

Plankton sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Lapangan Senoro, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah

Kasim Mansyur^{1*}, Musayyadah Tis'in¹, Nana Sutisna², Enrico Putra Nurdin²,
Clara Maulidiansa², Rifki Fahrezi¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Kilometer 9 Tondo, Mantikulore, Palu, Sulawesi Tengah 19119 Indonesia

²Joint Operating Body Pertamina-Medco Tomori (JOB Tomori)
Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah
Email: kasim.mansyur.dive9@gmail.com

Abstrak

Penelitian bertujuan menganalisis komunitas plankton berdasarkan komposisi jenis, kelimpahan, dan indeks ekologi serta hubungannya dengan parameter kualitas air guna menilai status ekologis perairan Lapangan Senoro. Pengambilan sampel dilakukan pada Bulan Februari hingga April 2024 di tiga lokasi yang merepresentasikan lokasi pembuangan limbah aktivitas perusahaan dengan kategori berbeda yaitu limbah industri berbasis minyak, limbah domestik organik, dan limbah anorganik. Sampel plankton di koleksi dengan penyaringan 100 liter air laut menggunakan *plankton net mesh size 25 µm*, kemudian diidentifikasi di laboratorium dan dianalisis indeks ekologinya. Parameter kualitas air diukur secara *in situ* dan dianalisis untuk melihat keterkaitannya dengan struktur komunitas. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan lima kelas fitoplankton dan 7 kelas zooplankton. Jumlah spesies terbanyak untuk kelompok fitoplankton adalah kelas Bacillariophyceae (9 spesies), sementara jumlah zooplankton terbanyak berasal dari kelas Copepoda (4 spesies). Kelimpahan tertinggi diperoleh pada spesies *Leptocylindricus* sp. (kelas Bacillariophyceae) dan *Temora* sp. (kelas Copepoda). Temuan ini mengindikasikan kelas Bacillariophyceae dan Copepoda berperan sangat penting pada perairan lokasi penelitian dan merupakan komponen kunci yang sensitif terhadap perubahan kualitas perairan. Nilai indeks ekologi menunjukkan keanekaragaman plankton dalam rentang penilaian sedang, mencerminkan kondisi lingkungan perairan tidak sedang mengalami tekanan ekologi yang besar. Komunitas plankton yang seimbang dan tidak didominasi satu spesies mengindikasikan kualitas perairan masih berada dalam kondisi yang belum mengalami gangguan signifikan akibat aktivitas pembuangan limbah.

Kata kunci: Komposisi jenis plankton, Indeks ekologi plankton, Kelimpahan plankton, Lapangan Senoro

Abstract

Plankton as Bioindicators of Water Quality in Senoro Field, Banggai Regency, Central Sulawesi Province

The study aimed to analyze the plankton community based on species composition, abundance, and ecological indices, as well as their relationship with water quality parameters to assess the ecological status of the Senoro Field waters. Sampling was conducted at three locations representing different categories of company waste disposal sites, namely oil-based industrial waste, organic domestic waste, and inorganic waste. Plankton samples were collected using a 25 µm mesh plankton net and then identified in the laboratory. Water quality parameters were measured in situ and analyzed to determine their relationship with community structure. The results showed the presence of five classes of phytoplankton and seven classes of zooplankton. The most abundant species in the phytoplankton group was the Bacillariophyceae class (9 species), while the most abundant zooplankton species was from the Copepoda class (4 species). The highest abundance was found in the species Leptocylindricus sp. (Bacillariophyceae class) and Temora sp. (Copepoda class). These findings indicate that the Bacillariophyceae and Copepoda classes play a very important role in the waters of the study site and are key components that are sensitive to changes in water quality. The ecological index value shows that plankton diversity is in the moderate range, reflecting that the aquatic environment is not under significant

ecological pressure. A balanced plankton community that is not dominated by a single species indicates that water quality has not yet been significantly disrupted by waste disposal activities.

Keywords: *Plankton composition, Plankton ecological index, Plankton abundance, Lapangan Senoro*

PENDAHULUAN

Plankton merupakan organisme mikroskopis di lingkungan perairan yang melayang di atau dekat permukaan perairan dan mengandalkan arus untuk bergerak (Pachiappan *et al.*, 2019). Plankton yang mencakup fitoplankton dan zooplankton memiliki peran yang krusial dalam ekosistem perairan termasuk ekosistem laut, dengan fungsi sebagai produsen primer dan sekunder dalam struktur trofik. Fitoplankton merupakan produsen utama yang mendorong fotosintesis dan produksi oksigen (Pereira, 2025), berkontribusi sekitar 50% dari produksi primer global (Field *et al.* 1998).

