

Research Article



Analisis Kualitas Air Berdasarkan Keanekaragaman Makroinvertebrata Dan Parameter Fisika-Kimia Air Sungai Lembo Kelurahan Lembo Kecamatan Lembo Kabupaten Konawe Utara

(Water Quality Analysis Based on Macroinvertebrate Diversity and Physicochemical Parameters of the Lembo River, Lembo Subdistrict, Lembo District, North Konawe Regency)

Ade Naranda Qatrunnada¹, Kahirun², La Ode Muhammad Erif^{3*}, La Baco Sudia⁴, Asramid Yasin⁵, Ema Hermawati Garusu⁶, Surya Cipta Ramadhan Kete⁷

^{1,2,3*,4,5,6,7} Jurusan Ilmu Lingkungan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received : March 27, 2026

Revision in revised from : April 1, 2026;

Accepted : April 28, 2026;

Available Online : September 31, 2026.

KEYWORDS :

Biodiversity;

Konawe;

Macroinvertebrates;

Physic-chemical parameters of river water;

Water quality;

ABSTRACT

The presence of land use around the river can affect river water quality. Various land uses such as forests, secondary forests/shrubs, mixed gardens and settlements accompanied by various activities such as plantations, washing, bathing, and sand excavation can affect river health because it can change the value of water parameters to biodiversity habitat. This study aims to determine the macroinvertebrate diversity of Lembo River, the value of water physico-chemical parameters of Lembo River and the water quality of Lembo River based on macroinvertebrate bioindicators and water physico-chemical properties. The method in this study uses the Shannon-Weinner diversity index and family biotic index for macroinvertebrate analysis, while the value of water physico-chemical parameters refers to Government Regulation No. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management. The results of this study indicate that Station I with forest land use and secondary forest/shrub has a diversity index value of 1.53. Station II with mixed garden land use has a diversity index value of 1.13. Station III with residential land use has a diversity index value of 0.80. Based on macroinvertebrate bioindicators, the water quality of Lembo River is in the category of good water quality with the level of pollution polluted by some organic materials. Based on the analysis of the physico-chemical parameters measured, Lembo River water meets class II and class III water quality standards based on Government Regulation No. 22 of 2021.



Copyright (c) 2026 @author(s).

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang memiliki peran vital dalam menopang kehidupan manusia dan keberlanjutan ekosistem. Salah satu sumber air yang paling banyak dimanfaatkan adalah sungai, yang berfungsi sebagai penyedia air untuk kebutuhan domestik, pertanian, industri, serta sanitasi lingkungan (Amru dan Makkau, 2023; Zahra, 2023). Selain itu, sungai juga berperan sebagai sistem ekologis yang mendukung berbagai proses biologis dan menjaga keseimbangan lingkungan.

Namun demikian, aktivitas manusia di sekitar daerah aliran sungai (DAS) dapat mempengaruhi kualitas air dari hulu hingga hilir. Berbagai aktivitas seperti pemukiman, pertanian, dan industri berpotensi menghasilkan limbah yang menjadi sumber pencemar perairan (Ramadhan et al., 2023). Dampak dari aktivitas tersebut tidak hanya menurunkan kualitas air secara fisika dan kimia, tetapi juga mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem sungai, termasuk perubahan komposisi komunitas biota dan proses ekologis seperti dekomposisi dan produktivitas (Angeler et al., 2014 dalam Maknuun et al., 2021). Oleh karena itu, pemantauan kualitas air menjadi penting untuk mengetahui kondisi ekosistem perairan secara menyeluruh.

Penilaian kualitas air umumnya dilakukan melalui pendekatan terpadu yang mencakup parameter fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika meliputi suhu, Parameter fisika yang dianalisis meliputi Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), kekeruhan, kecepatan arus, dan debit sungai. Sementara itu, parameter kimia meliputi derajat keasaman (pH),

Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD) (Zahra, 2023). Selain itu, pendekatan biologis menggunakan bioindikator seperti makroinvertebrata dinilai lebih representatif dalam menggambarkan kondisi perairan secara jangka panjang, karena organisme ini memiliki sensitivitas terhadap perubahan lingkungan dan siklus hidup yang relatif panjang (Fabano dan Inayah, 2021; Hellen et al., 2020). Makroinvertebrata juga telah banyak digunakan untuk menilai dampak perubahan penggunaan lahan terhadap fungsi ekosistem perairan (De Castro et al., 2016; Mangadze et al., 2019 dalam Erif et al., 2023).

Meskipun berbagai studi telah mengkaji kualitas air menggunakan pendekatan fisika-kimia maupun bioindikator, penelitian yang mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut pada skala lokal, khususnya di Sungai Lembo, masih relatif terbatas. Padahal, pendekatan terpadu direkomendasikan dalam berbagai kerangka pengelolaan lingkungan, termasuk dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menekankan pentingnya pemantauan kualitas lingkungan berbasis parameter fisik, kimia, dan biologi secara simultan untuk mendukung penilaian status mutu air.

Selain itu, kebijakan teknis dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melalui sistem pemantauan kualitas air nasional (misalnya dalam indeks kualitas air/IKL) juga menggarisbawahi pentingnya integrasi bioindikator sebagai pelengkap

data fisika-kimia dalam penentuan status ekosistem perairan. Dalam konteks pengelolaan sumber daya air, prinsip ini sejalan dengan pendekatan ekohidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) yang digunakan oleh lembaga pengelola sumber daya air nasional.

Sungai Lembo yang melintasi wilayah Kabupaten Konawe dan Konawe Utara memiliki peran strategis bagi masyarakat, baik sebagai sumber air untuk kebutuhan domestik, pertanian, maupun perikanan. Secara kelembagaan, pemanfaatan sungai ini juga terkait dengan perencanaan tata ruang wilayah serta kebijakan pengelolaan sumber daya air daerah, termasuk fungsi sebagai penyedia air baku, pengendali limpasan, dan bagian dari sistem hidrologi DAS yang lebih luas. Dalam konteks tersebut, pengelolaan Sungai Lembo tidak hanya menjadi isu ekologis, tetapi juga bagian dari agenda pembangunan berkelanjutan yang melibatkan pemerintah daerah dan masyarakat.

Bagi masyarakat lokal, Sungai Lembo tidak hanya memiliki nilai ekonomi, tetapi juga fungsi sosial dan ekologis yang mendukung keberlanjutan mata pencaharian serta keseimbangan lingkungan. Namun demikian, sungai ini mengalami tekanan akibat perubahan penggunaan lahan. Ekspansi pemukiman, perkebunan campuran, dan pembangunan infrastruktur di sekitar Sungai Lembo meningkatkan tekanan terhadap kondisi lingkungan sungai. Perubahan tutupan lahan menurunkan fungsi vegetasi sebagai penahan erosi, sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan transport sedimen ke badan sungai. Aktivitas perkebunan berpotensi menambah beban pencemar

berupa residu pupuk dan pestisida, sedangkan pembangunan infrastruktur dapat mempercepat degradasi lahan serta meningkatkan suplai material tersuspensi ke sistem perairan.

