

Macrozoobenthos Community Structure as a Bioindicator for Waters in Sungai Kakap Village, Kubu Raya

Etha Marista^{1*}, Adityo Raynaldo¹, Sofi Siti Shofiyah², Zan Zibar³, Robin Saputra³, Riza Linda⁴

¹Program Studi Biologi, Fakultas IPA dan Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Indonesia;

²Program Studi Kimia, Fakultas IPA dan Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Indonesia;

³Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas IPA dan Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Indonesia;

⁴Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia;

Article History

Received : September 13th, 2025

Revised : October 18th, 2025

Accepted : October 23th, 2025

*Corresponding Author: **Etha Marista**, Program Studi Biologi, Fakultas IPA dan Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Indonesia;
Email: ethamarista@oso.ac.id

Abstract: Coastal waters are vital for aquatic life and human activities, yet their quality is highly susceptible to environmental pressures. Because macrozoobenthos are sensitive to environmental changes and have limited mobility, they are frequently utilized as bioindicators. This study aims to examine the structure of the macrozoobenthos community in the waters of Sungai Kakap Village, Kubu Raya Regency, and its relationship with environmental parameters. Samples were collected at five stations using purposive sampling with line transects and quadrants, then analyzed for density, diversity (H'), evenness (E), and dominance (C). A total of 14 species were found with distinct dominant patterns across stations, notably the high dominance of *Neritina violacea*, *Corbicula fluminea*, and *Corbicula fluvialis* at Stations I, III, and V, respectively. Community structure analysis showed low diversity (H': 0.33–0.65) and high dominance (C: up to 0.84), suggesting a community structure dominated by a few species, leading to relatively low stability. Environmental parameters—temperature (30.1–31.7°C), salinity (0.50–3.00‰), pH (5.45–7.58), and DO (3.77–7.51 mg/L)—were found to influence species distribution. These results confirm that macrozoobenthos is an effective bioindicator for water quality assessment in the Sungai Kakap area. The low community stability implies a need for consistent monitoring to prevent further degradation. Future research should focus on the impact of specific pollutants on these dominant species to support informed mangrove ecosystem management.

Keywords: Bioindicators, community structure, macrozoobenthos, Sungai Kakap Village.

Pendahuluan

Perairan salah satu ekosistem penting yang memiliki peran besar dalam mendukung kehidupan manusia maupun organisme akuatik, menyediakan sumber daya perikanan, sarana transportasi, serta menunjang aktivitas ekonomi masyarakat sekitar (Salayan *et al.*, 2024). Namun, meningkatnya aktivitas manusia seperti pemukiman, pertanian, perikanan budidaya, dan kegiatan industri di wilayah pesisir memberikan tekanan signifikan terhadap kualitas perairan.

Perubahan kualitas ini berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem, khususnya komunitas biota akuatik yang hidup di dalamnya (Asy'ari *et al.*, 2023). Untuk mengevaluasi dampak lingkungan ini secara efektif, diperlukan alat ukur biologis yang andal.

Salah satu komponen biota yang dapat digunakan untuk menilai kualitas perairan adalah makrozoobenthos (Nangin *et al.*, 2015). Makrozoobenthos adalah organisme dasar perairan berukuran relatif besar yang dicirikan oleh daya gerak terbatas dan sensitivitas tinggi

terhadap perubahan kondisi lingkungan (Saru, 2019; Bima *et al.*, 2022). Oleh karena sifat-sifat ini, struktur komunitas makrozoobenthos—mencakup keanekaragaman, kelimpahan, dan dominansinya—secara luas dijadikan bioindikator untuk memantau tingkat pencemaran dan status ekologis suatu perairan (Wahyuni *et al.*, 2017). Pemilihan bioindikator ini menjadi krusial dalam memahami kesehatan ekosistem pesisir.