Fitoplankton membentuk dasar jaring makanan di perairan, sementara zooplankton berperan sebagai konsumen utama sehingga mereka berkontribusi secara signifikan terhadap kesehatan ekosistem, siklus biogeokimia (Pereira, 2025) dan perikanan laut (Loschi *et al.*, 2023). Secara umum, produktivitas plankton menentukan aliran energi ke tingkat trofik yang lebih tinggi sehingga berperan penting dalam ekosistem laut (Zeldis dan Decima, 2020). Hal ini juga berlaku di perairan Indonesia seperti di Teluk Banten (Sugiarti *et al.*, 2024) dan Teluk Jakarta terutama diatom (Wijayanti *et al.*, 2025). Komunitas plankton merupakan dasar bagi jaring makanan laut, yang secara signifikan mempengaruhi dinamika ekosistem maka tingkat pergantian mereka menjadikan plankton sebagai indikator lingkungan untuk memantau kesehatan dan fungsi ekosistem (Loschi *et al.*, 2023).

Data dan informasi mengenai kondisi plankton yang mencakup kelimpahan dan indeks ekologi dapat menjadi acuan untuk menggambarkan kualitas lingkungan suatu perairan. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Sahoo *et al.* (2024) bahwa fitoplankton merespon perubahan lingkungan dengan cepat, sehingga dapat menjadi bioindikator untuk kualitas air. Lebih lanjut Dutkiewicz *et al.* (2019) menambahkan bahwa plankton (fitoplankton dan zooplankton) terdistribusi secara vertikal dan horizontal di perairan laut serta memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan lingkungan sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bioindikator lingkungan perairan. Peneliti lainnya

menyimpulkan bahwa kelimpahan dan keanekaragaman plankton yang tinggi mengindikasikan bahwa kualitas perairan relatif baik, dan sebaliknya jika parameter tersebut rendah, dapat diartikan bahwa lingkungan dalam kondisi tercemar (Guo *et al.*, 2019). Fitoplankton golongan diatom, dinoflagellate, cyanophyta dan chlorophyta umumnya mendominasi di perairan yang subur, sementara kelompok zooplankton didominasi oleh copepoda (Elomari, 2022), rotifera, protozoa dan krustase (Fitriani *et al.*, 2023). Sedangkan kelompok fitoplankton seperti cyanobacteria dapat tumbuh subur di lingkungan yang mengalami gangguan kesuburan karena eutrofikasi (Mieszkowski, 2023).

Lokasi penelitian yang dipilih adalah perairan Lapangan Senoro, Blok Senoro-Toili yang merupakan Wilayah Kuasa Pertambangan (WKP) yang dioperasikan oleh JOB Pertamina-Medco E&P Tomori Sulawesi (JOB Tomori). Kawasan ini merupakan lapangan gas bumi yang terletak di daratan (*on shore*) seluas 188 km² yang secara administratif terletak di dua kecamatan yaitu Kecamatan Batui Selatan dan Kecamatan Moiling, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah.

Secara umum, perairan Lapangan Senoro tidak lepas dari aktivitas antropogenik seperti industri, perikanan dan pemanfaatan pesisir berpotensi memengaruhi kondisi perairan. Selain itu, pembuangan air limbah tertentu dari aktivitas perusahaan ke lingkungan perairan laut menimbulkan kekhawatiran terhadap potensi penurunan kualitas air secara signifikan, walaupun air limbah tersebut telah melalui proses pengolahan terlebih dahulu sebelum di lepaskan ke lingkungan perairan laut. Air limbah perusahaan yang dimaksud berupa limbah industri berbasis minyak, air limbah domestik dan saniter (organik dan anorganik), air limbah drainase, dan air limbah sisa proses *reverse osmosis* yang bersifat anorganik. Hal ini berpotensi memengaruhi keseimbangan ekosistem perairan laut secara keseluruhan, di antaranya dapat menyebabkan toksisitas langsung terhadap plankton, eutrofikasi, dan ketidakseimbangan tekanan osmotik dan perubahan komposisi ionik. Namun hingga saat ini, belum ada penelitian yang mengaitkan kualitas air

