

Struktur Komunitas Makroinvertebrata Bentos di Kawasan Budidaya Ikan Kali Sukun Purwosari, Kabupaten Pasuruan

Benthic Macroinvertebrate Community Structure in the Sukun River Fish Farming Area, Purwosari, Pasuruan Regency

Reffina Dwi Rohmatul Aini^{1 *)}, Hamdani Dwi Prasetyo^{2 **)}, Husain Latuconsina³

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

ABSTRAK

Aktivitas budidaya ikan dengan sistem keramba jaring tancap (KJT) berpotensi meningkatkan masukan bahan organik ke badan air yang dapat memengaruhi kualitas perairan dan struktur komunitas makroinvertebrata bentos sebagai bioindikator. Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2025 di Kali Sukun, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Pasuruan, dengan tujuan mengidentifikasi spesies dan struktur komunitas makroinvertebrata bentos, menilai kualitas air menggunakan bioindikator bentos, serta menganalisis hubungan kualitas air dengan indeks keanekaragaman, dan indeks dominansi. Penelitian ini menggunakan metode purposive sampling pada tiga stasiun, yaitu sebelum keramba, area keramba, dan setelah keramba. Parameter fisika-kimia yang diukur meliputi suhu, pH, DO, kecepatan arus, kekeruhan, TDS, dan BOD. Analisis biologis dilakukan dengan menghitung indeks keanekaragaman (H'), dominansi (C), kemudian dianalisis menggunakan uji korelasi dan ANOVA. Hasil menunjukkan adanya perubahan komposisi komunitas, di mana area keramba cenderung didominasi oleh famili toleran terhadap pencemaran organik. Nilai H' berkisar antara 2,279–2,402 yang menunjukkan kategori keanekaragaman sedang, sedangkan indeks dominansi relatif rendah (0,111–0,130) yang mengindikasikan tidak adanya dominansi ekstrem. Peningkatan TDS dan BOD pada area budidaya berasosiasi dengan penurunan kualitas biologis perairan. Secara keseluruhan, kondisi perairan Kali Sukun tergolong tercemar sedang, sehingga diperlukan pengelolaan budidaya yang lebih ramah lingkungan dan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

Kata kunci: Indeks biotik, Kali Sukun, keramba jaring tancap, kualitas air, makroinvertebrata bentos.

ABSTRACT

Fish farming activities using the fixed net cage (KJT) system have the potential to increase the input of organic matter into water bodies that can affect water quality and the structure of benthic macroinvertebrate communities as bioindicators. This study was conducted in August 2025 in Sukun River, Purwosari District, Pasuruan Regency, with the aim of identifying species and community structure of benthic macroinvertebrates, assessing water quality using benthic bioindicators, and analyzing the relationship between water quality and diversity indices and dominance indices. This study used a purposive sampling method at three stations, namely before the cage, the cage area, and after the cage. The physicochemical parameters measured included temperature, pH, DO, current velocity, turbidity, TDS, and BOD. Biological analysis was carried out by calculating the diversity index (H'), dominance (C), then analyzed using correlation tests and ANOVA. The results showed changes in community composition, where the cage area tended to be dominated by families tolerant to organic pollution. The H' value ranged from 2.279 to 2.402, indicating a moderate diversity category, while the dominance index was relatively low (0.111 to 0.130), indicating the absence of extreme dominance. Increased TDS and BOD in the cultivation area were associated with a decline in the biological quality of the waters. Overall, the waters of

*) Reffina Dwi Rohmatul Aini, Program Studi Biologi FMIPA UNISMA, Jln. MT Haryono 193, Malang 65144, Telp./08233696345 and e-mail: reffinaazure@gmail.com

**) Hamdani Dwi Prasetyo², Program Studi Biologi FMIPA UNISMA, Jln. MT Haryono 193, Malang 65144, Telp./082230620896 and E-mail: hamdanidwiprasetyo@unisma.ac.id

***)Husain Latuconsina³, Program Studi Biologi FMIPA UNISMA, Jln. MT Haryono 193, Malang 65144, Telp./081234217595 and E-mail: husainlatuconsina@unisma.ac.id

the Sukun River are classified as moderately polluted, necessitating more environmentally friendly cultivation management and continuous water quality monitoring.