Dampaknya saat ini terlihat pada peningkatan kekeruhan, sedimentasi, serta kecenderungan pendangkalan sungai yang berimplikasi pada penurunan kualitas habitat perairan. Kondisi tersebut dapat mengganggu struktur komunitas biota akuatik, menurunkan ketersediaan air bersih, serta meningkatkan risiko banjir pada wilayah hilir (Koty et al., 2024). Dalam perspektif ekologi sungai, perubahan tersebut mencerminkan adanya tekanan antropogenik yang mempengaruhi keseimbangan sistem perairan dan menunjukkan urgensi pengelolaan berbasis bukti ilmiah.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan kajian yang lebih komprehensif melalui pendekatan integratif antara parameter fisika-kimia dan bioindikator makroinvertebrata. Pendekatan ini selaras dengan prinsip pengelolaan lingkungan hidup dalam PP No. 22 Tahun 2021 serta kebijakan pemantauan kualitas air oleh KLHK, yang menekankan pentingnya data biologis sebagai indikator respons ekosistem. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kondisi ekologis Sungai Lembo serta menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan dan konservasi sumber daya air secara berkelanjutan pada tingkat daerah aliran sungai.

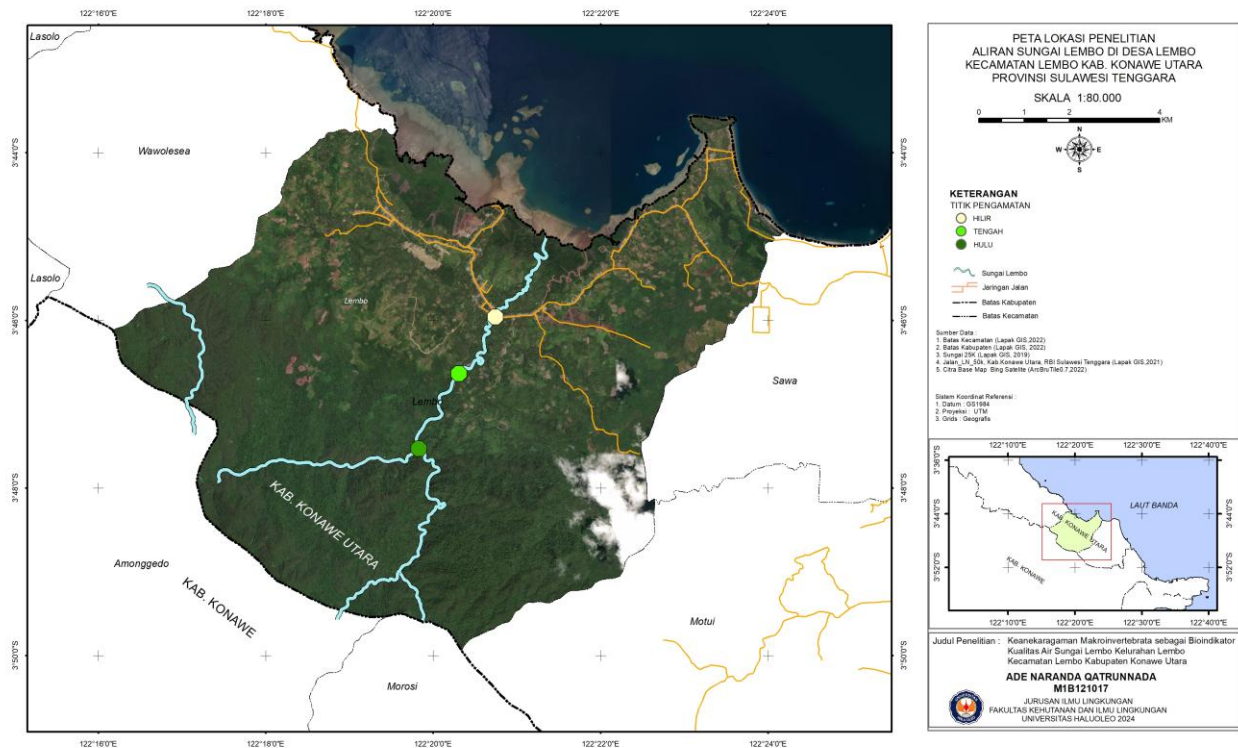
2. BAHAN DAN METODE

Area Studi

Penelitian ini dilakukan di Sungai Lembo, Kelurahan Lembo, Kecamatan

Lembo, Kabupaten Konawe Utara, Indonesia. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada koordinat

03°45'-03°47' LS dan 122°19'-122°20' BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Wilayah ini merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) yang pada bagian hulu didominasi oleh hutan hujan tropis dataran rendah, hutan sekunder, serta hutan riparian di sepanjang bantaran sungai. Pada bagian tengah hingga hilir, tutupan lahan berubah menjadi kebun campur (agroforestri), belukar (vegetasi sekunder), dan permukiman, yang menunjukkan adanya peningkatan tekanan aktivitas antropogenik terhadap sistem DAS. Curah hujan tahunan berkisar ± 1.500 – 2.000 mm/tahun dengan suhu rata-rata 26 – 30°C , topografi relatif datar hingga bergelombang, serta ketinggian <300 mdpl. Jenis tanah didominasi oleh aluvial dan tanah berasosiasi dengan material pelapukan batuan.