dengan struktur komunitas plankton sebagai bioindikator untuk menilai status ekologis perairan pada lokasi penelitian. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini difokuskan pada analisis struktur komunitas fitoplankton dan zooplankton serta memberi penilaian status ekologis perairan Lapangan Senoro, dengan mengaitkan dengan parameter kualitas air (fisika, kimia dan biologi). Data dan informasi ilmiah yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam memperperkuat pemahaman peran plankton sebagai bioindikator kualitas perairan sekaligus sebagai bahan pertimbangan dalam penetapan kebijakan pengelolaan wilayah pesisir terutama terkait mitigasi pencemaran dan upaya pelestarian ekosistem laut di kawasan Lapangan Senoro.

MATERI DAN METODE

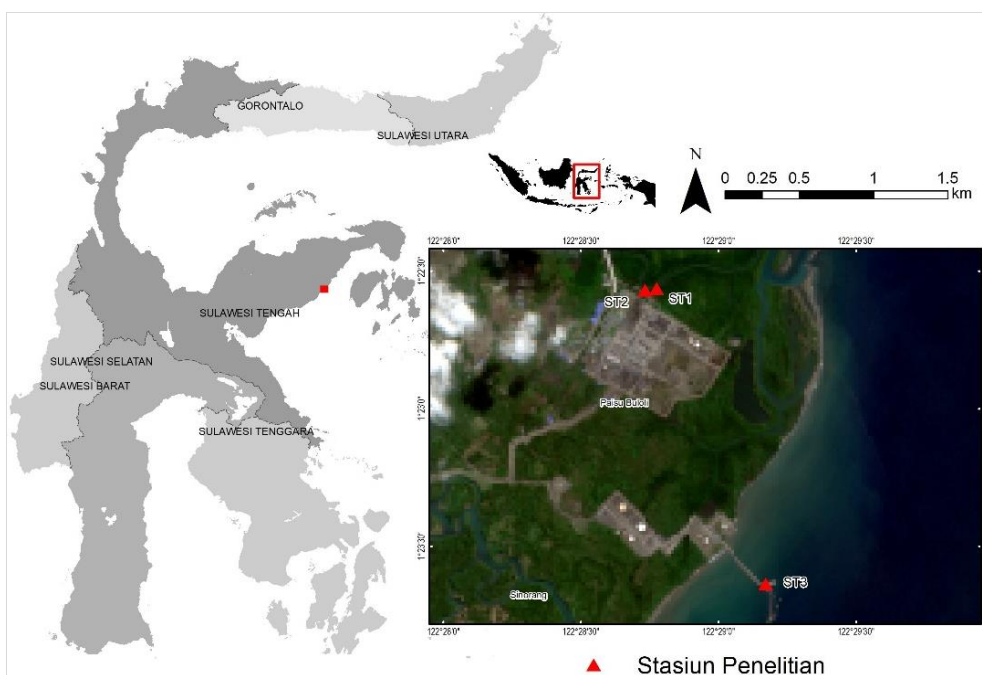
Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Februari hingga April 2024 di perairan Lapangan Senoro, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Gambar 1). Sampling dilakukan pada

Bulan Februari 2024, merupakan periode musim hujan sekaligus awal transisi sehingga dapat memberikan gambaran kondisi tekanan lingkungan paling sensitif namun masih stabil secara fisik. Pertimbangan lainnya adalah kondisi oseanografi pada bulan ini relatif stabil dan aman secara operasional di dibandingkan puncak hujan pada Bulan Januari, sehingga mendukung pelaksanaan sampling lapangan secara representatif. Pemilihan lokasi mempertimbangkan variasi sumber limbah dan beban yang masuk ke lingkungan perairan laut dengan asumsi bahwa variasi stresor lingkungan akan bermanifestasi dalam struktur komunitas plankton. Koordinat lokasi tiap stasiun pemantauan tertera pada Tabel 1.

