zat pencemar terakumulasi di substrat dasar sungai yang merupakan habitat bagi makroinvertebrata dan tentunya mempengaruhi struktur komunitas penyusunnya sedangkan makroinvertebrata mempunyai peran strategis dalam mendukung fungsi ekologis sungai yang berkelanjutan.

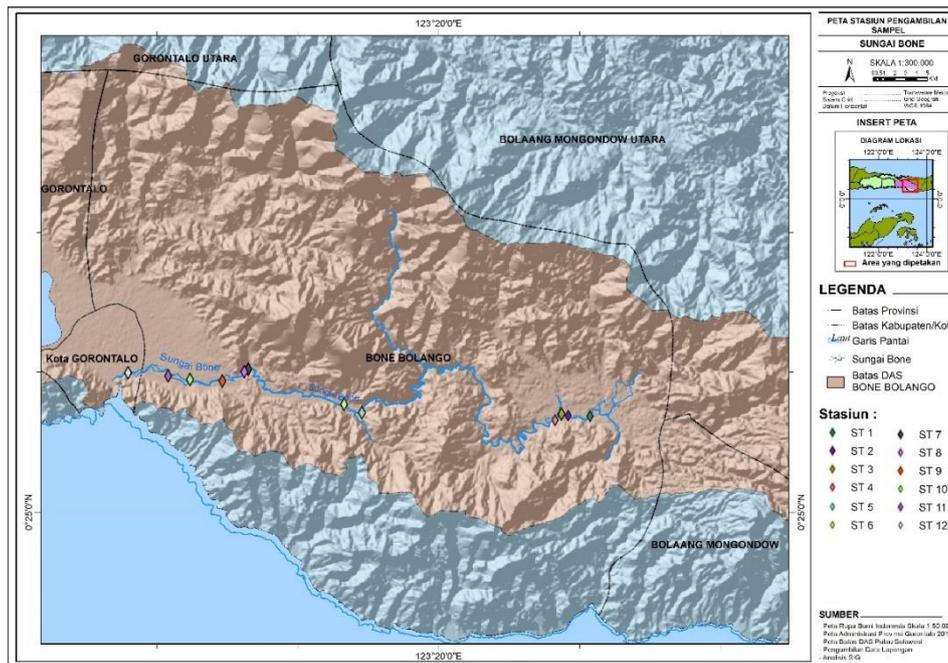
Kualitas perairan yang baik biasanya memiliki keanekaragaman jenis makroinvertebrata yang tinggi, sementara perairan yang tercemar cenderung memiliki keanekaragaman jenis yang rendah<sup>11</sup>. Komunitas makroinvertebrata pada umumnya mengintegrasikan perubahan lingkungan pada karakteristik fisika-kimia dan ekologi habitatnya<sup>12,13</sup>. Komunitas makroinvertebrata sangat potensial dimanfaatkan sebagai alat monitoring universal khususnya di sungai karena sifat hidup dan responnya yang sensitif terhadap berbagai kontaminan<sup>14-16</sup>. Oleh karena itu, informasi

mengenai kondisi kualitas perairan Sungai Bone saat ini menjadi penting untuk diketahui. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah menilai kualitas perairan Sungai Bone berdasarkan kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata.

## MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di perairan Sungai Bone Provinsi Gorontalo dengan menggunakan metode deskriptif. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei hingga Agustus 2023 di 12 stasiun pengamatan terpilih. Stasiun pengamatan ditentukan

secara *purposive* berdasarkan kondisi ekologi (diutamakan daerah *riffle*) dan tata guna lahan yang berpotensi memberikan sumber pencemaran pada masing-masing stasiun. Pengambilan sampel dilakukan pada saat debit air sungai relatif rendah atau tidak hujan. Adapun variabel penelitian yang diamati yaitu kualitas habitat fisik sungai, struktur komunitas makroinvertebrata, dan parameter kualitas air. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan deskripsi masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian yang menunjukkan 12 stasiun pengamatan di Sungai Bone

Tabel 1. Koordinat dan deskripsi tata guna lahan stasiun pengamatan.

Stasiun <sup>a</sup>	Koordinat	Lokasi Sampling	Potensi Sumber Kontaminasi
St1	0°29'48.07"U 123°27'30.57"T	Desa Pinogu, Kabupaten Bone Bolango	-
St2	0°29'50.00"U 123°26'25.62"T	Desa Pinogu, Kabupaten Bone Bolango	-
St3	0°29'54.15"U 123°26'6.19"T	Desa Pinogu, Kabupaten Bone Bolango	Pertanian
St4	0°29'35.93"U 123°25'46.72"T	Desa Pinogu, Kabupaten Bone Bolango	Permukiman
St5	0°29'58.34"N 123°16'11.21"E	Desa Poduwoma, Kabupaten Bone Bolango	Permukiman, penambangan pasir dan wisata arung jeram.
St6	0°30'38.60"N 123°15'29.70"E	Desa Tulabolo, Kabupaten Bone Bolango	Permukiman
St7	0°31'0.25"N 123°11'46.59"E	Desa Lombongo, Kabupaten Bone Bolango	Pertanian dan Permukiman
St8	0°32'0.99"N 123°10'20.59"E	Desa Alale, Kabupaten Bone Bolango	Bendungan, pertanian, dan permukiman.
St9	0°31'33.52"N 123° 9'15.12"E	Desa Duano, Kabupaten Bone Bolango	Pertanian dan Penambangan pasir.
St10	0°31'37.63"N 123° 7'38.89"E	Desa Bubeya, Kabupaten Bone Bolango	Permukiman, Pertanian dan peternakan.
St11	0°31'48.83"N 123° 6'33.66"E	Desa Tanggilingo, Kabupaten Bone Bolango	Permukiman, pertanian dan penambangan pasir
St12	0°31'57.95"N 123° 4'34.61"E	Desa Botu, Kota Gorontalo	Permukiman, pertanian dan bekas penambangan pasir