Keywords: *Benthic macroinvertebrates, biotic indices, floating net cages, Kali sukun, water quality.*

Pendahuluan

Kualitas lingkungan perairan merupakan aspek penting yang perlu dijaga untuk menjamin keberlanjutan ekosistem serta mendukung aktivitas manusia, termasuk budidaya ikan. Pemantauan kualitas air umumnya dilakukan melalui pengukuran parameter fisika dan kimia, namun pendekatan ini bersifat sesaat dan belum sepenuhnya mencerminkan kondisi perairan secara menyeluruh karena zat pencemar dapat cepat terlarut dan terbawa aliran air [1]. Oleh karena itu, pendekatan biologis menggunakan makroinvertebrata akuatik sebagai bioindikator dinilai lebih representatif dalam menilai kualitas perairan [2].

Makroinvertebrata memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan lingkungan, sehingga struktur komunitasnya dapat mencerminkan kondisi perairan. Dominasi spesies toleran umumnya menunjukkan perairan terdegradasi, sedangkan keberadaan spesies sensitif mengindikasikan kualitas air yang relatif baik [3]. Sungai yang dimanfaatkan untuk budidaya ikan dengan sistem keramba jaring tancap (KJT) berpotensi mengalami perubahan kualitas air dan substrat akibat peningkatan bahan organik dan nutrien, yang selanjutnya memengaruhi komunitas makroinvertebrata bentos [4].

Sejumlah studi menegaskan bahwa komunitas makroinvertebrata bentos mampu menggambarkan kondisi mutu perairan sungai. Di Coban Talun, Kota Batu, dominasi organisme yang peka terhadap pencemaran mencerminkan kondisi perairan yang masih relatif baik [5]. Di sisi lain, Sungai Jilu, Kota Malang, dikategorikan baik hingga tercemar ringan berdasarkan evaluasi indeks biotik makrozoobentos [6], sedangkan Sungai Tumapel di Singosari, Kabupaten Malang, termasuk tercemar ringan - sedang berdasarkan metode Biotilik dan FBI [7]. Kajian di Sungai Metro, Kota Malang, menunjukkan bahwa peningkatan BOD dan TDS akibat aktivitas antropogenik, termasuk budidaya ikan sistem keramba, berkorelasi dengan penurunan keanekaragaman bentos [8]. Temuan serupa di Sungai Code juga menegaskan bahwa kombinasi indeks biotik dan parameter fisika-kimia efektif untuk menilai kualitas air sungai yang terdampak aktivitas keramba [9].

Meskipun demikian, kajian mengenai keterkaitan antara kualitas air dan struktur komunitas makroinvertebrata pada perairan sungai dengan sistem KJT masih terbatas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mendukung pengelolaan lingkungan perairan yang

berkelanjutan berbasis indikator biologis. Penelitian ini dirancang untuk membandingkan kondisi perairan pada sebelum, di lokasi, dan setelah keramba jaring tancap untuk mengetahui secara langsung dampak budidaya ikan terhadap komunitas bentos. Tujuannya adalah mengidentifikasi spesies dan mengevaluasi struktur komunitas makroinvertebrata bentos pada tingkat famili di kawasan budidaya Kali Sukun, menentukan kualitas air berdasarkan pendekatan bioindikator, serta menganalisis keterkaitan antara parameter kualitas air dengan indeks keanekaragaman dan dominansi.

Material dan Metode

Bahan dan Alat

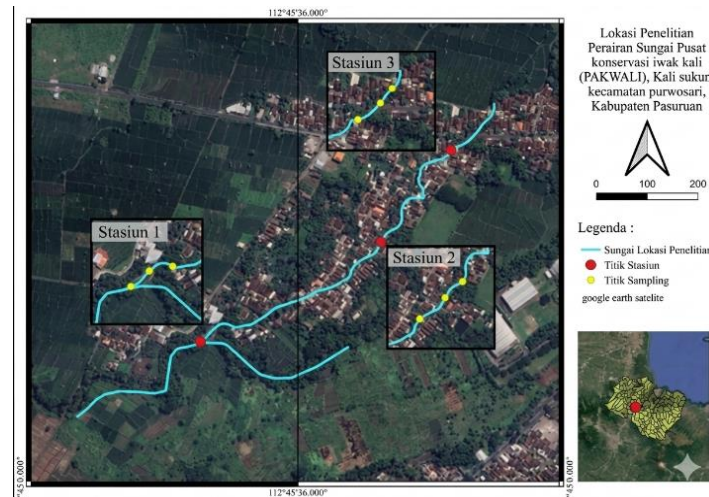
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkohol 70%, Aquadest, spesimen makroinvertebrata bentos, sampel air sungai.