Stasiun 1 merepresentasikan lokasi perairan laut yang menjadi pembuangan air limbah drainase yang terdapat di fasilitas produksi gas Lapangan Senoro (CPP/*Central Processing Plant*) dan Jetty Senoro. Air limbah drainase merupakan air limbah dari saluran drainase dari area pemrosesan gas di fasilitas CPP Senoro. Kegiatan produksi, perawatan dan pemeliharaan peralatan dari area

Tabel 1. Lokasi Pemantauan Plankton di Lapangan Senoro

Stasiun	Nama Lokasi	Koordinat	
		LS	BT
ST-1	<i>Outfall, Drainase Oily Water CPP</i>	01° 22' 33.90"	122° 28' 46.50"
ST-2	<i>Outfall, IPAL Domestik & Saniter CPP</i>	01° 22' 34.20"	122° 28' 44.00"
ST-3	<i>Outfall, Reject Water RO</i>	01° 23' 38.20"	122° 29' 10.30"



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Lapangan Senoro

proses CPP dapat menghasilkan cecceran minyak/oil yang berpotensi bergabung dalam saluran drainase bersama air hujan. Saluran drainase dari area proses CPP berupa saluran terbuka yang kemudian dialirkan ke *Corrugated Plate Interceptor* (CPI) untuk dipisahkan kembali kandungan *oil*/minyaknya. Air limbah drainase yang sudah bersih dari minyak selanjutnya dialirkan ke *box control* untuk selanjutnya dialirkan ke lingkungan/badan air setelah memenuhi baku mutu lingkungan. Air limbah drainase dari fasilitas pemrosesan di Jetty, merupakan air limpasan hujan yang masuk ke dalam saluran drainase. Air limpasan hujan melalui area tangki penyimpanan gas sehingga berpotensi terkontaminasi dengan minyak. Saluran drainase di area penyimpanan gas Jetty berupa saluran terbuka yang kemudian dialirkan ke *Oil Catcher* untuk proses pemisahan kandungan minyak/oilnya. Jenis limbah ini tergolong pada kategori limbah industri berbasis minyak. Potensi dampak masuknya limbah ini ke perairan dapat berupa penurunan efisiensi fotosintesis fitoplankton, peningkatan COD (*chemical oxygen demand*) dan penurunan kadar oksigen terlarut serta dominasi spesies tahan polutan.

Stasiun 2 merepresentasi wilayah perairan yang menjadi lokasi pembuangan air limbah dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik dan Saniter di CPP (*Central Processing Plant*) Senoro yang berasal dari aktivitas domestik pekerja di fasilitas akomodasi dan kantor, meliputi kegiatan mandi, cuci kakus dan termasuk limbah dari dapur. Air limbah domestik dan saniter dari kegiatan MCK di sarana akomodasi CPP dialirkan ke dalam IPAL domestik dan saniter, sedangkan air limbah domestik dari dapur dan ruang makan dialirkan terlebih dahulu ke *grease trap* untuk memisahkan lemak dan minyak sebelum dialirkan ke dalam IPAL. Saluran pembuangan dan fasilitas-fasilitas MCK pekerja dan dapur dialirkan melalui pipa-pipa dan kemudian bergabung dalam pipa utama menuju fasilitas IPAL. Fasilitas IPAL mengolah limbah cair melalui proses *biological anaerob* dan *aerob* dengan menggunakan media mikroorganisme yang memanfaatkan pengembangbiakan bakteri untuk mengurai limbah. Air limbah domestik dan saniter yang telah diolah menggunakan IPAL, kemudian dialirkan ke dalam bak kontrol untuk selanjutnya dialirkan ke lingkungan/badan air setelah memenuhi baku mutu lingkungan. Limbah ini tergolong limbah cair domestik organik dan

anorganik. Limbah organik berpotensi menyebabkan eutrofikasi selanjutnya berimplikasi pada penurunan oksigen terlarut di perairan.

Stasiun 3 merepresentasikan wilayah perairan laut yang merupakan lokasi pembuangan air limbah *reject water reverse osmosis*. Air limbah ini merupakan air keluaran dari proses pengolahan air tanah menjadi air bersih di CPP Senoro. Air bersih yang digunakan untuk kegiatan produksi dan domestik di CPP Senoro bersumber dari hasil pengolahan air tanah yang berasal dari sumur di area CPP. Untuk memenuhi persyaratan air bersih, maka air tanah tersebut diolah menggunakan *Utility Water Treatment Package* (UWTP). Unit UWTP terdiri dari 3 bagian, yaitu *Flocculation Tank*, *Clarifier*, dan *Reverse Osmosis*. Proses *reverse osmosis* menghasilkan air limbah berupa *reject water* yang kemudian dialirkan lingkungan perairan laut (Selat Peleng) di area Jetty. Limbah *reject water* biasanya memiliki kandungan TDS (*Total Dissolve Solid*) yang tinggi sehingga berpotensi mengganggu keseimbangan osmotik organisme akuatik seperti plankton.