**Penilaian habitat fisik sungai** dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek penting pada setiap stasiun pengamatan. Hal ini meliputi komposisi substrat dasar sungai, tingkat sedimentasi, kemungkinan erosi pada tebing sungai, keberadaan vegetasi bantaran sungai, serta tingkat kekeruhan air. Selain itu, parameter gangguan ekosistem sungai juga menjadi perhatian, seperti kondisi vegetasi di sekitar

sungai dan aktivitas manusia yang dapat mempengaruhi kondisi alami atau menimbulkan kerusakan lingkungan di sekitar bantaran sungai. Penilaian ini mengacu pada lembar penilaian habitat fisik sungai yang dikembangkan oleh Ecoton<sup>17</sup>.

Pemeriksaan kesehatan sungai melalui penilaian habitat fisik dilakukan secara sistematis. Langkah awalnya adalah melakukan pengamatan

lapangan dengan menyusuri aliran sungai sepanjang 100 m untuk memahami kondisi setiap stasiun secara menyeluruh. Selanjutnya, parameter fisik sungai diamati dan dicatat hasil pengamatannya dalam lembar pemeriksaan habitat fisik sungai yang telah ditentukan.

**Pengambilan sampel makroinvertebrata** dilakukan dengan menggunakan jala tangan menggunakan teknik *kicking*. Menurut Sudaryanti<sup>18</sup>, metode ini umumnya digunakan di perairan dangkal, di mana kedalaman sungai <1 m. Hal ini memungkinkan peneliti untuk mengambil sampel secara langsung di sungai sepanjang 10 m di daerah *riffle*. Metode ini bertujuan untuk analisis kualitatif, sehingga tidak memerlukan satuan unit pengambilan sampel. Hasilnya memberikan komposisi taxa dalam persentase, mencerminkan kondisi lokal kualitas perairan sungai. Jala tangan yang digunakan memiliki lebar 200 hingga 400 mm, tinggi 2–3 m, dengan bahu (penguat) 100–200 mm, dan ukuran mata jala 500 µm.

Sampel yang terkumpul dipisahkan dari partikel lain, misalnya sampah organik dan lumpur. Sampel kemudian disimpan dalam botol-botol kecil dan diawetkan menggunakan alkohol 95% untuk keperluan identifikasi. Identifikasi makrozoobentos dilakukan sampai tingkat famili menggunakan buku identifikasi makrozoobentos rujukan dari Hawking dan Smith<sup>19</sup>, Quigley<sup>20</sup>, dan *website* identifikasi khusus makroinvertebrata yaitu *macroinvertebrates.org* serta *mdfrc.org.au*. Selain itu, dilakukan juga pengukuran terhadap parameter kualitas air. Kandungan bahan organik diketahui melalui analisis parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) mengacu pada Hasibuan et al.<sup>21</sup>. Sementara data parameter kualitas air pendukung yaitu suhu, pH, kecepatan arus dan oksigen terlarut (DO) didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran semua parameter kualitas air eksitu dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Provinsi Gorontalo, sedangkan analisis biota dilakukan di

Laboratorium Hidrobioekologi Fakultas Kelautan dan Teknologi Perikanan Universitas Negeri Gorontalo.

**Analisis Data** secara kualitatif berdasarkan catatan hasil pengamatan terhadap beberapa parameter habitat sungai dan memberi skor sesuai dengan kategori kondisi habitat sungai dalam lembar pemeriksaan habitat fisik Sungai kemudian menjumlahkan skor setiap parameter. Penentuan kualitas habitat fisik sungai dilakukan dengan kriteria penentuan tingkat kesehatan habitat sungai<sup>17</sup>. Komunitas makrozoobentos dianalisis secara kuantitatif melalui perhitungan persentase kelimpahan EPT Firdhausi et al.<sup>22</sup>; keragaman ordo Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera (EPT)<sup>23</sup>; serta perhitungan keragaman famili makrozoobentos secara keseluruhan. Selanjutnya nilai indeks keanekaragaman ( $H'$ ), indeks dominansi ( $D'$ ) dan indeks keseragaman ( $E'$ ) dianalisis melalui *diversity indices* menggunakan *software* PAST 4.10<sup>24</sup>. Hasil pengukuran parameter kualitas air dinilai berdasarkan penilaian kondisi fisiko-kimia sampel air yang diusulkan oleh Peraturan Pemerintah Indonesia No.22 Tahun 2021<sup>25</sup>. Penentuan kondisi perairan dilakukan berdasarkan pendekatan Biotilik<sup>17,23</sup>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter fisika-kimia air terukur Sungai Bone

Parameter kualitas air memainkan peran penting dalam ekosistem Sungai, termasuk bagi organisme seperti makroinvertebrata. Dalam penelitian ini, hasil pengukuran kualitas air diklasifikasikan berdasarkan baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021. Secara keseluruhan, nilai konsentrasi suhu, oksigen terlarut (DO), dan pH masih memenuhi standar kualitas air kelas II. Rata-rata dan rentang nilai parameter kualitas air Sungai Bone disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengukuran parameter kualitas air (min-maks; rerata) Sungai Bone