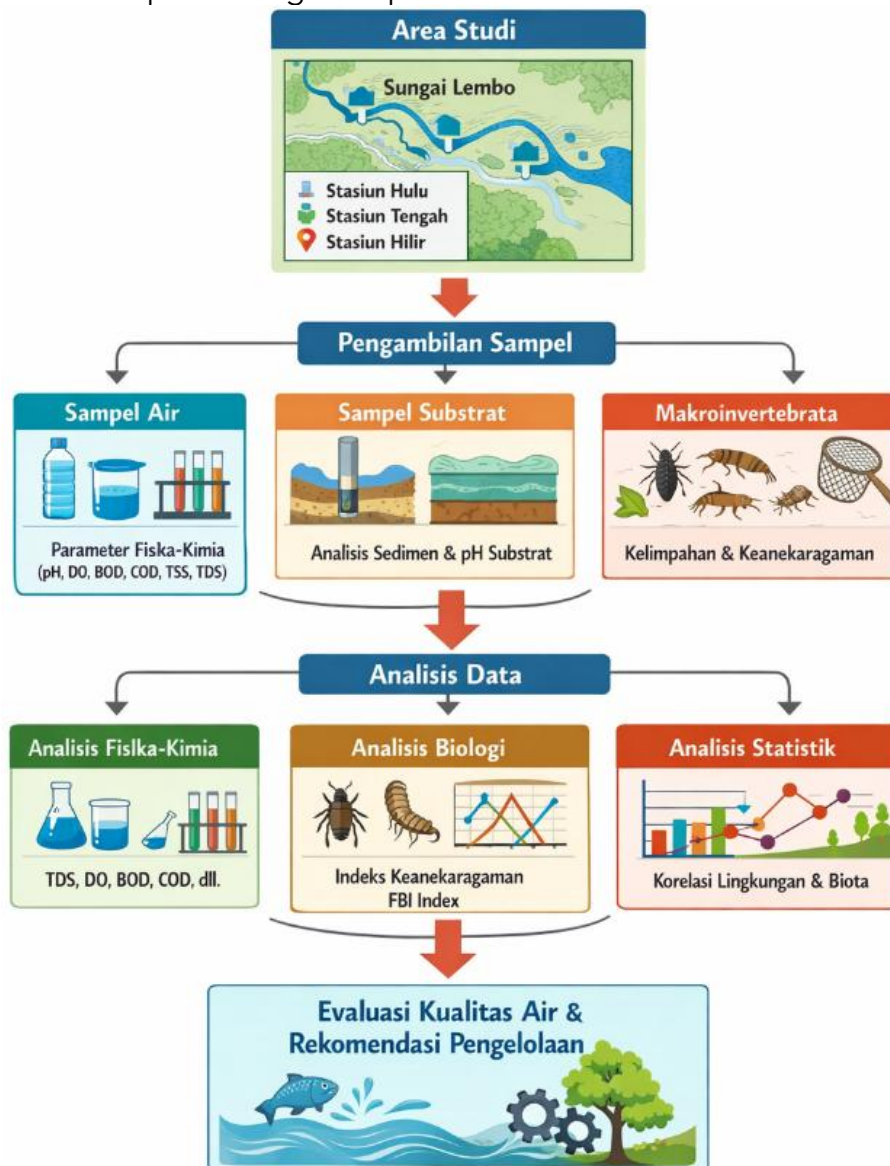
Pengambilan data dilakukan pada tiga stasiun yang merepresentasikan gradien hulu-hilir, yaitu: Stasiun I (hulu; hutan dan hutan sekunder), Stasiun II (tengah; perkebunan campuran), dan Stasiun III (hilir; permukiman). Koordinat masing-masing stasiun adalah: Stasiun I ($03^{\circ}47'31.30''\text{S}$; $122^{\circ}19'49.23''\text{E}$), Stasiun II ($03^{\circ}46'30.64''\text{S}$; $122^{\circ}20'29.79''\text{E}$), dan Stasiun III ($03^{\circ}45'59.16''\text{S}$; $122^{\circ}20'42.54''\text{E}$). Jarak antar stasiun adalah $2,26$ km (I-II) dan $1,14$ km (II-III). Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2024.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain survei eksploratif dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis

kualitas air berdasarkan parameter fisika-kimia dan bioindikator makroinvertebrata pada tiga tipe

penggunaan lahan sepanjang gradien sungai.



Gambar 2. Desain Penelitian

Metode Pengambilan Sampel

1. Sampel Air

Pengambilan sampel air dilakukan secara *insitu* pada tiga titik di setiap stasiun (kiri, tengah, kanan sungai), kemudian dikompositkan menjadi satu sampel per stasiun. Sampel diberi label (lokasi dan waktu) dan dianalisis *ex situ* di Laboratorium Biomolekuler dan Lingkungan FMIPA Universitas Halu

Oleo. Parameter yang dianalisis meliputi TDS, TSS, kekeruhan, DO, BOD, dan COD. Hasil dibandingkan dengan baku mutu air kelas II dan III berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Hasil pengukuran parameter fisika-kimia air dan substrat dilakukan langsung di lokasi penelitian dan juga di Laboratorium Biomolekuler dan

Lingkungan FMIPA Universitas Halu Oleo.

Parameter suhu, pH, kecepatan arus, dan debit sungai diukur secara *insitu*. Suhu diukur menggunakan termometer, pH menggunakan pH meter, sedangkan kecepatan arus dan debit dihitung menggunakan metode pelampung.

2. Sampel Substrat

Sampel substrat diambil menggunakan pipa paralon (tinggi 10 cm, diameter 7,5 cm) pada tiga titik di setiap stasiun. Sampel dianalisis di laboratorium untuk menentukan komposisi sedimen, sedangkan pH substrat diukur secara langsung di lapangan.

3. Makroinvertebrata

Pengambilan makroinvertebrata dilakukan pada tiga titik di setiap stasiun menggunakan jaring berukuran mesh 500 μm . Dua jenis alat digunakan sesuai kondisi substrat, yaitu *driftnet* (substrat lumpur, arus lambat) dan *surber net* (substrat berbatu/berkerikil, arus deras). Jaring diposisikan menghadap arus dan ditekan ke substrat hingga ± 10 cm. Sampel dibersihkan, dipisahkan, dan diawetkan menggunakan alkohol 70%. Identifikasi dilakukan *ex situ* menggunakan mikroskop stereo dengan acuan Rahayu et al. (2009), Bouchard (2004), dan Hauer & Lamberti (2007).

Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi:

1. Komposisi dan jumlah individu makroinvertebrata

2. Parameter fisika (suhu, arus, debit, substrat)
3. Parameter kimia (pH, DO, BOD, COD, TDS, TSS)

Analisis Data

1. Analisis Biologi

- Kelimpahan(K_i):
 $K_i = N_i / A$
Keterangan:
 - K_i = Kelimpahan makroinvertebrata (individu/ m^2)
 - N_i = Jumlah individu spesies ke- i yang ditemukan
 - A = Luas area pengambilan sampel (m^2)

Tabel 1. Kriteria Kelimpahan Makroinvertebrata

Kriteria Kelimpahan (K_i)	
Nilai K_i (ind/ m^2)	Kriteria
< 10	Sangat sedikit
10 - < 20	Sedikit
20 - < 40	Sedang
40 - < 60	Banyak
≥ 60	Sangat banyak

- Indeks Keanekaragaman (Shannon-Wiener, H'):
 $H' = \sum P_i \ln P_i$
- Family Biotic Index (FBI):
 $FBI = \sum (X_i \times t_i) / n$

Interpretasi mengacu pada Fachrul (2007), Odum (1993), dan Hilsenhoff (1988). Kriteria Family Biotic Index (FBI) digunakan untuk menilai kualitas air berdasarkan tingkat toleransi makroinvertebrata terhadap pencemaran organik, sebagaimana terlihat pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Kriteria Family Biotic Index (FBI)

Nilai FBI	Kategori Kualitas Air	Tingkat Pencemaran Organik
0.0 - 3.75	Sangat baik	Tidak terpolusi
3.76 - 4.25	Baik sekali	Sedikit terpolusi bahan organik
4.26 - 5.00	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik
5.01 - 5.75	Sedang	Terpolusi sedang
5.76 - 6.50	Agak buruk	Terpolusi cukup tinggi
6.51 - 7.25	Buruk	Terpolusi tinggi
7.26 - 10.00	Sangat buruk	Terpolusi sangat tinggi

2. Analisis Fisika-Kimia

Perhitungan parameter dilakukan berdasarkan standar nasional (SNI), meliputi:

- TDS (SNI 06-6989.27:2005)
- TSS (SNI 6989.3:2019)
- DO (SNI 06-6989.14:2004)
- BOD (SNI 6989.72:2009)
- COD (SNI 6989.2:2019)

Seluruh analisis fisika-kimia dilakukan di Laboratorium Biomolekuler dan Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Halu Oleo (UHO) yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Laboratorium ini menggunakan prosedur analisis sesuai standar SNI yang berlaku untuk menjamin validitas dan reliabilitas data.