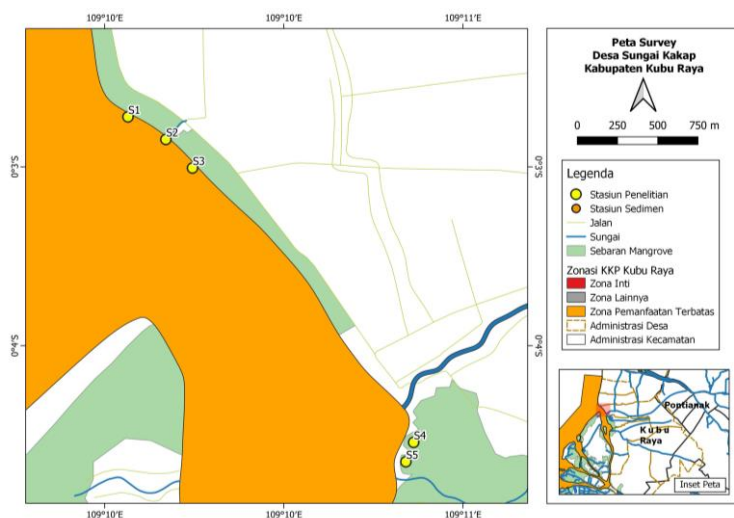
Beberapa penelitian terkait makrozoobenthos di Kalimantan Barat telah dilakukan, seperti di kawasan Sungai Kakap yang mengidentifikasi empat jenis Gastropoda (Rosario *et al.*, 2019), serta studi di Pulau Kabung dan Pantai Gosong yang menemukan berbagai kelas seperti *Bivalvia* dan *Polychaeta* (Pramika *et al.*, 2021; Siahaan *et al.*, 2021). Walaupun studi-studi tersebut telah memberikan gambaran tentang kehadiran jenis-jenis tertentu, namun belum ada kajian mutakhir yang secara spesifik menganalisis struktur komunitas makrozoobenthos secara menyeluruh dan mengaitkannya dengan parameter lingkungan sebagai bioindikator kualitas perairan di Desa Sungai Kakap. Kesenjangan ini penting diisi mengingat tingginya intensitas aktivitas perikanan, pertanian, dan pemukiman di kawasan tersebut yang diperkirakan berpotensi meningkatkan beban polusi perairan.

Kawasan Desa Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, merupakan daerah estuari dengan aktivitas pesisir yang padat. Tingginya intensitas aktivitas ini diduga telah memengaruhi kondisi perairan, baik secara fisik, kimia, maupun biologi. Oleh karena itu, penelitian mengenai struktur komunitas makrozoobenthos di kawasan ini penting dan mendesak untuk dilakukan untuk memperoleh gambaran aktual mengenai kualitas ekosistem perairan setempat. Dengan menganalisis keanekaragaman, kelimpahan, dan dominansi spesies, penelitian ini bertujuan untuk menilai status ekologis perairan Desa Sungai Kakap dan memberikan informasi ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar dalam upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan perairan serta ekosistem mangrove di wilayah tersebut.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 8 sampai 9 Juli 2023 di perairan kawasan Desa Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Identifikasi jenis makrozoobenthos dilakukan di Laboratorium Sains Dasar IPA dan Kelautan Universitas OSO. Lokasi pengambilan sampel penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (Sungai Kakap)

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif-eksploratif dengan pendekatan survei. Metode ini dipilih untuk menggambarkan

(deskriptif) struktur komunitas makrozoobenthos secara faktual dan menelusuri (eksploratif) hubungan antara struktur komunitas tersebut

dengan parameter fisika-kimia lingkungan di lokasi penelitian.

Variabel Utama adalah struktur komunitas makrozoobenthos, yang diukur melalui Kepadatan, Kepadatan Relatif, Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Keseragaman (E), dan Indeks Dominansi (C). Variabel Pendukung (parameter lingkungan) meliputi Suhu, Salinitas, Derajat Keasaman (pH), dan Oksigen Terlarut (DO).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian di lapangan terdiri dari transek kuadran, GPS (*Global Positioning System*), WQC (*Water Quality Checker*), Coolbox, sekop, timbangan digital, nampan/wadah, pinset, ayakan sedimen, oven, kamera digital, dan alat tulis. Bahan-bahan yang dipakai yaitu plastik sampel, etanol 96%, akuades, larutan untuk titrasi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*).

Prosedur penelitian

Penentuan stasiun penelitian dan pengambilan sampel

Populasi penelitian adalah seluruh organisme makrozoobenthos yang hidup di substrat perairan Desa Sungai Kakap, Kubu Raya. Pengambilan sampel dilakukan di lima stasiun penelitian. Penentuan stasiun menggunakan metode *Purposive Sampling*, yang dipilih berdasarkan perbedaan rona lingkungan, terutama variasi kerapatan vegetasi mangrove. Tujuannya adalah untuk memastikan sampel mewakili keragaman kondisi habitat di sepanjang kawasan penelitian.