Alat digunakan sebagai berikut: alat penyaring untuk mengambil spesies makroinvertebrata bentos, botol sampel, kuas kecil, pinset, pH meter, turbidimeter, TDS meter, DO meter, termometer, tali ravia, sterofoam, aluminium foil, penggaris, kamera, alat tulis, GPS (*Global positioning system*), buku identifikasi.

Metode

Pengambilan sampel penelitian menggunakan metode *Purposive sampling* yang dilakukan di 3 stasiun dengan aktivitas antropogenik yang berbeda dengan arak antar stasiun adalah ± 100 m. Stasiun 1 berada sebelum area budidaya ikan dan mewakili kondisi perairan yang masih alami. Sampel diambil pada tiga titik. Stasiun 2 terletak di area keramba jaring tancap sebagai pusat aktivitas budidaya, sehingga memiliki tekanan antropogenik tertinggi. Sampel diambil pada tiga titik. Stasiun 3 berada setelah area keramba dan menggambarkan kondisi perairan yang telah menerima pengaruh aktivitas budidaya. Sampel juga diambil pada tiga titik. Pemilihan ketiga stasiun tersebut dilakukan secara sengaja berdasarkan pertimbangan karakteristik aktivitas budidaya, potensi sumber pencemar, serta kemampuan lokasi untuk merepresentasikan perubahan kondisi ekologis sepanjang aliran sungai. Gambar berikut menunjukkan lokasi penelitian serta titik pengambilan sampel pada tiap stasiun pengamatan.

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Cara Kerja

Penelitian ini diawali dengan tahap survey lokasi penelitian, kemudian persiapan bahan dan alat, dilanjutkan dengan proses pengambilan sampel makroinvertebrata bentos dan sampel air beserta dengan pengukuran parameter fisika-kimia dimulai dari pengukuran suhu, pH, DO dan kecepatan arus. Pengambilan sampel dan pengukurannya dilakukan sebanyak 3 kali di waktu yang berbeda. Untuk pengukuran parameter TDS, Kekeruhan dan BOD serta hitungan sampel makroinvertebrata bentos dilakukan di Laboratorium terpadu UNISMA. Pengukuran BOD dilakukan setelah sampel air diinkubasi selama 5 hari di ruangan yang tertutup. Setelah semua parameter diukur, dilakukan analisis data.

Hasil dan Diskusi

Hasil Penelitian

1. Struktur komunitas dan famili makroinvertebrata bentos yang ditemukan

Dalam penelitian ini, hasil identifikasi menunjukkan adanya 17 spesies makroinvertebrata bentos yang tergolong ke dalam 13 famili pada tiga stasiun pengamatan di Kali Sukun Purwosari. Hasil makroinvertebrata bentos yang ditemukan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. *Taxa richness*/kekayaan taksa

No.	Spesies	Famili	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
1	<i>Cerithidea obtuse</i>	Potamididae	+	+	+
2	<i>Cerithidea quadrata</i>		+	+	+

3	<i>Cerithidea cingulata</i>		+	+	+
4	<i>Cerithidea weyersi</i>		+	+	+
5	<i>Melanoides tuberculata</i>	Thiaridae	+	+	+
6	<i>Tarebia granifera</i>		+	+	+
7	<i>Gryllus bimaculatus</i>	Gryllidae	+	+	-
8	<i>Pilsbryoconcha exilis</i>	Unionidae	+	+	+
9	<i>Macrobrachium lanchesteri</i>	Palaemonidae	+	+	+
10	<i>Parathelphusa convexa</i>	Gecarcinucidae	+	+	+
11	<i>Gerris lacustris</i>	Gerridae	+	+	+
12	<i>Tubifex</i> sp.	Naididae	+	+	+
13	<i>Anax junius</i>	Aeshnidae	+	+	+
14	<i>Baetis</i> sp.	Baetidae	+	+	+
15	<i>Perlidae</i> sp.	Perlidae	+	-	+
16	<i>Chironomus</i> sp.	Chironomidae	+	+	+
17	<i>Orthetrum sabina</i>	Libellulidae	+	-	-
Total famili per Stasiun			13	11	11