Kecepatan arus dihitung dengan rumus $V = s/t$, sedangkan debit sungai dihitung dengan metode *mean section* ($Q = V \times A$). Persentase substrat dihitung berdasarkan fraksi berat.

Kecepatan arus dihitung dengan rumus $V = s/t$, sedangkan debit sungai dihitung dengan metode *mean section* ($Q = V \times A$). Persentase substrat dihitung berdasarkan fraksi berat.

3. Analisis Statistik

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif untuk menggambarkan kondisi kualitas air dan komunitas makroinvertebrata pada setiap stasiun penelitian menggunakan Microsoft Excel. Parameter fisika-kimia (suhu, pH, DO, BOD, COD, TDS, TSS, arus, dan debit) serta parameter biologi (kelimpahan, indeks keanekaragaman, dan Family Biotic Index/FBI) disajikan dalam bentuk nilai rata-rata, minimum, maksimum, serta tabel dan grafik tanpa pengujian hipotesis statistik.

Analisis biologi dilakukan melalui perhitungan kelimpahan (K_i), indeks Shannon-Wiener (H'), dan FBI, yang kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria yang berlaku. Selanjutnya, parameter fisika-kimia dibandingkan dengan baku mutu air kelas II dan III (PP No. 22 Tahun 2021) untuk menentukan status mutu air. Interpretasi dilakukan secara terpadu dengan mengaitkan hasil fisika-kimia dan biologi untuk menggambarkan kondisi kualitas perairan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Makroinvertebrata di Sungai Lembo

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Sungai Lembo pada Stasiun I, Stasiun II, dan Stasiun III didapatkan 8 Ordo dengan 9 Family makroinvertebrata. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan 8 ordo dan 9 family makroinvertebrata di Sungai Lembo dengan jumlah 40 individu makroinvertebrata. Didapatkan 19 individu makroinvertebrata pada Stasiun I dengan penggunaan lahan hutan dan hutan sekunder/belukar, 14 individu makroinvertebrata pada Stasiun II dengan penggunaan lahan kebun campuran, dan 7 individu makroinvertebrata pada Stasiun III dengan penggunaan lahan pemukiman.

Indeks Kelimpahan

Berdasarkan hasil identifikasi makroinvertebrata, maka dilakukan analisis data indeks kelimpahan untuk mengetahui kelimpahan makroinvertebrata yang ada di Sungai Lembo yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks kelimpahan makroinvertebrata di Sungai Lembo

No.	Stasiun	Ki	Kriteria Kelimpahan
1	I	76	Sangat banyak
2	II	56	Sangat banyak
3	III	28	Sangat banyak

Berdasarkan indeks kelimpahan, Sungai Lembo memiliki nilai secara berturut-turut dari Stasiun I sampai Stasiun III yaitu 76, 56, dan 28 dengan kriteria sangat banyak. Makroinvertebrata dengan kelimpahan paling banyak yakni *Gammaridae* dengan nilai 36 pada Stasiun II dan nilai 20 pada Stasiun III. Hal ini karena kondisi

fisik pada Stasiun II dan Stasiun III sesuai dengan habitat *Gammaridae* yang berpasir dan memiliki kecepatan arus yang sedang. Pada Stasiun I, kelimpahan paling tinggi yaitu *Gerridae*, *Veliidae* dan *Tetragnathidae* dengan nilai 20.

Indeks Keanekaragaman

Berdasarkan tabel hasil identifikasi makroinvertebrata, maka dilakukan analisis data indeks keanekaragaman. Indeks keanekaragaman digunakan untuk mengetahui keanekaragaman makroinvertebrata yang ada di Sungai Lembo yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks keanekaragaman makroinvertebrata di Sungai Lembo

No.	Stasiun	H'	Tingkat keanekaragaman
1	I	1,53	Sedang
2	II	1,13	Sedang
3	III	0,80	Rendah

Berdasarkan indeks keanekaragaman, Stasiun I memiliki nilai 1,53 dan Stasiun II memiliki nilai 1,13 yang memiliki tingkat keanekaragaman sedang. Stasiun III memiliki nilai 0,80 dengan tingkat keanekaragaman rendah. Hal ini dikarenakan pada Stasiun I merupakan lokasi dengan penggunaan lahan hutan dan Stasiun II merupakan lokasi dengan penggunaan lahan perkebunan campuran yang masih terdapat vegetasi yang menjaga kualitas air dan untuk tempat hidup makroinvertebrata. Sedangkan Stasiun III merupakan area pemukiman yang terdapat aktivitas mencuci, mandi, serta penggalan. Adanya gangguan dari aktivitas antropogenik dapat mempengaruhi rendahnya nilai indeks keanekaragamannya (Sudarso et al., 2013).

Family Biotic Index

Berdasarkan hasil identifikasi makroinvertebrata di Sungai Lembo, maka dilakukan analisis *family biotic index* (FBI) pada masing-masing stasiun untuk mengetahui status kualitas air. Hasil analisis FBI disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai *Family Biotic Index* makroinvertebrata di Sungai Lembo

No.	Stasiun	Nilai FBI	Kategori kualitas air	Tingkat pencemaran organik
1	I	4,57	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik
2	II	4,28	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik
3	III	4,42	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik

Berdasarkan analisis FBI, Sungai Lembo memiliki kisaran nilai FBI pada kategori yang sama yakni pada kategori kualitas air baik. Pada Stasiun I memiliki nilai FBI 4,57, pada Stasiun II memiliki nilai FBI 4,28 dan pada Stasiun III memiliki nilai FBI 4,42. Berdasarkan nilai FBI tersebut, Sungai Lembo pada semua Stasiun tergolong dalam tingkat pencemaran terpolusi beberapa bahan organik. Meskipun keanekaragaman makroinvertebrata di Stasiun I lebih beragam tetapi nilai FBI-nya lebih tinggi karena makroinvertebrata memiliki nilai toleransinya masing-masing sehingga mempengaruhi nilai FBI.

Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa makroinvertebrata yang ditemukan pada Stasiun I dengan penggunaan lahan hutan dan hutan sekunder/belukar memiliki nilai FBI 4,57 yang menunjukkan kondisi terpolusi beberapa bahan organik. Hal ini diduga

karena bagian hulu sebelumnya merupakan lahan perkebunan yang memiliki aktivitas pemeliharaan tanaman dan juga aktivitas penangkapan udang dengan menggunakan racun dan daun tuba sehingga dapat berdampak terhadap biota air termasuk makroinvertebrata. Penggunaan bahan beracun kemungkinan besar mempengaruhi nilai parameter fisik-kimia dan menyebabkan terganggunya komunitas makroinvertebrata dan menurunkan nilai FBI. Meskipun demikian, sungai memiliki kemampuan *self-purification* untuk memperbaiki kualitas air terhadap polutan, tetapi makroinvertebrata tetap memerlukan waktu untuk beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi. *Self-purification* adalah kemampuan alamiah suatu ekosistem atau perairan untuk membersihkan dirinya sendiri dari pencemaran atau polutan. Proses ini melibatkan interaksi antara berbagai faktor biotik dan abiotik dalam lingkungan, seperti mikroorganisme, tumbuhan air, oksigen terlarut, dan proses aliran air (Napitupulu dan Putra, 2024).

Berdasarkan hasil penelitian, famili yang paling banyak ditemukan pada Stasiun I yakni *Gerridae* 5 individu ($t_i=5$), *Veliidae* 5 individu ($t_i=6$), dan *Tetragnathidae* 5 individu ($t_i=2$). *Gerridae* dan *Veliidae* merupakan famili yang berada pada Ordo yang sama, yakni Hemiptera. *Gerridae* (Anggang-anggang) sering dijadikan indikator kualitas air karena famili *Gerridae* tidak bisa hidup di lingkungan tercemar (Kesuma *et al.*, 2022). Menurut Borror *et al.* (1992) dalam Prasetya (2015), *Gerridae* biasa hidup pada perairan yang tenang. Sesuai dengan hasil pengukuran, kecepatan arus pada

Stasiun I yaitu 0,13 m/s. Sedangkan *Tetragnathidae* merupakan laba-laba yang hidup berkoloni pada lahan dengan sumber makanan yang melimpah (Gillespie dan Spagna, 2009) dalam (Enggana, 2022). *Tetragnathidae* menangkap mangsa dengan membuat jaring bola kecil pada daun, berwarna putih sangat samar, dan akan bersembunyi di balik dedaunan sembari menunggu ada mangsa yang terjebak (Enggana, 2022). Sesuai dengan lokasi Stasiun I yang berada pada lahan hutan dan hutan sekunder/belukar sehingga *Tetragnathidae* banyak ditemukan. Dengan ditemukannya famili bertoleransi rendah, Stasiun I memiliki air sungai yang baik untuk kehidupan makroinvertebrata.

Famili yang paling banyak ditemukan pada Stasiun II yaitu *Gammaridae* 9 individu ($ti=4$) yang termasuk dalam Ordo Amphipoda. Amphipoda mendiami habitat dengan dasaran pasir atau lumpur (Afandi, 2011). Kecepatan arus akan mempengaruhi komposisi substrat dasar (sedimen) dan jumlah akan mempengaruhi aktivitas makrozoobentos yang ada. Berdasarkan hasil penelitian, tipe substrat pada Stasiun II didominasi oleh pasir dengan kecepatan arus 0,30 m/s sehingga *Gammaridae* banyak ditemukan.

Sama halnya dengan Stasiun II, famili yang paling banyak ditemukan pada Stasiun III yaitu *Gammaridae* 5 individu ($ti=4$). Substrat pada Stasiun III didominasi oleh pasir dengan kecepatan arus 0,48 m/s sehingga *Gammaridae* banyak ditemukan. Selain *Gammaridae*, famili yang ditemukan pada Stasiun III yaitu *Tetragnathidae*, *Hydrophilidae*, dan *Libellulidae*. *Libellulidae* yang termasuk dalam ordo Odonata adalah salah satu kelompok Arthropoda yang dapat

digunakan sebagai parameter kualitas air dan pencemaran lingkungan. Hal ini karena Odonata (capung) termasuk serangga air yang sensitif terhadap perubahan kandungan zat di dalam air (Irmawati et al., 2023).

Kualitas Air Sungai Lembo Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia

Nilai parameter fisika-kimia yang diperoleh dibandingkan berdasarkan baku mutu kelas II dan kelas III Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Hasil pengukuran parameter fisika-kimia air dan substrat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter fisika-kimia air dan substrat Sungai Lembo

Parameter	Satuan	Stasiun			Baku Mutu PP No. 22 Tahun 2021		Keterangan
		I	II	III	Kelas II	Kelas III	
Fisika							
Suhu	°C	25,3	27	27	Dev 3	Dev 3	Memenuhi baku mutu
TDS	mg/L	298	244	300	1.000	1.000	Memenuhi baku mutu
TSS	mg/L	18	10	12	50	100	Memenuhi baku mutu
Kekeruhan	NTU	1,26	1,09	1,72	-	-	-
Kecepatan arus	m/s	0,13	0,30	0,48	-	-	-
Debit sungai	m ³ /s	0,95	0,92	0,95	-	-	-
Tipe substrat	-	Liat (33,33%), pasir (60%), debu (6,67%)	Liat (23,53%), pasir (70,59%), debu (5,88%)	Liat (37,5%), pasir (56,25%), debu (6,25%)	-	-	-
Kimia							
pH	-	7,35	7,21	6,73	6-9	6-9	Memenuhi baku mutu
DO	mg/L	5,21	4,56	4,54	4	3	Memenuhi baku mutu
BOD	mg/L	1,80	2,10	3,60	3	6	Memenuhi baku mutu
COD	mg/L	10,21	11,20	14,30	25	40	Memenuhi baku mutu
pH substrat	-	7,14	7,19	7,13	-	-	-

Karakteristik suhu pada Sungai Lembo memiliki nilai suhu berkisar 25,3°C sampai 27°C. Nilai suhu yang diperoleh termasuk dalam kategori normal karena nilai suhu normal berdasarkan baku mutu yakni 25°C sampai 31°C (Sofiyani et al., 2021). Menurut Widyastuti (2013) dalam Nurlinda et al. (2019), kisaran suhu yang

baik untuk pertumbuhan makrozoobentos yaitu 25°C sampai 32°C. Ada pun menurut Rustiasih *et al.* (2018), menyatakan bahwa kisaran suhu yang optimal untuk kehidupan organisme air termasuk makroinvertebrata adalah 26°C sampai 31°C.

Hasil pengukuran TDS atau jumlah padatan terlarut dalam air menunjukkan nilai yang berbeda-beda dengan nilai berkisar 244 mg/L sampai 300 mg/L. Nilai TDS tertinggi berada pada Stasiun III dengan nilai 300 mg/L. Diketahui bahwa titik ini berada pada lahan pemukiman yang memiliki aktivitas antropogenik seperti mandi, mencuci, hingga penggalian pasir. Nilai TDS yang tinggi akan mempengaruhi kejernihan air sehingga menghambat sinar matahari masuk dan memperlambat proses fotosintesis (Gultom *et al.*, 2021). Proses fotosintesis yang lambat akan mempengaruhi kadar oksigen terlarut dalam air dan akan berdampak pada kehidupan biota, salah satunya makroinvertebrata. Namun berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, nilai TDS ini masih dibawah batas baku mutu yaitu 1.000 mg/L.