Setiap stasiun, pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik dengan jarak antar titik m ke arah darat. Pengambilan sampel makrozoobenthos di ekosistem mangrove menggunakan metode *Line Transect* (Rachman *et al.*, 2020) berukuran m, dengan tiga plot (m) yang ditempatkan di sepanjang transek. Makrozoobenthos diambil menggunakan transek kuadran (m) yang diletakkan di setiap sudut dan tengah plot. Sampel substrat diambil dengan sekop sedalam cm, disaring dengan ayakan sedimen, dan spesimen yang ditemukan diawetkan dengan

Pengukuran parameter lingkungan

Secara bersamaan (*in situ*), parameter fisika-kimia lingkungan (Suhu, Salinitas, pH, dan DO) diukur menggunakan di setiap stasiun

penelitian untuk mengetahui kondisi habitat saat pengambilan sampel.

Identifikasi Makrozoobenthos

Spesimen dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi hingga tingkat taksonomi (spesies/genus) menggunakan kunci identifikasi baku seperti dari Carpenter & Niem (1998), Abbot & Dance (1982), dan Ramakrishna & Dey (2007).

Analisis data

Data dianalisis dengan menghitung kepadatan, kepadatan relatif, indeks keanekaragaman (H'), indeks keseragaman (E), dan indeks dominansi (C), serta parameter fisika kimia lingkungan.

Kepadatan makrozoobentos dianalisis menggunakan rumus (Sidik *et al.*, 2016) pada persamaan 1.

$$K = \frac{\sum Ni}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

K : Kepadatan makrozoobentos (ind/m²)
Ni : Jumlah individu yang ditemukan (Ind)
A : Luas Area

Kepadatan relatif (Kr) dihitung menggunakan rumus Shannon-Wiener (Odum, 1996) pada persamaan 2.

$$Kr = \frac{Ni}{N} \quad (2)$$

Keterangan:

Kr : Kepadatan relatif (%)
Ni : Jumlah individu yang ditemukan (Ind)
N : Jumlah individu seluruh jenis (ind)

Indeks keanekaragaman dihitung menggunakan rumus (Odum, 1996) pada persamaan 3.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (3)$$

Keterangan:

H' : Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener
S : Jumlah spesies
 p_i : n_i/N
 n_i : Jumlah individu spesies i
N : Jumlah total individu

Hubungan indeks keanekaragaman Shannon-wiennner dengan kisaran tingkat stabilitas perairan yaitu:

- $H' > 3$: Kondisi komunitas biota stabil
 $1 < H' < 3$: Kondisi komunitas biota sedang
 $H' < 1$: Kondisi komunitas biota tidak stabil

Indeks keseragaman dihitung dengan rumus (Sidik *et al.*, 2016) pada persamaan 4.

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

E : Indeks keseragaman
 H' : Indeks keanekaragaman
S : Jumlah spesies

Nilai indeks keseragaman berkisar antara 0-1. Bila indeks tersebut mendekati 0 maka keseragaman antar spesies di dalam komunitas fitoplankton rendah dan apabila mendekati 1 maka keseragaman antar spesies di dalam komunitas relatif merata artinya penyebaran tiap spesies cenderung merata.

Indeks dominansi dihitung dengan rumus Simpson (Sidik *et al.*, 2016) pada persamaan 5.

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad (5)$$

Keterangan:

C = Indeks dominansi simpson
 n_i =Jumlah individu spesies I (Ind/L)
N =Jumlah total makrozoobentos tiap pengambilan sampel (Ind/L)

Nilai indeks dominansi berkisar antara 0-1. Nilai yang mendekati 0 menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang dominan dalam komunitas. Sebaliknya jika indeks dominansi mendekati 1 menunjukkan bahwa ada spesies yang dominan.