Perbedaan jumlah famili makroinvertebrata bentos di tiap stasiun mencerminkan variasi kualitas perairan sepanjang Kali Sukun Purwosari. Di stasiun sebelum kawasan KJT, substrat batu dan kerikil dengan arus cukup deras serta kadar oksigen terlarut tinggi mendukung keberadaan famili yang sensitif terhadap pencemaran. Lokasi ini memiliki jumlah famili tertinggi (13 famili), dengan dominasi Cerithiidae dan Thiaridae yang biasanya terkait dengan perairan berarus dan kondisi relatif baik [10]. Substrat yang keras dan stabil juga berperan menjaga keberagaman dan keseimbangan struktur komunitas bentos [11].

Di stasiun kawasan KJT, substrat berubah menjadi berlumpur dengan arus lebih lambat akibat peningkatan bahan organik dari aktivitas budidaya dan domestik. Komunitas pada lokasi ini didominasi oleh famili Tubificidae dan Chironomidae yang toleran terhadap oksigen rendah dan kandungan bahan organik tinggi [12]. Pergeseran komposisi tersebut menunjukkan adanya tekanan ekologis yang memengaruhi kualitas habitat bentik [13]. Pada stasiun setelah kawasan KJT, kemunculan kembali famili sensitif seperti Baetidae dan Gerridae mengindikasikan adanya proses pemulihan alami perairan [14]. Namun demikian, keberadaan famili toleran masih ditemukan sehingga menggambarkan adanya gradien pencemaran dari hulu ke hilir [11].

Variasi struktur komunitas makroinvertebrata bentos di setiap stasiun menunjukkan respons organisme terhadap perubahan kondisi fisik dan kimia perairan. Pada stasiun sebelum keramba, substrat keras berupa batu dan kerikil, arus yang cukup deras, serta oksigen terlarut

tinggi mendukung organisme sensitif yang memerlukan oksigen optimal untuk metabolisme dan respirasi, sehingga tercipta keanekaragaman taksa yang tinggi [11]. Sebaliknya, akumulasi bahan organik dari sisa pakan dan limbah domestik mendorong dominasi organisme toleran yang mampu bertahan pada sedimen berlumpur dan kondisi oksigen rendah [13].

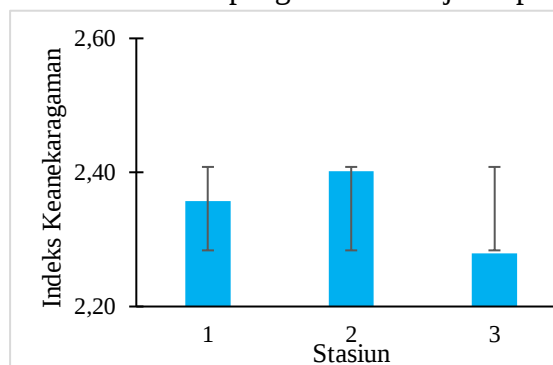
2. Struktur Komunitas Makroinvertebrata Bentos berdasarkan Indeks Keanekaragaman dan Dominansi

Berdasarkan data observasi pada tiga stasiun yaitu sebelum keramba, pusat keramba, dan setelah keramba. Pengamatan struktur komunitas makroinvertebrata bentos berdasarkan analisis keanekaragaman dan indeks dominansi disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. Indeks Keanekaragaman dan Dominansi

Stasiun	H'	C
1	2.357	0.130
2	2.402	0.111
3	2.279	0.128

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, perbandingan nilai indeks keanekaragaman makroinvertebrata bentos antar stasiun pengamatan disajikan pada grafik berikut.