Parameter Fisik dan Kimia	Baku Mutu*	Stasiun												
		St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11	St 12	
Suhu °C	Dev 3	23.2-23.6 23.4	23.3-23.7 23.5	22.8-23.7 23.2	23.5-23.8 23.7	24.1-27.2 25.7	24.6-29.4 26.9	24.3-30.8 27.2	24.2-31.2 27.4	24.3-29.3 27.1	24.2-30.5 27.7	24.2-31.2 28.4	25.6-31.8 28.9	
Kekeruhan	-	Jernih	Jernih	sedikit keruh	sedikit keruh	sedikit keruh								
DO (mg/l)	4	7.79-7.84 7.82	7.83-7.84 7.84	7.75-7.84 7.79	7.71-7.84 7.78	7.31-7.72 7.58	7.6-7.9 7.7	7.57-7.8 7.66	7.56-7.81 7.72	7.63-8.09 7.79	7.54-8.12 7.78	7.43-8.22 7.77	7.5-8.29 7.79	
pH	6-9	6-6.8 6.34	6-6.67 6.34	6-6.67 6.33	6-6.64 6.32	6.4-6.97 6.68	6.9-7.2 7.1	6.1-7.1 6.6	6.3-7 6.65	6.2-7.01 6.6	6.2-7 6.6	6.2-6.99 6.59	6.3-7 6.65	
Kecepatan Arus (cm/dtk)	-	50-57 53.5	66-104 85	37-68 52.5	56-60 58	25-93 59	41-51 46	43-49 46	71-116 94	84-98 91	59-80 69.5	65-103 84	60-78 69	
BOD	3	2.2-2.6 2.4	2.3-2.8 2.6	2.4-2.8 2.6	2.8-3.9 3.4**	5.2-5.7 5.5**	6.7-8.3 7.5**	7.4-8.2 7.8**	7.8-8.4 8.1**	7.9-8.9 8.4**	7.9-8.6 8.2**	7.7-9.8 8.8**	7.1-8.7 7.9**	
COD	25	9.3-10.8 10.1	9.1-10.7 9.9	11.5-14.4 12.9	13.6-14.9 14.3	44.5-47.5 45.9**	39.9-47.4 43.6**	36.7-38.7 36.2**	35.6-36.7 36.7**	36.3-37.1 37.2**	37.5-40.8 39.5**	35.1-36.2 35.7**	36.2-44.9 40.6**	
Substrat		>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	10-50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	10-50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran	>90% substrat didominasi oleh pasir, atau lumpur	10-50% substrat kombinasi pasir dan batuan beragam ukuran

Ket: \*Peraturan Pemerintah No. 22 (2021); \*\*melebihi baku mutu

Penilaian kualitas air Sungai Bone memperhatikan beberapa parameter penting yang memengaruhi kehidupan organisme, termasuk makroinvertebrata. Kecepatan arus Sungai Bone berkisar antara 25 hingga 116 cm/detik, jika mengacu pada Welch & Nacz<sup>26</sup> maka sungai ini termasuk kategori berarus sedang hingga sangat cepat. Kondisi ini mempengaruhi transportasi zat-zat seperti makanan dan oksigen bagi organisme. Jenis aliran riffle, yang ditemukan di semua stasiun, memfasilitasi difusi oksigen (sehingga nilai DO di semua stasiun >7 mg/l) yang penting bagi kehidupan organisme. Keberadaan oksigen yang memadai mendukung kehidupan makroinvertebrata di sungai ini.

Nilai pH air Sungai Bone selama penelitian berkisar antara 6 hingga 7,2, masih sesuai dengan standar kualitas air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah No.22 tahun 2021. Fluktuasi ekstrim dalam tingkat keasaman atau kebasaan dapat mempengaruhi organisme yang hidup di dalamnya<sup>27</sup>. Nilai pH di Sungai Bone masih dalam kisaran yang dapat ditoleransi oleh makroinvertebrata. Selain itu, suhu perairan terukur di stasiun pengamatan tercatat berkisar antara 27 hingga 31,8°C. Menurut Sudaryanti<sup>10</sup> faktor-faktor seperti waktu, hari, dan cuaca saat pengukuran dapat mempengaruhi fluktuasi suhu antar stasiun. Meskipun demikian, nilai suhu secara umum masih mendukung keberlangsungan makroinvertebrata.

Analisis kandungan bahan organik dalam penelitian ini dilakukan melalui pengukuran parameter BOD dan COD. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut melebihi standar baku mutu untuk kelas II di semua stasiun pengamatan. BOD merupakan indikator utama untuk menentukan jumlah bahan organik di perairan<sup>28</sup>. Nilai BOD di Sungai Bone bervariasi antara 2,2 hingga 9,8 mg/l. Sementara itu, konsentrasi COD berkisar antara 9,1 hingga 47,5 mg/l.

Tingginya atau rendahnya nilai BOD dan COD dalam sebuah perairan mencerminkan aktivitas organisme dalam mengurai bahan organik yang ada di dalamnya. Fluktuasi nilai kedua parameter ini, di antaranya, dipengaruhi oleh limbah domestik dan pertanian<sup>21,29,30</sup>. Konsentrasi BOD yang tinggi menandakan adanya pencemaran dalam perairan<sup>31</sup>. Kondisi Sungai Bone, di mana nilai BOD dan COD melebihi baku mutu, diduga disebabkan oleh dekomposisi sampah organik dari aktivitas pertanian dan pemukiman di sekitarnya. Tingginya nilai BOD mungkin disebabkan oleh limbah organik dari aliran sungai. Tingkat konsentrasi COD yang tinggi di seluruh stasiun mengindikasikan tingkat pencemaran yang signifikan<sup>32</sup>. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/l, sementara pada perairan tercemar bisa lebih dari 200 mg/l<sup>33</sup>. BOD mengukur jumlah oksigen yang digunakan untuk menguraikan bahan organik, sementara COD mengukur kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi. Faktor fisika dan kimia yang diperoleh merupakan cerminan dari kualitas air saat dilakukan pengambilan sampel dimana nilai

tersebut selalu berubah terutama di sungai yang airnya mengalir. Meskipun demikian, data kualitas air Sungai Bone masih dalam batas toleransi organisme. Makroinvertebrata merupakan biota yang hidup menetap di sungai sehingga mampu merekam perubahan keadaan tidak hanya saat pengambilan sampel namun juga waktu lampau sebelum pengambilan sampel.