Hasil dan Pembahasan

Komposisi dan Kepadatan Makrozoobenthos

Komunitas makrozoobenthos yang ditemukan di perairan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, sangat bervariasi, terdiri dari **14 spesies** yang tergolong dalam kelas **Gastropoda, Bivalvia, dan Crustacea**. Spesies yang teridentifikasi mencakup *Neritina violacea*, *N. cornucopia*, *Varuna litterata*, *Somaniathelphusa sinensis*, *Cerithidea obtusa*, *Cerithidea sp.*, *Brotia testudinaria*, *Mytilus edulis*, *Uca rosea*, *Corbicula fluminea*, *C. fluvialis*, *Corbicula sp.*, *Litopenaeus vannamei*, dan *Parathelphusa sp.* Distribusi dan kepadatan spesies-spesies ini menunjukkan pola yang tidak merata di seluruh stasiun penelitian. Rincian data kepadatan dan kepadatan relatif makrozoobenthos dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kepadatan jenis dan kepadatan relatif makrozoobentos di Kawasan Sungai Kakap Kabupaten Kuburaya

Spesies	Kepadatan jenis					Kepadatan Relatif (%)				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
<i>Neritina violacea</i>	23	2	11	5	20	92	16,67	7,10	29,41	20
<i>N. cornucopia</i>	1	2	45	4	23	4	16,67	29,03	23,53	23
<i>Varuna litterata</i>	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0
<i>Somaniathelphusa sinensis</i>	0	4	0	0	1	0	33,33	0	0	1
<i>Cerithidea sp.</i>	0	3	24	0	0	0	25	15,48	0	0
<i>C. obtusa</i>	0	0	12	0	1	0	0	7,74	0	1
<i>Brotia testudinaria</i>	0	0	2	5	1	0	0	1,29	29,41	1
<i>Mytilus edulis</i>	0	0	2	0	0	0	0	1,29	-	0
<i>Uca rosea</i>	0	0	0	3	0	0	0	-	17,65%	0
<i>Corbicula fluminea</i>	0	0	57	0	0	0	0	36,77	0	0
<i>C. fluvialis</i>	0	0	0	0	48	0	0	0	0	48
<i>Corbicula sp.</i>	0	0	2	0	6	0	0	1,29	0	6
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0	1	0	0	0	0	8,33	0	0	0
<i>Parathelphusa sp.</i>		0	0	4	0	0	0	0	23,53	0,00
Σ	25	12	155	21	100					

Hasil analisis menunjukkan adanya dominansi spesies yang sangat mencolok di beberapa stasiun. Spesies memiliki kepadatan tertinggi secara keseluruhan di Stasiun III dengan individu (*Corbicula fluminea*) dan mendominasi di Stasiun V dengan individu (*Corbicula fluvialis*). Sementara itu, sangat dominan di Stasiun I (*Neritina violacea*). Dominansi ini diperkuat oleh temuan spesies lain seperti *Varuna literata*, *Mytilus edulis*, dan *Litopenaeus vannamei* yang ditemukan dalam jumlah sangat sedikit, menunjukkan adaptasi yang buruk atau preferensi habitat yang berbeda.

Dominansi oleh genus dan menunjukkan bahwa spesies-spesies tersebut memiliki toleransi ekologis yang luas (*eurytopic*) terhadap kondisi lingkungan di estuari Sungai Kakap (Alhassan *et al.*, 2021). Kelompok *Corbicula* dikenal sebagai bivalvia yang mampu bertahan pada kondisi stres lingkungan, termasuk fluktuasi salinitas dan potensi oksigen terlarut yang rendah, yang merupakan karakteristik perairan estuari yang terpengaruh masukan daratan. Sebaliknya, rendahnya kelimpahan spesies lain seperti *Mytilus edulis* dapat dihubungkan dengan batas toleransi salinitas yang lebih sempit, karena *Mytilus* umumnya merupakan spesies laut. Perbedaan mencolok ini menciptakan struktur komunitas yang tidak seimbang. Implikasinya, kepadatan yang tinggi dari spesies tertentu ini bisa menjadi indikasi adanya tekanan lingkungan yang hanya mampu ditoleransi oleh spesies-spesies yang tangguh (Pramita *et al.*, 2020).