TSS Sungai Lembo memiliki nilai rentang 10 mg/L sampai 18 mg/L. Nilai TSS tertinggi berada pada Stasiun I yakni 18 mg/L dikarenakan kecepatan arus pada Stasiun I yaitu 0,13 m/s sehingga TSS yang ada pada Stasiun I terendap bersama substrat karena kecepatan arus lambat (Koty *et al.*, 202). Selain itu, Stasiun I memiliki nilai TSS yang tinggi diduga karena substrat pada Stasiun I didominasi jenis pasir dan persentase jenis debu lebih tinggi di Stasiun I dengan nilai 6,67% dibanding Stasiun II dan Stasiun III. Namun berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun

2021, nilai TSS Sungai Lembo memenuhi baku mutu karena berada dibawah 50 mg/L untuk kelas II dan 100 mg/L untuk kelas III.

Kekeruhan air pada Sungai Lembo memiliki nilai 1,09 NTU sampai 1,72 NTU. Stasiun III merupakan lokasi yang memiliki nilai kekeruhan tertinggi yaitu 1,72 NTU. Hal ini dikarenakan Stasiun III merupakan lokasi yang penggunaan lahannya pemukiman yang memiliki aktivitas mandi, mencuci, penggalian, dan aktivitas antropogenik lainnya. Selain itu, nilai TDS Stasiun III yang lebih tinggi dapat mempengaruhi kekeruhan air. Hal ini sejalan dengan Gultom *et al.* (2021) TDS yang tinggi akan mempengaruhi kekeruhan atau kejernihan air yang akan menghambat sinar matahari masuk sehingga memperlambat fotosintesis.

Kecepatan arus Sungai Lembo menunjukkan hasil bahwa Stasiun I memiliki kecepatan arus 0,13 m/s, Stasiun II yakni 0,30 m/s, dan Stasiun III yakni 0,48 m/s. Kecepatan arus dapat dibedakan dalam 4 kategori yaitu kecepatan arus 0 - 0,25 m/s yang disebut arus lambat, kecepatan arus 0,25 - 0,50 m/s yang disebut arus sedang, kecepatan arus 0,50 - 1 m/s yang disebut arus cepat dan kecepatan arus diatas 1 m/s yang disebut arus sangat cepat (Setiyowati dan Mustofa, 2024). Berdasarkan hal tersebut, kecepatan arus Sungai Lembo termasuk arus lambat (Stasiun I) dan arus sedang (Stasiun II dan Stasiun III). Hal yang dapat mempengaruhi kecepatan arus yakni kedalaman sungai dan lebar permukaan air, selain itu tinggi rendah dan halus dasar sungai dapat berpengaruh terhadap kecepatan arus sungai (Hasibuan, 2017) dalam (Kurnia *et al.*, 2024). Stasiun I termasuk kedalam arus lambat karena memiliki lebar permukaan

air 18,90 meter, sedangkan lebar permukaan air pada Stasiun II yakni 9,40 meter, dan Stasiun III yakni 7,83 meter. Kecepatan arus merupakan hal yang penting dalam penyebaran organisme yang hidup di perairan tersebut (Koty et al., 2024).

Besar kecilnya nilai debit aliran akan tergantung pada luas tampang aliran dan kecepatan arus rerata. Luas penampang sangat dipeharuhi oleh nilai kedalaman dan lebar sungai (Puteri et al., 2019). Debit Sungai Lembo menunjukkan bahwa Stasiun I memiliki debit 0,95 m³/s, pada Stasiun II yakni 0,92 m³/s, dan Stasiun III yakni 0,95 m³/s. Sebagai salah satu parameter fisika, debit memiliki pengaruh terhadap biota air (Umam dan Wahyuningsih, 2022), sehingga data debit atau aliran sungai merupakan data yang penting untuk pengelolaan sumberdaya air (Wiadnyana et al., 2019). Semakin tinggi nilai debit aliran maka kualitas perairan akan semakin baik (Puteri et al., 2019).

Potential hydrogen (pH) adalah derajat keasaman yang menunjukkan tingkat kebasaaan atau keasaman suatu larutan. Nilai pH sungai Lembo pada Stasiun I yakni 7,35, pada Stasiun II yakni 7,21 dan pada Stasiun III yakni 6,73. Menurut Rahayu et al. (2009), nilai pH 6,5 sampai 8,2 merupakan kisaran optimal bagi sebagian besar makhluk hidup. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, pH Sungai Lembo memenuhi baku mutu kelas II dan kelas III.

Oksigen terlarut atau DO menunjukkan jumlah oksigen yang terlarut dalam air. Semakin tinggi nilai DO maka semakin baik air tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, nilai DO Sungai Lembo pada Stasiun I yakni 5,21 mg/L, pada Stasiun II yakni 4,56 mg/L,

dan pada Stasiun III yakni 4,54 mg/L. Tingkat oksigen terlarut yang cukup dalam air sungai sangat penting bagi organisme akuatik seperti ikan, makroinvertebrata, dan alga (Napitupulu dan Putra 2024). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, nilai DO Sungai Lembo memenuhi baku mutu kelas II dan kelas III.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis laboratorium, nilai BOD Sungai Lembo pada Stasiun I yakni 1,80 mg/L, pada Stasiun II yakni 2,10 mg/L, dan pada Stasiun III yakni 3,60 mg/L. Berdasarkan hal tersebut, semakin ke hilir nilai BOD semakin tinggi. Menurut Napitupulu dan Putra (2024), hal ini dikarenakan Stasiun III berada pada lokasi dengan penggunaan lahan pemukiman yang menghasilkan limbah domestik yang terurai oleh mikroorganisme, sehingga menghasilkan nilai BOD yang tinggi. Kandungan BOD yang tinggi menandakan minimnya oksigen terlarut yang terdapat dalam perairan (Daroini dan Arisandi, 2020). Ketika BOD tinggi, mikroorganisme akan menggunakan lebih banyak oksigen terlarut dalam proses penguraian bahan organik tersebut. Akibatnya, konsentrasi oksigen terlarut dalam air akan menurun (Napitupulu dan Putra, 2024). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, nilai BOD Sungai Lembo pada Stasiun I dan Stasiun II memenuhi baku mutu kelas II dan kelas III, sedangkan Stasiun III hanya memenuhi baku mutu kelas III.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai COD Sungai Lembo memenuhi baku mutu kelas II dan kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Dimana nilai COD Sungai Lembo pada Stasiun I yakni 10,21 mg/L, pada Stasiun II yakni 11,20 mg/L, dan