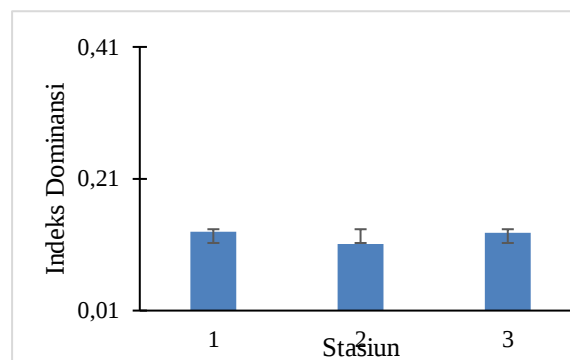


Gambar 1. Grafik perbandingan nilai rata-rata indeks keanekaragaman

Perbandingan nilai indeks keanekaragaman (H') antar stasiun menunjukkan variasi komunitas makroinvertebrata bentos di lokasi penelitian. Stasiun 2, yang berada di area keramba, menunjukkan nilai H' tertinggi, menandakan komposisi taksa yang cukup beragam dengan distribusi individu yang merata, kemungkinan karena ketersediaan bahan organik masih mendukung berbagai organisme. Sebaliknya, Stasiun 3, setelah keramba, mencatat nilai H' terendah, menunjukkan adanya tekanan lingkungan dari akumulasi limbah sehingga hanya beberapa kelompok yang mampu bertahan [15].

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Ningsih dkk. (2021) yang menyebutkan bahwa peningkatan tekanan antropogenik dapat menurunkan tingkat keanekaragaman bentos [5]. Temuan Marsela dkk. (2023) juga menunjukkan bahwa penumpukan bahan organik di sekitar keramba berkontribusi terhadap penurunan keragaman taksa [16]. Secara umum, indeks keanekaragaman yang tinggi mencerminkan kondisi komunitas yang lebih stabil, sedangkan nilai yang menurun menandakan adanya gangguan ekologis dan pergeseran menuju dominasi organisme toleran [17]. Peningkatan bahan organik dari aktivitas budidaya berpotensi menurunkan mutu perairan secara bertahap [18].

Sedangkan perbandingan nilai indeks dominansi makroinvertebrata bentos antar stasiun pengamatan disajikan pada grafik berikut.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai rata-rata indeks dominansi

Perbandingan nilai indeks dominansi (C) pada ketiga stasiun tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok. Nilai tertinggi terdapat pada Stasiun 1 (sebelum keramba), yang mengindikasikan adanya kecenderungan beberapa taksa berkembang lebih menonjol dibandingkan lainnya. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh lingkungan yang relatif stabil sehingga mendukung keberhasilan kelompok tertentu. Sebaliknya, Stasiun 2 (area keramba) memiliki nilai dominansi terendah, yang menunjukkan struktur komunitas lebih merata dan tidak didominasi secara kuat oleh satu taksa. Perubahan kondisi habitat akibat aktivitas budidaya diduga memengaruhi pola penyebaran tersebut. Secara umum, tingkat dominansi masih tergolong rendah, meskipun terdapat indikasi peningkatan pada lokasi setelah keramba [19].

Hasil Penelitian ini sejalan dengan Siringoringo dkk. (2023) yang menyebutkan bahwa perairan yang terpapar aktivitas keramba cenderung menunjukkan peningkatan dominansi organisme toleran [20]. Nurdin dkk. (2020) juga melaporkan bahwa peningkatan dominansi di wilayah hilir mencerminkan respons bentos terhadap tekanan limbah budidaya [21]. Dalam

konteks ekologi, nilai dominansi yang rendah mencerminkan komunitas yang relatif seimbang, sedangkan kenaikan nilai dominansi dapat menjadi indikator gangguan lingkungan yang mendorong spesies toleran lebih kompetitif [22]. Fenomena ini umumnya berkaitan dengan penurunan kualitas habitat perairan [17].

3. Parameter Fisika-Kimia Perairan

Untuk memahami kondisi ekologis lokasi penelitian dan hubungannya dengan struktur komunitas makroinvertebrata bentos, dilakukan pengukuran beberapa parameter fisika-kimia air, yaitu suhu, pH, oksigen terlarut (DO), kecepatan arus, kekeruhan, *total dissolved solids* (TDS), dan *biologic oxygen demand* (BOD). Berikut ini adalah hasil dari pengamatan kualitas air berdasarkan parameter fisika-kimia.