Indeks Ekologi Komunitas

Analisis indeks ekologi dilakukan untuk memahami kondisi ekosistem perairan Sungai Kakap, khususnya keanekaragaman, dominansi, dan keseragaman di lima stasiun. Hasil analisis indeks ekologi makrozoobenthos di perairan Sungai Kakap disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Indeks Keanekaragaman (H'), Keseragaman (E), dan Dominansi (D) Makrozoobenthos

Stasiun	H'	E	C
I	0,33	0,84	0,84
II	0,59	0,37	0,23
III	0,54	0,26	0,25
IV	0,65	0,40	0,20
V	0,65	0,33	0,32

Nilai keanekaragaman (H'), yang berkisar antara 0,33-0,65, tergolong sangat rendah. Berdasarkan kriteria Odum (1996), nilai ini mengindikasikan bahwa kondisi komunitas biota makrozoobenthos di Sungai Kakap berada dalam kondisi tidak stabil dan dicirikan oleh adanya tekanan lingkungan. Keanekaragaman yang rendah ini sejalan dengan nilai dominansi (D) yang tinggi, terutama di Stasiun I (0,84), yang secara langsung didominasi oleh (lihat Tabel 1). Stasiun I menunjukkan stabilitas terendah karena hampir seluruh populasi diwakili oleh satu spesies.

Nilai keseragaman (E) yang bervariasi antara 0,26 hingga 0,84 lebih jauh menegaskan bahwa distribusi individu antar spesies tidak merata. Keseragaman terendah (Stasiun III: 0,26) dan tertinggi (Stasiun I: 0,84) menunjukkan dinamika yang kontras: meskipun Stasiun I sangat didominasi oleh satu spesies, spesies yang ada memiliki jumlah yang sangat besar, menciptakan pemerataan tinggi di antara sedikit jenis. Sebaliknya, Stasiun III memiliki banyak jenis tetapi didominasi kuat oleh *Corbicula fluminea*.

Secara umum, struktur komunitas ini mencerminkan lingkungan yang mengalami gangguan atau stres kronis (Wijayanti *et al.*, 2025). Kondisi ini berbeda dengan temuan di perairan yang lebih stabil, yang umumnya memiliki nilai tinggi (1), seperti penelitian ekosistem serupa di Kalimantan Barat yang menunjukkan sedang (Putra *et al.*, 2022). Implikasi dari dominansi dan keanekaragaman rendah ini adalah rendahnya ketahanan ekosistem terhadap perubahan, menjadikan makrozoobenthos di sini sebagai bioindikator sensitif terhadap perubahan kualitas perairan.

Kualitas lingkungan perairan dan hubungannya

Parameter lingkungan fisika-kimia berperan penting dalam mengontrol struktur dan sebaran makrozoobenthos. Hasil pengukuran parameter lingkungan (Tabel 3) menunjukkan kisaran suhu 30,1-31,7°C, salinitas 0,50-3,00 ‰, pH 5,45 – 7,58 dan DO 3,77-7,51 mg/L. Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi parameter lingkungan yang signifikan antar stasiun. Salinitas berkisar 0,50-3,00 ‰ dan nilai DO berkisar 3,77-7,51 mg/L. Kedua parameter ini,

bersama dengan (suhu dan pH), sangat memengaruhi distribusi spesies benthik.

Tabel 3. Kualitas Lingkungan di Lokasi Penelitian

Parameter	Stasiun Penelitian					Rata-rata
	I	II	III	IV	V	
Suhu (°C)	30,1	30,2	31,4	30,7	31,7	30,7
Salinitas (‰)	0,50	1,40	3,00	0,60	1,60	1,37
pH	5,79	6,56	7,45	5,45	7,58	6,3
DO (mg/L)	5,99	5,06	3,77	7,51	4,33	5,58

Fenomena kunci adalah:

1. Dominansi *Corbicula fluminea* ditemukan pada stasiun dengan netral-basa (Stasiun III: 0,25 dan Stasiun V: 0,32) dan salinitas relatif tinggi. Ini menunjukkan preferensi kelompok bivalvia air tawar/payau ini terhadap kondisi lingkungan yang kurang asam.
2. Kepadatan *C. fluminea* yang tinggi di Stasiun III berasosiasi dengan nilai terendah DO (3,77 mg/L), dikenal memiliki adaptasi fisiologis untuk bertahan pada kondisi hipoksia, yang menegaskan kemampuannya sebagai indikator perairan yang tertekan secara organik (Rahmah *et al.*, 2022).
3. Spesies *Neritina violacea* mendominasi Stasiun I yang memiliki suhu terendah (30,1 °C) dan salinitas terendah (0,50‰). Spesies ini tampaknya lebih toleran terhadap lingkungan yang dipengaruhi air daratan (asam dan tawar).