### Struktur komunitas Makroinvertebrata Sungai Bone

Berdasarkan hasil pengambilan sampel di lapangan, makroinvertebrata yang ditemukan di perairan Sungai Bone tersusun atas 35 famili dimana diantaranya 11 famili masuk dalam kategori EPT (tanpa kehadiran Plecoptera) dan sisanya termasuk dalam kategori Non-EPT (24 famili). Data struktur komunitas penyusun makroinvertebrata di Sungai Bone disajikan pada Tabel 3.

Hasil penelitian tercatat bahwa, kelimpahan relatif tertinggi diperoleh oleh Ephemeroptera dengan persentase sebesar 33.16% kemudian disusul oleh Diptera (30.8%), Trichoptera (16.08%), Coleoptera (13.54%), dan sisanya Hemiptera, Lepidoptera, Decapoda, Odonata, Cycloneritida, Lumbriculida, Amphipoda dan Sorbeoconcha (total 6.42%). Baetidae dari Ordo Ephemeroptera menjadi famili dengan nilai persentase kelimpahan relatif tertinggi, sebesar 19.01% diikuti oleh Chironomidae (19.4%), Elmidae (11.48%) dan Hydropsychidae (11.12%). Keempat famili tersebut ditemukan terdistribusi di semua stasiun pengamatan. Gammaridae menjadi famili dengan nilai persentase kelimpahan terendah (berkisar 0.03%).

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Stasiun 12 menjadi stasiun dengan kepadatan tertinggi yaitu 548 individu/m<sup>2</sup> dimana Baetidae menjadi taksa yang paling banyak ditemukan, disusul oleh Chironomidae. Stasiun 9 merupakan stasiun dengan nilai kepadatan terendah yaitu 143 individu/m<sup>2</sup>, dimana Baetidae, Tipulidae dan Hydropsychidae menjadi taksa yang paling banyak ditemukan.

Tingginya nilai kelimpahan relatif pada Baetidae mengindikasikan bahwa kondisi setiap stasiun sangat cocok untuk kehidupannya. Kondisi substrat Sungai Bone yang masih di dominasi oleh bebatuan merupakan tempat hidup yang baik bagi Baetidae sehingga taksa ini dapat ditemukan di semua stasiun pengamatan. Menurut Tantalou et al.<sup>16</sup> Baetidae tergolong makroinvertebrata yang hidup pada kondisi lingkungan apapun, hal ini memungkinkan mudah ditemukan Baetidae.

Indeks keseragaman (E') di lokasi pengambilan sampel berkisar antara 0,2 sampai 0,9 atau mendekati 1. Menurut Odum<sup>34</sup>, Indeks kemerataan mendekati 1 menunjukkan bahwa alokasi individu tiap famili pada setiap stasiun memiliki kemerataan sedang dan tidak ada genus yang mendominasi sehingga sebaran famili tiap ordo seragam dan merata. Indeks keanekaragaman (H') berkisar antara 1,3 sampai 2,5. Indeks keseragaman dapat dibandingkan dengan indeks

keanekaragaman untuk sebagian besar analisis komunitas makroinvertebrata<sup>35</sup>. Adanya gangguan dari aktivitas antropogenik dapat memberikan pengaruh pada rendahnya nilai indeks keanekaragaman maupun kemerataannya<sup>36</sup>. Faktor jumlah jenis atau jumlah individu, ditemukannya beberapa jenis secara melimpah di semua stasiun pengamatan diduga mempengaruhi nilai keanekaragaman<sup>37</sup>. Nilai indeks dominansi ( $D'$ ) untuk semua stasiun kurang dari 0,5 sehingga tergolong pada kategori rendah<sup>34</sup>. Indeks

dominasi terkait dengan indeks keseragaman, dimana jika suatu lokasi pengambilan sampel menunjukkan tidak adanya individu yang mendominasi maka pada umumnya akan diikuti dengan penyebaran individu untuk setiap kelompok yang semakin merata<sup>38</sup>. Keanekaragaman dan kekayaan spesies yang lebih tinggi di sungai terkait dengan hidrologi dan morfologi sungai<sup>39</sup>. Nilai indeks ekologi pada penelitian ini menunjukkan bahwa makrozoobentos masih berada dalam kondisi habitat baik.

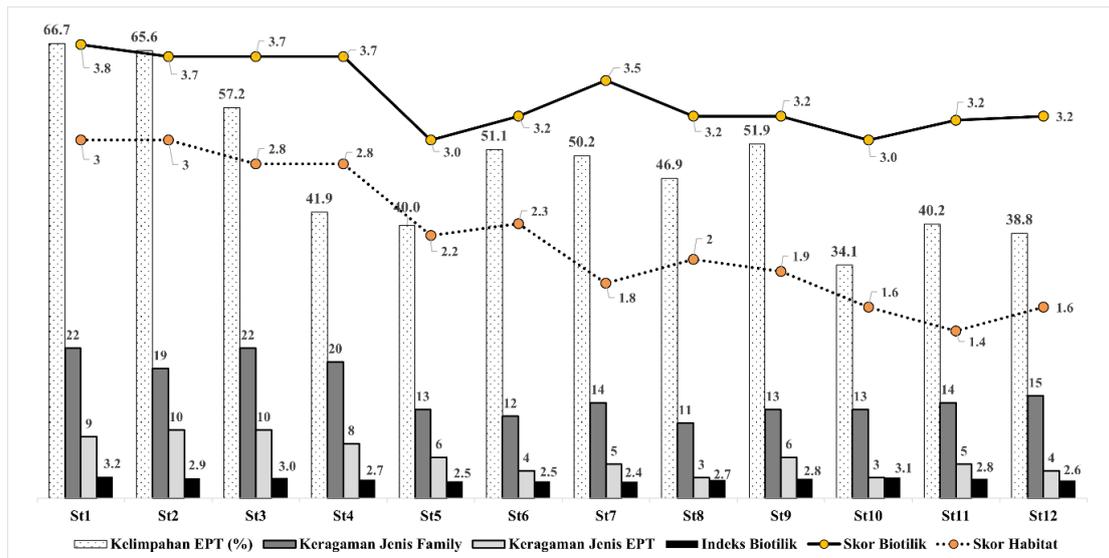
Tabel 3. Checklist struktur komunitas penyusun makroinvertebrata di Sungai Bone