Tabel 3. Nilai rata-rata Parameter Fisika Kimia

Stasiun	Suhu	pH	DO	Kecepatan	Kekeruhan	TDS	BOD
1	26.34	8.12	7.22	0.47	0.90	1971.14	6.67
2	26.36	8.13	7.27	0.39	0.89	2220.11	6.98
3	26.23	8.15	7.52	0.26	0.89	2259.78	6.78

Hasil analisis kualitas air menunjukkan bahwa sebagian besar parameter seperti suhu, pH, oksigen terlarut, kecepatan arus, dan kekeruhan menunjukkan kondisi yang relatif konsisten antarstasiun dan tidak berbeda nyata menurut uji ANOVA. Hal ini menandakan bahwa daya dukung dan kapasitas penyangga alami sungai masih berfungsi secara efektif dalam menjaga keseimbangan kualitas air meskipun terdapat aktivitas budidaya [18]. Nilai oksigen terlarut yang tetap berada pada kisaran mendukung kehidupan juga menunjukkan bahwa proses respirasi organisme akuatik masih berlangsung optimal, walaupun di sekitar keramba terjadi peningkatan konsumsi oksigen akibat penguraian bahan organik [23].

Sebaliknya, kecenderungan peningkatan TDS dan BOD pada area keramba dan bagian hilir mengindikasikan adanya tambahan muatan zat terlarut dan bahan organik dari kegiatan budidaya ikan. Meskipun peningkatan tersebut belum menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik, pola ini tetap mencerminkan adanya tekanan ekologis secara lokal yang berpotensi memengaruhi kondisi perairan apabila berlangsung dalam jangka panjang.

4. Hubungan Struktur Komunitas Bentos dengan Parameter Kualitas Air

Hasil uji korelasi menunjukkan pengaruh kondisi lingkungan terhadap keanekaragaman dan dominansi makroinvertebrata bentos, yang disajikan dalam tabel berikut sebagai dasar interpretasi respons komunitas.

Tabel 4. Uji Korelasi Antar Parameter

Struktur Komunitas Bentos	Indikator Kualitas Air	R	P
Keanekaragaman Shannon Wiener (H')	Suhu	0.757	0.453
	Ph	-0.973	0.149
	DO	-0.916	0.262
	Kecepatan	0.984	0.115
	Kekeruhan	0.887	0.305
	TDS	-0.939	0.224
	BOD	-0.391	0.744
Dominansi (C)	Suhu	0.355	0.769
	pH	-0.745	0.465
	DO	-0.615	0.578
	Kecepatan	0.779	0.431
	Kekeruhan	1.000*	0.011
	TDS	-0.990	0.092
	BOD	-0.782	0.428

Hasil uji korelasi Pearson menunjukkan bahwa keterkaitan antara parameter fisika–kimia perairan dan indeks biologi makroinvertebrata bentos di kawasan keramba jaring tancap Kali Sukun memperlihatkan pola yang beragam. Indeks keanekaragaman (H') cenderung berkorelasi positif cukup kuat dengan suhu, kekeruhan, dan kecepatan arus, yang mengindikasikan bahwa kondisi fisik tertentu dapat mendukung peningkatan variasi spesies [24]. Sebaliknya, H' menunjukkan korelasi negatif yang kuat terhadap pH, DO, TDS, dan BOD, sehingga peningkatan zat terlarut dan beban organik berpotensi menekan tingkat keanekaragaman [25]. Namun demikian, seluruh hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$), sehingga pengaruh langsung parameter fisika–kimia terhadap keanekaragaman belum dapat ditegaskan.

Pada indeks dominansi (C), ditemukan korelasi positif yang sangat kuat dan signifikan dengan kekeruhan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan partikel tersuspensi dapat mendorong dominasi spesies yang lebih toleran terhadap perubahan lingkungan [26]. Sementara itu, indeks dominansi berkorelasi negatif dengan pH, DO, TDS, dan BOD, yang mengisyaratkan bahwa perubahan kondisi kimia dan peningkatan beban pencemar dapat memengaruhi pola dominasi organisme [27]. Meski demikian, selain hubungan dengan kekeruhan, korelasi parameter lainnya tidak menunjukkan signifikansi secara statistik.

Kesimpulan

Penelitian ini ditemukan 17 spesies makroinvertebrata bentos dari 13 famili di Kali Sukun. Keanekaragaman tertinggi terdapat di stasiun sebelum keramba dengan dominasi famili sensitif, sementara area keramba didominasi famili toleran terhadap bahan organik dan oksigen rendah, dan stasiun hilir menunjukkan pemulihan sebagian komunitas. Parameter fisika–kimia sebagian besar stabil, namun TDS dan BOD meningkat di area keramba dan hilir akibat aktivitas budidaya. Korelasi antara kualitas air dan indeks keanekaragaman menunjukkan pola yang beragam, sedangkan dominansi berkorelasi signifikan dengan kekeruhan. Hasil ini menegaskan bahwa struktur komunitas makroinvertebrata bentos mencerminkan kondisi kualitas air di kawasan budidaya.