Hasil ini sejalan dengan penelitian Ulfa *et al.* (2018) dan Rahmah *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa salinitas, pH, dan DO adalah faktor utama yang mengendalikan distribusi dan kelimpahan makrozoobenthos di estuari. Variasi parameter ini antar stasiun di Sungai Kakap menjadi pendorong utama munculnya spesies dominan yang toleran (*C. fluminea*, *C. fluvialis*, *Neritina violacea*) dan hilangnya spesies yang kurang toleran, yang pada akhirnya menyebabkan keanekaragaman rendah. Dengan demikian, struktur komunitas makrozoobenthos di Sungai Kakap adalah cerminan langsung dari degradasi atau variasi kualitas air setempat.

Kesimpulan

Penelitian ini menemukan 14 spesies makrozoobenthos di perairan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, dengan dominansi utama oleh *Neritina violacea*, *Corbicula fluminea*, dan *Corbicula fluvialis*. Nilai indeks keanekaragaman yang rendah (0,33–0,65) serta variasi indeks keseragaman (0,26–0,84) menunjukkan bahwa komunitas makrozoobenthos cenderung didominasi oleh spesies tertentu dan distribusinya kurang merata, sehingga kondisi ekosistem relatif kurang stabil. Faktor lingkungan seperti pH (5,45–7,58), salinitas (0,50–3,00‰), dan oksigen terlarut (3,77–7,51 mg/L) terbukti memengaruhi keberadaan dan kelimpahan spesies, di mana *C. fluminea* misalnya mampu bertahan pada DO rendah, sementara kelompok bivalvia lebih dominan pada pH netral hingga basa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur komunitas makrozoobenthos di Sungai Kakap dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan dapat digunakan sebagai bioindikator untuk menilai kualitas ekosistem perairan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas OSO atas dukungan dana melalui Hibah Penelitian Universitas OSO Tahun Anggaran 2023 dengan nomor kontrak 74/UNOSO.4/PL/VII/2023. Selain itu, kami juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kepala Desa Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya yang telah membantu mensupport penelitian ini.

Referensi

- Abbott, R.T., & Dance, S.P. (2000). *Compendium of Seashells: A Full Color Guide to more than 4.200 of the World's Marine Shells*. Australia. Odyssey Publishing.
- Apriadi, T., Muzammil, W., Melani, W. R., & Safitri, A. (2020). Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Aliran Sungai di Senggarang, Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Pesisir dan Perikanan*, 9(1), 119–130.
- Asy'ari, M.F., Zafira, G.H., Jawad, F., &