Pengambilan sampel air di lakukan di tiga stasiun penelitian yang representatif. Pengambilan sampel air laut untuk pengukuran kualitas air menggunakan *water sampler* sebanyak tiga kali ulangan setiap stasiun. Pengukuran beberapa parameter fisika kimia seperti suhu, salinitas, pH dilakukan secara *in situ*. Pengambilan sampel uji air laut mengacu pada SNI 6964.8:2015 untuk metode pengambilan contoh uji air laut. Sampel air laut dari lapangan selanjutnya dianalisis di laboratorium terakreditasi KAN (Komite Akreditasi Nasional). Analisis data kualitas air laut mengacu pada Persetujuan Teknis Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah yang Dibuang ke Laut JOB Pertamina-Medco E&P Tomori Sulawesi (Tanggal 18 Oktober 2023), Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan (PPKL), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) No: S.1021/PPKPL/PPKPL/PKL.1/10/2023. Data kualitas air yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara deskriptif.

Pengambilan sampel plankton merujuk pada SNI 13-4717-1998, sedangkan pengujian jenis dan jumlah plankton mengacu pada SNI 06-3963-1995. Sampel plankton dikoleksi dengan metode kuantitatif yaitu dengan cara menyaring sejumlah air laut dengan volume tertentu (100 liter) menggunakan *Plankton net* dengan *mesh size* 25 μm . Sampel hasil pencuplikan selanjutnya

ditampung ke dalam botol sampel volume 100 mL, serta ditambahkan pengawet berupa formalin 4%. Selanjutnya dilakukan pelabelan pada botol sampel. Sampel plankton dianalisis di Laboratorium Perikanan Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Tadulako untuk keperluan identifikasi kelompok fitoplankton sekaligus kelompok zooplankton. Lebih lanjut dilakukan dianalisis kelimpahan (N) dan indeks ekologi masing-masing kelompok plankton.

Kelimpahan plankton yang mencakup fitoplankton dan zooplankton masing-masing dihitung sebagai jumlah sel per liter, merujuk pada persamaan berikut (APHA, 2017):

$$N = \frac{1}{V_d} \times \frac{V_t}{V_s} \times P$$

di mana N adalah kelimpahan plankton (fitoplankton atau zooplankton) (sel/L), V_d adalah volume awal air yang disaring (L), V_t adalah volume air yang disaring (mL), V_s adalah volume air dalam *Sedgwick rafter counting cell* (mL) dan P adalah jumlah individu plankton (fitoplankton atau zooplankton) yang diamati (sel). Perhitungan

indeks ekologi plankton yang meliputi indeks keanekaragaman *Shannon–Wiener* (H'), indeks keseragaman (E), dan indeks dominansi Simpson (D) dilakukan merujuk pada Krebs (1989) dalam *Ecological Methodology*.

Indeks keanekaragaman *Shannon–Wiener* (H') dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H' = \sum p_i \ln p_i$$

di mana p_i adalah proporsi jenis ke- $i = n_i/N$, n_i adalah jumlah tegakan individu jenis dan N adalah jumlah total individu untuk semua jenis.

Sementara indeks keseragaman (E) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{H'}{H'_{maks}}$$

dimana H'_{maks} adalah $\ln S$, H' adalah indeks keanekaragaman dan S adalah Jumlah taksa atau spesies.

Tabel 2. Kriteria Indeks Ekologi/Struktur Komunitas Biota Air

No.	Indeks Keanekaragaman (H')	Kategori
1	$0 < H' < 1,0$	Keanekaragaman Rendah
2	$1,0 < H' < 3,0$	Keanekaragaman Sedang
3	$H' > 3,0$	Keanekaragaman Tinggi
No.	Indeks Keseragaman (E)	Kategori
1	$E < 0,4$	Keseragaman Rendah
2	$0,4 < E < 0,6$	Keseragaman Sedang
3	$E > 0,6$	Keseragaman Tinggi
No.	Indeks Dominansi (D)	Kategori
1	$0,00 < E \leq 0,50$	Dominansi Spesies Rendah (Struktur Komunitas Stabil)
2	$0,50 < E \leq 0,75$	Dominansi Spesies Sedang (Struktur Komunitas Labil)
3	$0,75 < E \leq 1,00$	Dominansi Spesies Tinggi (Struktur Komunitas Tertekan)

Keterangan: Odum (1993).