Daftar Pustaka

- [1] Rustiasih, E., Arthana, I.W., & Sari, A.H.W. 2018. Keanekaragaman dan Kelimpahan Makroinvertebrata Sebagai Biomonitoring Kualitas Perairan Tukad Badung, Bali. *Aquatic Science*, Vol.1(1): 16–23. <https://doi.org/10.24843/CTAS.2018.v01.i01.p03>.
- [2] Anastasia, S., Munfarida, I., & Suprayogi, D. 2022. Penilaian Kualitas Air Menggunakan Indeks Makroinvertebrata FBI dan Biotilik di Sungai Buntung Sidoarjo. *Serambi Engineering*, Vol.7(3): 3617–3623.
- [3] Attabik, M.A., Salamah, L.N., Amin, A.A., Syaifullah, Adhihapsari, W., Agustin, R.F., Mahariawan, I.M.D., Yanuar, A.T., & Setyoningrum, D. 2023. Biomonitoring Lingkungan Akuatik. UB Press. Malang.
- [4] Zai, A., Kusen, D.J., Undap, S.L., & Pangemanan, N.P.L. 2023. Limbah Hasil Produksi Budidaya Ikan Sistem Karamba Jaring Tancap di Desa Eris, Talikuran dan Kaima Kabupaten Minahasa. *Jurnal Budidaya Perairan*, Vol.11(1): 17-27. <https://doi.org/10.35800/bdp.11.1.2023.43451>.

- [5] Ningsih, A., Latuconsina, H., & Prasetyo, H.D. 2021. Struktur Makroinvertebrata Bentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kawasan Wisata Coban Talun, Kota Batu Jawa Timur. *Jurnal Biosaintropis*, Vol.7(1): 16–25. <https://doi.org/10.33474/e-jbst.v7i1.359>.
- [6] Vikriansyah, M.F., Prasetyo, H.D., & Latuconsina, H. 2024. Analisis Kualitas Fisikokimia Air di Aliran Sungai Jilu Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Perairan dan Perikanan*, Vol.3(1): 21–28. <https://doi.org/10.32734/jafs.v3i1.15701>.
- [7] Erlangga, M.E., Prasetyo, H.D., & Latuconsina, H. 2024. Status Kualitas Air Sungai Tumapel di Kawasan Singosari Kabupaten Malang dengan Metode Biotilik dan FBI. *Jurnal Ilmu Perairan dan Perikanan*, Vol.3(2): 82–93. <https://doi.org/10.32734/jafs.v3i2.18698>.
- [8] Putra, A.R., Sari, D.P., & Nugroho, H. 2022. Analisis Keanekaragaman Makroinvertebrata Bentos sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Metro, Malang. *Jurnal Biologi Tropis*, Vol.12(1): 45–56.
- [9] Rahman, F., Wijaya, A., & Prasetyo, B. 2021. Komunitas Makroinvertebrata Bentik Sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Code. *Jurnal Ekologi Perairan*, Vol.9(2): 78–89.
- [10] Sudarso, Y., Fadhilah, A., & Aryanti, E. 2021. Komposisi dan Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Indikator Kualitas Perairan Sungai Batanghari, Jambi. *Jurnal Akuatika Indonesia*, Vol.6(1): 12–20.
- [11] Retnaningdyah, C., Arisoelaningsih, E., Vidayanti, V., Purnomo, & Febriansyah, S.C. 2023. Community Structure and Diversity of Benthic Macroinvertebrates as Bio-Indicators of Water Quality in Some Waterfall Ecosystems, Bawean Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, Vol.24(1): 370–378. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240144>.
- [12] Farabi, A., Roohi, A., & Azari, R. 2023. Comparative Study of the Impacts of Fish Cage Culture on Some Environmental Factors and Macrobenthic Communities in Offshore Farms in the Southern Caspian Sea. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, Vol.12(1): 35–45. <https://doi.org/10.15406/jamb.2023.12.00350>.
- [13] Tania, C., Wardiatno, Y., & Krisanti, M. 2020. Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Sungai Cisadane, Jawa Barat. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, Vol.21(7): 3195–3203.
- [14] Pawhestri, S.W., Hidayat, J.W., & Putro, S.P. 2022. Assessment of Water Quality Using Macrobenthos as Bioindicator and Its Application on ABC Curves. *International Journal of Science and Engineering*, Vol.8(2): 84–87. <https://doi.org/10.12777/ijse.8.2.84-87>.
- [15] Bangun, V.V., Barus, A.T., & Harahap, H. 2025. Pengaruh Aktivitas Keramba Jaring Apung Terhadap Daya Tampung Beban Pencemar Total Fosfor. *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, Vol.14(2): 108–128. <https://doi.org/10.21009/jgg.142.02>.