Stasiun III yakni 14,30 mg/L. Stasiun III menjadi lokasi dengan konsentrasi COD lebih tinggi. Ini disebabkan karena Stasiun III berada pada lokasi pemukiman dengan aktivitas masyarakat seperti mandi dan mencuci. Hal ini sejalan dengan Alfatihah *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa adanya kandungan bahan-bahan kimia yang terdapat dalam detergen dan sabun seperti surfaktan, natrium, sulfonat dan sebagainya yang sulit didegradasi oleh bakteri tidak dapat terdegradasi secara biologi sehingga proses dekomposisinya melalui proses kimiawi, proses kimiawi ini membutuhkan oksigen lebih banyak dari biasanya.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, pH substrat Sungai Lembo pada Stasiun I yakni 7,14, pada Stasiun II yakni 7,19 dan pada Stasiun III yakni 7,13. Nilai pH pada ketiga Stasiun Sungai Lembo berada pada kondisi netral yang baik untuk kehidupan biota. Berdasarkan Rahayu *et al.* (2009), menyatakan bahwa nilai pH 6,5 sampai 8,2 merupakan kisaran optimal bagi sebagian besar makhluk hidup.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Lembo pada Stasiun I, II, dan III memiliki tipe substrat yang sama, yakni didominasi oleh pasir. Kecapatan arus secara tidak langsung mempengaruhi substrat dasar perairan. Sungai dengan arus yang lambat memiliki substrat dasar pasir atau lumpur (Setiawan, 2008) *dalam* (Aulia *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian, family *Gammaridae* yang termasuk dalam ordo Amphipoda paling banyak ditemukan karena Amphipoda mendiami habitat dengan dasaran pasir atau lumpur (Afandi, 2011).

4. DISKUSI

Komunitas makroinvertebrata di Sungai Lembo terdiri atas 8 ordo dan 9 famili dengan total 40 individu yang terdistribusi pada tiga stasiun pengamatan. Distribusi individu menunjukkan pola menurun dari wilayah hulu yang didominasi oleh tutupan hutan relatif alami (hutan primer dan hutan sekunder), ke kawasan perkebunan campuran, hingga wilayah pemukiman. Kondisi ini mencerminkan adanya pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap struktur komunitas makroinvertebrata, di mana tekanan antropogenik cenderung meningkat ke arah hilir. Peningkatan tekanan tersebut berimplikasi pada penurunan kelimpahan serta potensi perubahan kondisi habitat perairan yang memengaruhi keberadaan organisme bioindikator.

Berdasarkan indeks kelimpahan, seluruh stasiun tergolong dalam kategori sangat banyak, dengan nilai berturut-turut 76 (Stasiun I), 56 (Stasiun II), dan 28 (Stasiun III). Meskipun demikian, terdapat perbedaan komposisi taksa dominan antar lokasi. Famili *Gammaridae* mendominasi Stasiun II dan III, yang didukung oleh kondisi substrat berpasir dan kecepatan arus sedang, sesuai dengan preferensi habitat Amphipoda (Afandi, 2011). Sebaliknya, Stasiun I didominasi oleh *Gerridae*, *Veliidae*, dan *Tetragnathidae*, yang umumnya ditemukan pada perairan dengan arus lambat dan vegetasi yang baik (Kesuma *et al.*, 2022; Borrer *et al.*, 1992 *dalam* Prasetya, 2015; Enggana, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa faktor fisik seperti arus dan substrat berperan penting dalam menentukan distribusi makroinvertebrata.

Indeks keanekaragaman menunjukkan bahwa Stasiun I ($H'=1,53$) dan Stasiun II ($H'=1,13$) memiliki keanekaragaman sedang, sedangkan Stasiun III ($H'=0,80$) tergolong rendah. Nilai yang lebih tinggi pada Stasiun I dan II mengindikasikan kondisi habitat yang relatif lebih stabil dengan dukungan vegetasi yang masih baik, sedangkan rendahnya keanekaragaman di Stasiun III berkaitan dengan aktivitas antropogenik seperti mandi, mencuci, dan penggalian yang dapat menurunkan kualitas habitat (Sudarso et al., 2013). Penurunan keanekaragaman ini menjadi indikator adanya peningkatan tekanan lingkungan yang secara signifikan memengaruhi sensitivitas organisme akuatik.

Hasil analisis Family Biotic Index (FBI) menunjukkan bahwa seluruh stasiun berada pada kategori kualitas air "baik" dengan nilai 4,28-4,57, namun termasuk dalam kondisi terpolusi beberapa bahan organik. Nilai FBI yang relatif seragam menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi keanekaragaman, tingkat pencemaran organik masih berada pada tingkat moderat. Tingginya nilai FBI pada Stasiun I diduga dipengaruhi oleh aktivitas masa lalu seperti penggunaan bahan beracun (tuba) dan aktivitas pertanian, yang berdampak terhadap komunitas makroinvertebrata. Kondisi ini menunjukkan bahwa respon makroinvertebrata tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi saat ini, tetapi juga oleh riwayat gangguan lingkungan. Selain itu, proses self-purification pada sungai memungkinkan terjadinya perbaikan kualitas air secara alami melalui interaksi faktor biotik dan abiotik (Napitupulu dan Putra, 2024), meskipun pemulihan komunitas biologis memerlukan waktu.

Komposisi taksa juga memberikan indikasi ekologis yang penting. Kehadiran Gerridae dan Veliidae sebagai organisme sensitif menunjukkan kondisi perairan yang relatif baik, terutama di Stasiun I. Sebaliknya, dominasi Gammaridae pada Stasiun II dan III mengindikasikan kondisi habitat yang lebih toleran terhadap perubahan lingkungan. Kehadiran Libellulidae sebagai bagian dari Odonata di Stasiun III juga menunjukkan potensi sebagai bioindikator perubahan kualitas air karena sensitivitasnya terhadap kondisi lingkungan (Irmawati et al., 2023).

Secara keseluruhan, struktur komunitas makroinvertebrata di Sungai Lembo dipengaruhi oleh kombinasi faktor penggunaan lahan, kondisi fisika perairan (arus dan substrat), serta kualitas air. Gradien perubahan dari hulu ke hilir menunjukkan adanya penurunan kualitas habitat yang tercermin pada penurunan jumlah individu dan keanekaragaman. Oleh karena itu, makroinvertebrata terbukti efektif sebagai bioindikator dalam mengevaluasi kondisi ekologis sungai, khususnya dalam mendeteksi dampak aktivitas antropogenik terhadap ekosistem perairan di Sungai Kecamatan Lembo, Kabupaten Konawe Utara.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo serta Ketua Jurusan Ilmu Lingkungan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini tidak menerima hibah spesifik dari lembaga pendanaan

manapun, baik dari sektor publik, komersial, maupun nirlaba."