Taxa	Famili	Stasiun Pengamatan												KR (%)
		St1	St2	St3	St4	St5	St6	St7	St8	St9	St10	St11	St12	
<b>EPT</b>														
<b>Ephemeroptera</b>	Baetidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	19.01
	Caenidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1.34
	Heptageniidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	5.69
	Leptophlebiidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	5.26
	Prosopistomatidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1.86
<b>Trichoptera</b>	Ecnomidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	0.48
	Glossosomatidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	0.52
	Hydrobiosidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	0.42
	Hydropsychidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	11.12
	Philopotamidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1.57
	Sericosmatidae									√	√	√	1.97	
<b>Non-EPT</b>														
<b>Diptera</b>	Athericidae		√	√	√									0.44
	Ceratopogonidae	√	√	√	√			√		√			√	2.18
	Chironomidae		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	19.4
	Empididae	√												4.63
	Simuliidae	√	√	√	√		√	√	√					1.28
	Tabanidae	√	√	√	√		√				√			0.49
	Tipulidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	2.38
<b>Coleoptera</b>	Elmidae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	11.48
	Dytiscidae	√		√	√									0.12
	Hydrophilidae	√		√	√			√		√	√	√	√	0.67
	Lampyridae	√	√			√				√	√			0.2
	Psephenidae	√		√	√	√	√	√	√	√		√		1.07
<b>Hemiptera</b>	Naucoridae	√	√	√	√									1.98
	Gerridae								√				√	0.25
	Vellidae							√					√	0.16
<b>Cycloneritida</b>	Neritidae								√				√	0.41
	Grapsidae							√	√			√		0.75
<b>Decapoda</b>	Atyidae									√	√	√		0.41
	Pylalidae	√			√	√		√			√		√	0.92
<b>Lepidoptera</b>	Corduliidae										√		√	0.41
	Gomphidae			√				√			√			0.18
<b>Lumbriculida</b>	Lumbriculidae									√	√			0.15
<b>Amphipoda</b>	Gammaridae					√								0.03
<b>Sorbeoconcha</b>	Thiaridae							√				√	√	0.77
<b>Σ Taxa</b>		22	19	22	20	13	12	14	17	13	13	14	15	100
<b>Keanekaragaman (H')</b>		2.5	2.0	2.5	2.2	2.1	1.9	1.6	1.5	1.5	1.6	1.3	2.0	
<b>Keseragaman (E)</b>		0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.2	0.8	
<b>Dominansi (D)</b>		0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	

### Kondisi Habitat Fisik dan Pemeriksaan kualitas perairan Sungai Bone

Aktivitas antropogenik di sekitar perairan Sungai Bone mayoritas berasal dari permukiman, pertanian, industri, penambangan pasir dan penambangan emas. Berdasarkan hasil analisis kualitas perairan, yang telah dilaporkan sebelum penelitian ini, terutama pada daerah tengah hilir hingga muara di sungai Bone oleh Balihristi<sup>6</sup>, Simamora et al.<sup>40</sup>, Kadim et al.<sup>41</sup> melaporkan bahwa Sungai Bone terindikasi adanya pencemaran. Lihawa dan Mahmud<sup>42</sup> juga

melaporkan bahwa konsentrasi logam berat khususnya merkuri tinggi di air dan sedimen pada anak-anak sungai DAS Bone yang terdapat aktivitas *tailing* emas. Adanya aktivitas di sepanjang ruas Sungai Bone mempengaruhi skor pada penilaian kualitas habitat fisik pada penelitian ini dan tentunya hal ini akan mengganggu keseimbangan ekologi organisme air yang hidup di dalamnya serta dapat mengganggu kesehatan manusia. Hasil pemeriksaan kondisi habitat fisik dan kualitas perairan Sungai Bone disajikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik Hasil pemeriksaan kondisi habitat fisik dan kualitas perairan Sungai Bone dimana kategori kondisi habitat fisik berdasarkan skor: sehat (2,4-3,0); kurang sehat (1,7-2,3); tidak sehat (1,0-1,6) sedangkan kategori pencemaran kualitas perairan berdasarkan skor biotilik: tidak tercemar (3,3-4,0); ringan (2,6-3,2); sedang (1,8-2,5); berat (1,0-1,7).