- Hidayat, R.A. (2023). Implementasi Blue Economy di Indonesia Melalui Coral Triangle Initiative on Coral Reefs, Fisheries, and Food Security (Cti - Cff). *Jurnal Al Azhar Indonesia Seri Ilmu Sosial*, 4(2), 80-90. DOI: 10.36722/jaiss.v4i2.1978
- Bijleveld, A. I., De la Barra, P., & Danielson, H. (2025). SIBES: Long term and large scale monitoring of intertidal macrozoobentos and sediment in the Dutch Wadden Sea. *Scientific Data*, 12(1), 239. DOI:10.1038/s41597-025-04540-9
- Bima, S., Izmiarti, & Nofrita (2022). Bioassessment Kualitas Air Dengan Menggunakan Makrozoobentos Di Sungai Batang Arau, Kota Padang. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 10(2), 70–77. DOI:
- Bismark, M. (2011). *Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk survei keragaman jenis pada kawasan konservasi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
- Carpenter, K.E. & Niem, V.H. (1998). *The living marine resources of the Western Central Pacific Volume 1 : Seaweeds, corals, bivalves and gastropods*. Rome. FAO Species Identification Guide for Fishery purposes.
- Chevalier, S., Beauchard, O., Teaca, A., Begun, T., Vandenbulcke, L., Soetaert, K., & Grégoire, M. (2025). *From benthic functional biodiversity to the mapping of ecosystem functions: a case study over the Black Sea northwestern shelf*. EGU General Assembly 2025.
- Firdaus, M. R., Fitriya, N., Avianto, P., Prayitno, H. B., & Wahyudi, A. J. (2020). Plankton Community in the Western Waters of North-Sumatera During the Onset Monsoon of Asian Winter. *Marine Research in Indonesia*, 45(1), 1–12. DOI: 10.14203/mri.v45i1.565 <https://doi.org/10.25077/jbioua.10.2.70-77.2022>
- Nangin, S.R., Langoy, M.L., & Katili, D.Y. (2015). Makrozoobentos sebagai Indikator Biologis dalam Menentukan Kualitas Air Sungai Suhuyon Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA UNSRAT*, 4(2), 165-168. DOI: 10.35799/jm.4.2.2015.9515
- Odum, E.P. (1996). *Dasar-Dasar Ekologi*. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Pramika, L., Muliadi., & Minsas, S. (2021). Struktur Komunitas Makrozoobentos di Perairan Pulau Kabung Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1), 10-19. DOI: 10.26418/lkuntan.v4i1.44830
- Putra, J.S.T., Kushadiwijayanto, A.A., Nurdiansyah, S.I. (2022). Struktur Komunitas Makrozoobentos (Moluska) di Kawasan Mangrove Kuala Singkawang Kalimantan Barat. *Oseanologia*, 1(2), 41-49. DOI: 10.26418/jose.v1i2.52524
- Rachman., Wardiatno, Y., Yulianda F., Rusmana, I., & Bengen, D.G. (2020). *Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove*. IPB Press. Bogor.
- Rahmah, N, Zulfikar, A., & Apriadi,T. (2022). Kelimpahan Fitoplankton dan Kaitannya dengan Beberapa Parameter Lingkungan Perairan di Estuari Sei Carang, Tanjungpinang. *Jurnal of Marine Research*, 11 (2), 189-200. DOI: 10.14710/jmr.v11i2.32945
- Ramakrishna., & Dey, A. (2007). *Handbook on Indian Freshwater Molluscs*. India. Zoological Survey of India
- Rosario, E.L., Anwari, M.S., Rifanjani, S., & Darwati, H. (2019). Keanekaragaman Jenis Gastropoda di Hutan Mangrove Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(2), 645-654. DOI: 10.26418/jhl.v7i2.32995
- Salayan, L.M., Wulandari H., & Huda, M.K. (2024). Peran Ekosistem Laut dalam Konservasi Keanekaragaman Hayati di Indonesia. *Journal of Natural Sciences*, 5(3), 244-244. DOI: <https://doi.org/10.34007/jonas.v5i3.717>
- Saru, A. (2019). *Potensi Ekologis dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Wilayah Pesisir*. IPB Press. Bogor.
- Siahaan, J.W., Warsidah., & Nurdiansyah, S.I. (2021). Struktur Komunitas Makrozoobentos di Pantai Gosong Kecamatan Sungai Raya Kepulauan Kabupaten Bengkayang Kalimantan

-
- Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(3), 130-138. DOI: 10.26418/lkuntan.v4i3.48095
- Sidik, R.Y., Dewiyanti, I., & Octavina, C. (2016). Struktur Komunitas Makrozoobentos Dibeberapa Muara Sungai Kecamatan Susoh Kabupaten 16 Aceh Barat Daya, *J. Ilmu Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah.*, 1(2), 287–296.
<https://media.neliti.com/media/publications/187509-ID-struktur-komunitas-makrozoobentos-dibebe.pdf>
- Suparno, A.F., Insafitri., Romadhon, A. 2018. Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Kawasan Ekosistem Pesisir Pulau Sepanjang Kabupaten Sumenep. *Jurnal Ilmiah Rekayasa*, 11(1), 53-59.
<https://doi.org/10.21107/rekayasa.v11i1.4125>
- Ulfa, M., Julyantoro, P. G. S., & Sari, A. H. W. (2018). Keterkaitan komunitas makrozoobentos dengan kualitas air dan substrat di ekosistem mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(2), 179-190.
 DOI: 10.24843/jmas.2018.v4.i02.179-190
- Wahyuni, I., Sari, I.J., & Ekanara, B. (2017). Biodiversitas Mollusca (Gastropoda dan Bivalvia) sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Kawasan Pesisir Pulau Tunda, Banten. *Biodidaktika*, 12(2), 45-56.
 DOI: 10.30870/biodidaktika.v12i2.2329
- Wijayanti, L.A.S., Herawati, H., Sahidin, A., Pratama, G.B., Maharani, T.A., Sari, E.D.M., Fortuna, R.I., Alfarez, R., Nugraha, T.A., & Firdaus, M.R. (2025). Makrozoobentos Muara Bojong Salawe: Mengungkap Komposisi Genus dan Hubungannya dengan Ekosistem Perairan. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(2): 152-162.
 DOI: <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v8i2.6968>