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, R. (2011). Aplikasi *Grandidierella* sp. (Amphipoda bentik) sebagai organisme uji toksisitas sedimen Teluk Jakarta [Skripsi, Universitas Indonesia].
- Alfatihah, A., Latuconsina, H., & Prasetyo, H. D. (2022). Analisis kualitas air berdasarkan parameter fisika dan kimia di Perairan Sungai Patrean Kabupaten Sumenep. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(2), 76-84.
- Aulia, P. R., Supratman, O., & Gustomi, A. (2020). Struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan di Sungai Upang Desa Tanah Bawah Kecamatan Puding Besar Kabupaten Bangka. *Aquatic Science Jurnal Ilmu Perairan*, 2(1), 17-30.
- Amru, K., & Makkau, B. A. (2023). Analisis kualitas air Sungai Palopo akibat pencemaran limbah dengan metode *Index Pollution*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 137-142.
- Bouchard, R. W. (2004). *Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest*. Minnesota Pollution Control Agency.
- Daroini, T. A., & Arisandi, A. (2020). Analisis BOD (biological oxygen demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil*, 1(4), 558-566.
- Enggana, S. (2022). Keanekaragaman laba-laba (Araneae) pada kawasan agroforestri Taman Pinus dan kopi di Hutan Pendidikan UB Forest Malang [Skripsi, Universitas Brawijaya].
- Erif, L. O. M., Djohan, T. S., Sudarmadji, Yasin, A., Sudia, L. B., & Kahirun. (2023). The application of the River Continuum Concept (RCC) on the headwaters of the Sampolawa River in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(2), 290-299. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240202>
- Fabanjo, M. A., & Inayah. (2021). Analysis of water quality in the Mandaong River for development of freshwater fish cultivation. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3), 965-973.
- Gultom, F. B., Rahman, R., & Heriansyah. (2021). Analisis kualitas air berdasarkan parameter fisika di wilayah Kota Bengkulu. *Alchemy: Journal of Chemistry*, 9(2), 37-42.
- Hauer, F. R., & Lamberti, G. A. (2007). *Methods in stream ecology*. Elsevier.
- Hilsenhoff, W. L. (1987). An improved biotic index of organic stream pollution. *The Great Lakes Entomologist*, 20(1), 31-39.
- 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. <https://doi.org/10.2307/1467832>
- Ibrahim, A., Sudarso, J., Imroatushshoolikhah, Toruan, R. L., & Sari, L. (2021). Penggunaan makrozoobentos dalam penilaian kualitas perairan Sungai Inlet Danau Maninjau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 649-660.
- Irmawati, S., Amrullah, H., & Zulkarnain. (2023). Identifikasi jenis capung (Odonata) pada daerah

- persawahan dan rawa di Kecamatan Somba Opu Kabupaten Gowa. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 3(3), 136-142.
- Kesuma, A. J., Alimiah, U. S., & Maretta, G. (2022). Keanekaragaman makrozoobentos sebagai indikator kualitas perairan Sungai Langsep Kecamatan Kalirejo Kabupaten Lampung Tengah. *[Journal details incomplete]*.
- Koty, A., Kahirun, Bana, S., Erif, L. O. M., Sudia, L. B., Midi, L. O., & Kete, S. C. R. (2024). Macroinvertebrate diversity as bioindicator of water quality in Anggoeya River, Kendari City. *Journal of Soilscape and Agriculture*, 2(2), 82-97.
- Kurnia, E. M., Harfinda, & Sari, D. W. (2024). Makroinvertebrata sebagai bioindikator dalam pemantauan kualitas air Sungai Purun. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan & Perikanan*, 1(2), 82-95.
- Maknuun, L. L. I., Krisanti, M., & Wardianto, Y. (2021). Sensitivitas dan kelayakan indeks biotik menggunakan makroinvertebrata untuk menentukan status kesehatan sungai. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(1), 151-158.
- Napitupulu, R. T., & Putra, M. H. S. (2024). Pengaruh BOD, COD dan DO terhadap lingkungan dalam penentuan kualitas air bersih di Sungai Pesanggrahan. *CIVeng*, 5(2), 79-82.
- Nurlinda, S., Kasim, M., & Nur, A. I. (2019). Struktur komunitas ikan karang pada terumbu karang buatan di Perairan Desa Tanjung Tiram. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 4(1), 75-82.
- Prasetya, A. (2015). Komunitas makroinvertebrata sebagai bioassessment Sungai Biru II Kecamatan Bumiaji Kota Batu [Skripsi, Universitas Brawijaya].
- Puteri, M. F. D., Putra, Y. S., & Adriat, R. (2019). Penentuan debit aliran di Muara Sungai Pawan Kabupaten Ketapang. *Prisma Fisika*, 7(3), 326-330.
- Rahayu, S., Widodo, R. H., Noordwijk, M. V., Suryadi, I., & Verbist, B. (2009). *Monitor air di daerah aliran sungai*. World Agroforestry Center.
- Ramadhan, R., Rolia, E., Prawati, E., & Sriharyani, L. (2023). Penilaian kualitas kesehatan air sungai berbasis makroinvertebrata. *JUMATISI*, 4(2), 349-355.
- Rustiasih, E., Arthana, I. W., & Sari, A. H. W. (2018). Keanekaragaman dan kelimpahan makroinvertebrata sebagai biomonitoring kualitas perairan Tukad Badung. *Current Trends in Aquatic Science*, 1(1), 16-23.
- Sari, D., Nurhadi, N. Y., Anwar, K., Isa, M., Handayani, S., & Sardeni. (2021). Pemantauan dan analisis tingkat pencemaran kualitas air sungai di Kabupaten Tebo. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 12(2), 15-23.
- Setiyowati, D., & Mustofa, A. (2024). Kualitas perairan Pantai Seribu Ranting Jepara. *Jurnal Disprotek*, 15(1), 81-86.
- Sofiyani, R. G., Muskananfola, M. R., & Sulardiono, B. (2021). Struktur komunitas makrozoobentos di perairan pesisir Kelurahan Mangunharjo. *Life Science*, 10(2), 150-161.
- Sudarso, J., Wardianto, Y., Setiyanto, D. D., & Anggraitoningsih, W. (2013). Pengaruh aktivitas antropogenik di Sungai Ciliwung terhadap komunitas larva Trichoptera. *Jurnal*

- Manusia dan Lingkungan*, 20(1), 68-83.
- Umam, K., & Wahyuningsih, E. (2022). Keanekaragaman gastropoda di Sungai Logawa Banyumas. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(1), 81-94.
- Wiadnyana, D. M., Subagiada, K., & Natalisanto, A. I. (2019). Hubungan tinggi muka air dan debit aliran Sungai Karang Mumus. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(2), 1-7.
- Wulandari, D. A., Widyastuti, E., Wirawati, I., & Subandi, R. (2021). Struktur komunitas dan keanekaragaman makrobentos di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Biologi*, 14(1), 115-126.
- Zahra, J. A. (2023). Analisis sifat fisika dan kimia air Sungai Tempuran. *Jurnal Ekosains*, 15(1), 1-9.
- Zamdial, Hartono, D., Rhamadhon, A., Herliany, N. E., & Muqsit, A. (2021). Analisis karakteristik habitat kepiting bakau (*Scylla spp.*). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(1), 239-252.