Berdasarkan hasil pemeriksaan kondisi habitat fisik Sungai Bone memperoleh kisaran skor 1.4 hingga 3 yang membagi Sungai Bone kedalam kelompok kategori sehat, kurang sehat dan tidak sehat. Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa St1 hingga St4 yang berada di daerah hulu sungai masih tergolong sehat dan semakin ke arah hilir kondisi habitat fisik sungai mengalami penurunan skor atau termasuk dalam kategori kurang sehat dan tidak sehat. Stasiun 11 dan St12 berdasarkan hasil pemeriksaan habitat fisik sungai dengan melihat beberapa parameter karakteristik fisik sungai dan faktor gangguan kesehatan sungai mendapatkan hasil skoring yang termasuk dalam kategori tidak sehat. Faktor kondisi substrat sungai yang terdiri dari kombinasi batu namun didominasi oleh pasir dan lumpur (lihat Tabel 2) serta pada beberapa bagian substrat terganggu, tergerus dan dipindahkan dari sungai karena ditemukannya adanya pelurusan dan pengerukan batu dan pasir sungai sehingga kondisi air sungai keruh, naungan vegetasi di bantaran sungai mulai berkurang tergantung lahan pertanian dan permukiman warga dan cukup banyak ditemukannya erosi pada pada tebing sungai. Stasiun 1 hingga St4 di bagian hulu memiliki kondisi habitat relatif baik dilihat dari kondisi substrat sungai yang sebagian besar berupa campuran batuan stabil dari berbagai ukuran (lihat Tabel 2) dan cukup banyak ditemukan potongan kayu dan daun lapuk didalam air karena di sekitar bantaran sungai banyak ditumbuhi vegetasi alami meliputi beberapa jenis pohon dan semak-semak. Kondisi tebing disekitar sungai masih cukup stabil dan kurang ditemukannya erosi pada tebing sungai karena tidak ditemukan pengerukan ataupun pelurusan sungai.

*Trend* yang hampir sama terlihat pada skor Biotilik berdasarkan komunitas penyusun

makroinvertebrata dalam menilai kualitas perairan di Sungai Bone. Kisaran skor Biotilik yang diperoleh antara 3 hingga 3.8 yang membagi sungai ini kedalam 2 kelompok kategori, yaitu tidak tercemar dan tercemar ringan. Skor penilaian ini juga menunjukkan bahwa semakin ke arah hilir terjadi kecenderungan penurunan kondisi kualitas perairan. Menurut Trisnaini et al.<sup>1</sup>, semakin beragam jenis biota yang didapatkan menandakan semakin rendahnya tingkat pencemaran dan semakin sedikit keragaman biota yang didapat menandakan bahwa sungai tercemar.

Temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin ke hilir terjadi penurunan keragaman famili dan keragaman EPT yang artinya kondisi habitat fisik ini ikut mempengaruhi komunitas penyusun makroinvertebrata termasuk tidak ditemukannya salah satu ordo kelompok EPT paling sensitif, yaitu Plecoptera. Menurut Sudaryanti<sup>10</sup>, kondisi habitat fisik sungai seperti kombinasi tipe substrat dasar, kecepatan arus dan persen naungan (vegetasi riparian) mempengaruhi struktur komunitas makroinvertebrata bahkan dapat menyebabkan hilangnya taksa yang sensitif terhadap pencemaran. Selain itu nilai BOD dan COD terukur Sungai Bone bagian tengah-hilir pada penelitian ini termasuk tinggi dan telah melebihi baku mutu. Tingginya nilai kedua parameter tersebut diperkirakan sebagai akibat dari aktivitas antropogenik di lokasi-lokasi tersebut dan kondisi ini menunjukkan ketersediaan bahan organik sebagai makanan makroinvertebrata sedikit sehingga mempengaruhi ekologi *feeding*.

Baetidae, Hydropsychidae, Chironomidae yang bertipe *collector* dan Elmidae bertipe *scraper* keempat famili tersebut tercatat ditemukan terdistribusi secara luas baik di hulu maupun di hilir pada penelitian ini. Distribusi dari keempat famili ini didukung oleh

rendahnya masukan bahan organik kasar yang disebabkan oleh rendahnya persen naungan sungai. Mengacu pada konsep *River Continuum Concept* (RCC), menurunnya input bahan organik kasar terjadi karena menurunnya persen naungan sungai yang berarti menurunnya masukan *allochthonous Coarse Particulate Organic Matter* (CPOM) yang diikuti dengan menurunnya *Fine Particulate Organic Matter* (FPOM). Bahan organik terlarut yang tersedia tidak sesuai lagi sebagai makanan untuk sebagian besar organisme perairan. Pada kondisi ini sebagian besar sumber makanan yang tersedia hanya untuk kelompok *collector* dan *scrapers*.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi tekanan gangguan terhadap DAS, seperti terbitnya Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 39 tahun 2009 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Pengelolaan DAS Terpadu. Provinsi Gorontalo sendiri juga telah mengeluarkan Peraturan Daerah No. 11 tahun 2014 tentang pengelolaan DAS dimana DAS Bone termasuk DAS prioritas Provinsi Gorontalo. Hanya saja kondisi DAS Bone makin memprihatinkan. Hal ini terutama disebabkan oleh tekanan kegiatan manusia yang lebih besar dibandingkan dengan upaya konservasi DAS yang dilakukan. Diperlukan adanya regulasi yang mengatur aktivitas antropogenik tersebut misalnya pembatasan bahkan pelarangan dalam (1) penggunaan pupuk atau pestisida (pertanian); (2) aktivitas penambangan terutama yang bersifat ilegal.

Masalah DAS tidak dapat dipisahkan dari faktor utama penghambat dalam pengelolaan ekosistem perairan. Hambatan utama ini adalah masalah yang kompleks dalam pengelolaan DAS. Terdapat banyak sekali aspek permasalahan dalam pengelolaan DAS. Selain masalah biofisik, juga terdapat masalah sosial (budaya, kelembagaan, penegakkan hukum, kesehatan masyarakat dll.) dan masalah ekonomi. Kompleksitas dalam pengelolaan DAS Bone membutuhkan pemecahan masalah dimana salah satunya adalah pendekatan secara terpadu yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan untuk menghasilkan landasan berfikir yang sesuai dengan kompleks dan rumitnya permasalahan di DAS tersebut. Menurut Sugiester<sup>43</sup>, kualitas air yang akan berdampak pada buruknya kondisi lingkungan hidup mempengaruhi kondisi kesehatan dan keselamatan manusia dan kehidupan makhluk hidup lain. Polutan yang ada dalam sistem penyediaan air secara langsung ataupun tidak langsung dapat masuk ke dalam sistem perairan dan akhirnya akan mengganggu kesehatan manusia. Penurunan kualitas air akan menurunkan dayaguna, hasil guna, produktivitas, serta daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya akan memperburuk kekayaan sumber daya alam<sup>44</sup>.

## SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komunitas makroinvertebrata, parameter kualitas air (terutama BOD, COD), kondisi habitat fisik dan kualitas perairan Sungai Bone secara spasial bervariasi

sehingga membaginya ke dalam tiga kategori kelompok tercemar yaitu tidak tercemar-sehat (hulu), tercemar ringan-kurang sehat (tengah), tercemar ringan-tidak sehat (hilir). Sungai Bone (bagian tengah ke hilir) berada pada kondisi tercemar dimungkinkan sebagai akibat pencemaran yang berasal dari aktivitas antropogenik masyarakat terutama dari kegiatan pertanian, pemukiman dan penambangan pasir. Untuk menjaga keberlangsungan ekosistem DAS Bone diperlukan adanya regulasi yang mengatur aktivitas antropogenik tersebut. Dari sekian banyak aspek permasalahan dalam pengelolaan DAS, penelitian ini hanya menyentuh aspek biofisik saja sehingga sebagai tindak lanjut perlu dilakukan kajian terhadap rencana pengelolaan DAS Bone secara terpadu untuk pengendalian pencemaran yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Trisnaini I, Kumala Sari TN, Utama F. Identifikasi habitat fisik Sungai dan keberagaman biotilik sebagai indikator pencemaran air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 2018, 17(1): 1–8. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.1.1-8>
2. De Girolamo AM, Balestrini R, D'Ambrosio E, Pappagallo G, Soana E, Lo Porto A. Antropogenic input of nitrogen and riverine export from a Mediterranean catchment. The Celone, a temporary river case study. *Agricultural Water Management* 2017, 187: 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.025>
3. Padja F, Polamolo AI, Kadim MK, Pasingi N. Compositon of the Macrozoobenthos in the River in Tolomato Village, Central Suwawa District, Bone Bolango Regency, Gorontalo Province. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 2021, 5(4): 357–62. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2021.Vol.5.No.4.136>
4. Sudaryanti S, Soemarno, Marsoedi, Yanuwidi B. Perencanaan pengelolaan terpadu Daerah Aliran Sungai: landasan berfikir ekosistem akuatik berkelanjutan. *The Indonesian Green Technology Journal* 2021, 10(2): 28–38.
5. Kaharu AN, Husnan R, Labdul BY. Analisis debit banjir dan tinggi muka air Sungai Bone terhadap elevasi dasar Jembatan Molintogupo. *Composite Journal* 2022, 2(2): 1–8. <https://doi.org/10.54732/i.v1i2.1064>
6. Biki R, Katili A, Algamar, Bachmid A, Alitu H, Naji A. Status lingkungan hidup Daerah Provinsi Gorontalo. Gorontalo: Badan Lingkungan Hidup, Riset dan Teknologi; 2012.
7. Pantolay A, Arbie A, Yusuf M. Analisis profil fisik Sungai Bone Kabupaten Bone Bolango. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo; 2013.
8. Wang YP, Shi JY, Wang H, Lin Q, Chen XC, Chen YX. The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter.