- [16] Marsela, K., Sumiarsa, D., & Kurnadie, D. 2023. Determination of trophic status and carrying capacity of floating net cages in Jatigede Reservoir. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, Vol. 22 (2): 147–155. <https://doi.org/10.19027/jai.22.2.147-155>.
- [17] Latuconsina, H. 2019. *Ekologi Perairan Tropis: prinsip dasar pengelolaan sumber daya hayati perairan*. UGM Press. Yogyakarta.
- [18] Effendi, H. 2024. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Perairan – Edisi Revisi*. PT Kanisius. Yogyakarta.
- [19] Batubara, Y., Puraba, P.A.A., Sinabariba, D.P.O., Sari, C.S.B.M., Supiani, M., & Aibekob, G.P. 2024. Gastropods are Faced with Potential Environmental Hazards in Kuala Langsa, Aceh. *Jurnal Biologi Tropis*, Vol.24(2): 375–381. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6910>.
- [20] Siringoringo, W.A., Gumilar, I., Nurhayati, A., dan Suryana, A.A.H. 2023. Productivity Analysis of Fish Farming in Floating Net Cages in Lake Toba (Case Study in Pangururan Subdistrict, Samosir District, Indonesia). *Asian J. Fish. Aqu. Res.*, vol. 21(5): 40-48. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2023/v21i5554>.
- [21] Nurdin, J., Irawan, D., Syandri, H., Nofrita., Rizaldi., & Raynaldo, A. 2020. Phytoplankton Inventory and Diversity in Floating-Net-Cages Area of Lake Maninjau, West Sumatra. *International Journal of Scientific Research and Management*, Vol.8(4): 53-61.
- [22] Odum, E.P. 1994. *Dasar-Dasar Ekologi* (3rd ed., diterjemahkan oleh Tjahjono Samingan). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [23] Putri, Y., Kurniawan, A., & Kurniawan, A. 2023. Komunitas Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan untuk Budidaya Ikan di Aliran Sungai Air Duren, Kabupaten Bangka. *Jurusan Akuakultur*, Vol.8(2): 77–85. <https://doi.org/10.33019/joaa.v8i2.4596>.
- [24] Isdianto, A., Kurniawan, A., Wicaksono, A.D., Taufik, M.Z., Putri, B.M., Fathah, A.L., Setyanto, A., Luthfi, O.M., Pratiwi, D.C., & Harahab, N. 2023. Assessment of Community Structure of Macroinvertebrates, Coral Cover and Water Quality in Sempu Strait, Malang Regency, East Java. *Journal of Ecological Engineering*, Vol.24(12): 99–111. <https://doi.org/10.12911/22998993/172353>.
- [25] Yazdian, H., Jaafarzadeh, N., & Zahraie, B. 2014. Relationship between benthic macroinvertebrate bio-indices and physicochemical parameters of water: A tool for water resources managers. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, Vol.12(30): 1–9. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-30>.
- [26] Sudarsono., Ratnawati., Budiwati., & Latifa, A. 2024. Perbandingan Spasio-Temporal Keseimbangan Lingkungan Plankton di Embung Daerah Bantul Yogyakarta. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, Vol.23(1): 1–25. <https://doi.org/10.55981/beritabiologi.2024.390>.

- [27] Kwakye, M.O., Peng, F.J., Hogarth, J.N., & Van den Brink, P.J. 2021. Linking Macroinvertebrates and Physicochemical Parameters for Water Quality Assessment in the Lower Basin of the Volta River in Ghana. *Environmental Management*, Vol.68(6): 928–936.
<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01535-1>.