- Ecotoxicology and Environmental Safety 2007, 67(1): 75–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.03.007>
9. Liu J, Liu YJ, Liu Y, Liu Z, Zhang AN. Quantitative contributions of the major sources of heavy metals in soils to ecosystem and human health risks: A case study of Yulin, China. *Ecotoxicology Environmental Safety* 2018, 164: 261–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.030>
  10. Sudaryanti S. Makroinvertebrata benthik untuk bioassessment kesehatan Daerah Aliran Sungai (DAS). Malang: UB Media; 2022.
  11. Kadim MK, Arfiati D. Effects of pollutants on physiological of River macroinvertebrates: A review. *EnviroScientiae* 2022, 18(1): 65–76.  
<https://doi.org/10.20527/es.v18i1.12980>
  12. Everall NC, Johnson MF, Wood P, Paisley MF, Trigg DJ, Farmer A. Macroinvertebrate community structure as an indicator of phosphorus enrichment in rivers. *Ecological Indicators* 2019, 107: 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105619>
  13. Rahayu DM, Pratama Yoga G, Effendi H, Wardiatno Y. The use of Macrozoobenthos as indicator of Up-Stream segment of Cisadane River, Bogor. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 2015, 20(1): 1–8.
  14. Kadim MK. Zonasi Sungai Umbulrejo di Kecamatan Dampit Kabupaten Malang berdasarkan komunitas Makrozoobentos. *Nikè* 2014, 2(2): 56–59.
  15. Hart BT, Davies PE, Humphrey CL, Norris RN, Sudaryanti S, Trihadiningrum Y. Application of the Australian river bioassessment system (AUSRIVAS) in the Brantas River, East Java, Indonesia. *Journal of Environmental Management* 2001, 62(1): 93–100.  
<https://doi.org/10.1006/jema.2001.0424>
  16. Tantalul L, Sudaryanti S, Mulyanto M. Ordinasai Sungai Biru Desa Tulungrejo Kecamatan Bumiaji Kota Batu berdasarkan Makrozoobenthos. *BUANA SAINS*. 2017, 17(1): 1–8.  
<https://doi.org/10.33366/bs.v17i1.572>
  17. Ecoton. Panduan biotilik untuk pemantauan kesehatan Daerah Aliran Sungai. Gresik: Ecoton; 2013.
  18. Sudaryanti S. Petunjuk teknik bioassessment. Pengambilan contoh Makroinvertebrata dengan Jala Tangan. Malang: Universitas Brawijaya; 2004.
  19. Hawking J, Smith F. Colour guide to invertebrates of Australian inland waters. Albury, NSW: Co-operative Research Centre for Freshwater Ecology, Murray-Darling Freshwater Research Centre; 1997.
  20. Quigley M. Invertebrates of streams and rivers : a key to identification. London: Edward Arnold; 1977.
  21. Hasibuan ESF, Supriyantini E, Sunaryo S. Pengukuran parameter bahan organik di Perairan Sungai Silugonggo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati. *Buletin Oseanografi Marina* 2021, 10(3): 299–306.  
<https://doi.org/10.14710/buloma.v10i3.32345>
  22. Firdausi NF, Rijal M. Kajian ekologis Sungai Arbes Ambon Maluku. *Biosel: Biology Science and Education* 2018, 7(1):13–22.  
<https://doi.org/10.33477/bs.v7i1.388>
  23. Rini DS. Panduan penilaian kesehatan Sungai melalui pemeriksaan habitat sungai dan BIOTILIK ecoton. ecoton; 2011.
  24. Hammer O, Harper D, Ryan P. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 2001, 4(1): 1–9.
  25. Presiden Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah (PP) tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Jakarta; 2021.
  26. Welch EB, Nacz F. Ecological Effects of Waste Water : Applied limnology and pollutant effects, Second Edition. 2nd ed. London: CRC Press; 1992.  
<https://doi.org/10.4324/9780203038499>
  27. Naillah A, Budiarti LY, Heriyani F. Literature Review: Analisis kualitas air Sungai dengan tinjauan parameter pH, Suhu, BOD, COD, DO terhadap Coliform. *Homeostasis* 2021, 4(2): 487–94.
  28. Masykur H, Amin B, Jasril J, Siregar SH. Analisis status mutu air sungai berdasarkan metode STORET sebagai pengendalian kualitas lingkungan (Studi Kasus: Dua Aliran Sungai di Kecamatan Tembilahan Hulu, Kabupaten Indragiri Hilir, Riau). *Dinamika Lingkungan Indonesia* 2018, 5(2): 84–96.  
<https://doi.org/10.31258/dli.5.2.p.84-96>
  29. Bunte K, Swingle KW, Turowski JM, Abt SR, Cenderelli DA. Measurements of coarse particulate organic matter transport in steep mountain streams and estimates of decadal CPOM exports. *Journal of Hydrology* 2016, 539:162–176.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.022>
  30. Kadim MK, Sudaryanti S, Yuli EH. Pencemaran residu pestisida di Sungai Umbulrejo Kecamatan Dampit Kabupaten Malang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 2013, 20(3): 262–268.
  31. Rahmawati I, Purnomo PW, Hendarto B. Fluktuasi bahan organik dan sebaran nutrien serta kelimpahan Fitoplankton dan Klorofil-A di Muara Sungai Sayung Demak. *Management of Aquatic Resources Journal* 2013, 3(1): 27–36.  
<https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4283>
  32. Pasingi N, TM Pratiwi N, Krisanti M. Kualitas perairan Sungai Cileungsi bagian hulu berdasarkan kondisi fisik-kimia. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan* 2014, 3(1): 56–64.  
<https://doi.org/10.13170/depik.3.1.1376>

33. Effendi H. Telaah kualitas air, bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Yogyakarta: Kanisius; 2003.
34. Odum EP. Dasar-dasar Ekologi: Terjemahan dari Fundamentals of Ecology. Alih Bahasa Samingan, T. Edisi Ketiga. Yogyakarta; Universitas Gadjah Mada Press; 1998.
35. Kadim MK, Pasisingi N, Alinti ER, Panigoro C. Biodiversity and community assemblages of freshwater and marine macrozoobenthos in Gorontalo Waters, Indonesia. *Biodiversitas* 2022, 23(2): 637–647. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230204>
36. Sudarso J, Wardiatno Y, Setiyanto DD, Anggraitoningsih W. Pengaruh aktivitas antropogenik di Sungai Ciliwung terhadap komunitas Larva Trichoptera. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 2013, 20(1): 68–83.
37. Yusuf H, Kadim MK. Struktur komunitas Echinodermata pada ekosistem Lamun Desa Taula'a Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan* 2019, 8(3): 207–16. <https://doi.org/10.13170/depik.8.3.14288>
38. Pritchard MJ, Martel JC. Information system ecology: An application of dataphoric ascendancy. *Information Systems* 2020, 89: 101486. <https://doi.org/10.1016/j.is.2019.101486>
39. Pebriani MA, Barus TA, Syafruddin I. Fish diversity and heavy metal accumulation of Pb, Cu and Zn after Mount Sinabung Eruption in Benuken River, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas* 2022, 23(1): 187–94. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230124>
40. Simamora RL, Achmad A, Yasir I. Kualitas air Sungai Bone (Gorontalo) berdasarkan bioindikator Makroinvertebrata. Makassar: Pasca Sarjana Universitas Hassanuddin; 2012.
41. Kadim MK, Herawati EY, Arfiati D, Hertika AMS, Kasim F. Distribution of heavy metal (Pb, Cd and Hg) concentrations in sediment of Bone River, Gorontalo. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan* 2022, 11(3): 282–7. <https://doi.org/10.13170/depik.11.3.27775>
42. Lihawa F, Mahmud M. Sebaran spasial dan temporal kandungan merkuri pada lokasi pertambangan emas tradisional. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo; 2012.
43. Sugiester SF, Firmansyah YW, Widiyantoro W, Fuadi MF, Afrina Y, Hardiyanto A. Dampak pencemaran sungai di indonesia terhadap gangguan kesehatan: literature review. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*. 2021, 13(1):120-33. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1829>
44. Peraturan Pemerintah. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. *Peratur Pemerintah Republik Indones*. Published online 2001:1-22



©2024. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.