Tabel 3. Kriteria Tingkat Pencemaran Perairan Berdasarkan Indeks Keanekaragaman *Shannon–Wiener* (H') Biota Perairan

Indeks Keanekaragaman (H')	Kategori Tingkat Pencemaran Perairan
$0 < H' < 1,0$	Perairan Tercemar Berat
$1,0 < H' < 1,5$	Perairan Tercemar Sedang
$1,6 < H' < 2,0$	Perairan Tercemar Ringan
$H' > 2,0$	Perairan Tidak Tercemar

Keterangan: Lee *et al.* (1978).

Indeks Dominansi Simpson (D) dihitung untuk mengetahui sejauh mana suatu taksa mendominasi kelompok lain. Semakin besar nilai indeks dominansi (mendekati 1), maka semakin besar pula adanya spesies tertentu yang mendominasi. Nilai indeks dominansi di peroleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{1}{\sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2}$$

di mana D adalah indeks dominansi (Simpson), N adalah jumlah total individu untuk seluruh jenis, Ni adalah jumlah individu jenis ke-i.

Kriteria indeks ekologi biota air secara umum dan kriteria tingkat pencemaran perairan berdasarkan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H') tertera pada Tabel 2 dan Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fitoplankton yang ditemukan di lokasi penelitian terdiri dari 5 kelas (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Dinophyceae, Mediophyceae, dan Zygnematophyceae) (Gambar 2). Fitoplankton kelas Bacillariophyceae mendominasi kekayaan jenis, terdiri dari 9 spesies (*Amphora* sp.; *Bacillaria* sp.; *Chaetocerus* sp.; *Fragilaria* sp.; *Leptocylindricus* sp.; *Pleurosigma* sp.; *Rhizosolenia* sp.; *Rhopalodia* sp.; dan *Thalassionema* sp.). Kelas Dinophyceae terdiri dari 4 spesies (*Ceretium furca*; *Ceretium fusus*; *Dinophysis* sp.; *Prorocentrum* sp.). Kelas Mediophyceae terdiri dari 2 species (*Biddulphia* sp.; dan *Lauderia* sp.). Adapun kelas Coscinodiscophyceae dan Zygnematophyceae masing-masing terdiri dari 1 spesies (*Coscinodiscus* sp.; dan *Cosmarium* sp.).

Kelimpahan kelompok fitoplankton kelas Bacillariophyceae menempati urutan tertinggi. Temuan ini serupa dengan temuan kami sebelumnya di Perairan Gosong Tiaka, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah (Mansyur *et al.*, 2024), bahkan hingga 99,6% pada hasil temuan Rozirwan *et al.* (2021). Kelas Bacillariophyceae tergolong memiliki daya tahan lingkungan yang tinggi, sehingga kelimpahan dan komposisi Bacillariophyceae sering digunakan sebagai indikator kualitas suatu perairan (Widianingsih *et al.*, 2024). Kelas Bacillariophyceae ini tergolong ke dalam kelompok diatom, sehingga dapat dikemukakan bahwa komposisi fitoplankton di lokasi penelitian kecenderungannya didukung terutama oleh kelompok diatom. Penelitian

terdahulu juga telah mengidentifikasi dukungan dan ketahanan kelompok ini di berbagai kolom perairan (estuari, danau, sungai) bahkan di wilayah kutub dengan variasi suhu dan salinitas yang sangat ekstrim (Stefanidou *et al.*, 2018). Adaptasi yang tinggi terhadap berbagai tingkat cahaya, nutrien, salinitas serta kemampuan membangun dinding sel silikat yang kuat sebagai perisai di lingkungan yang kurang mendukung menjadikannya seringkali menjadi kelompok yang dominan. Bahkan mampu membentuk struktur dorman yang memungkinkan diatom bertahan saat kondisi lingkungan sangat buruk, namun segera pulih kembali apabila lingkungan kembali mendukung (Simon *et al.*, 2016). Selain itu, kelompok diatom memiliki kemampuan memanfaatkan nutrien seperti nitrogen, fosfor, silika dan besi secara optimal untuk mendukung proses fisiologis dan reproduksinya (Giri *et al.*, 2022). Selain diatom, kelompok dinoflagellata seringkali menjadi kelompok utama komunitas fitoplankton di suatu perairan (Dursun dan Tas, 2019).

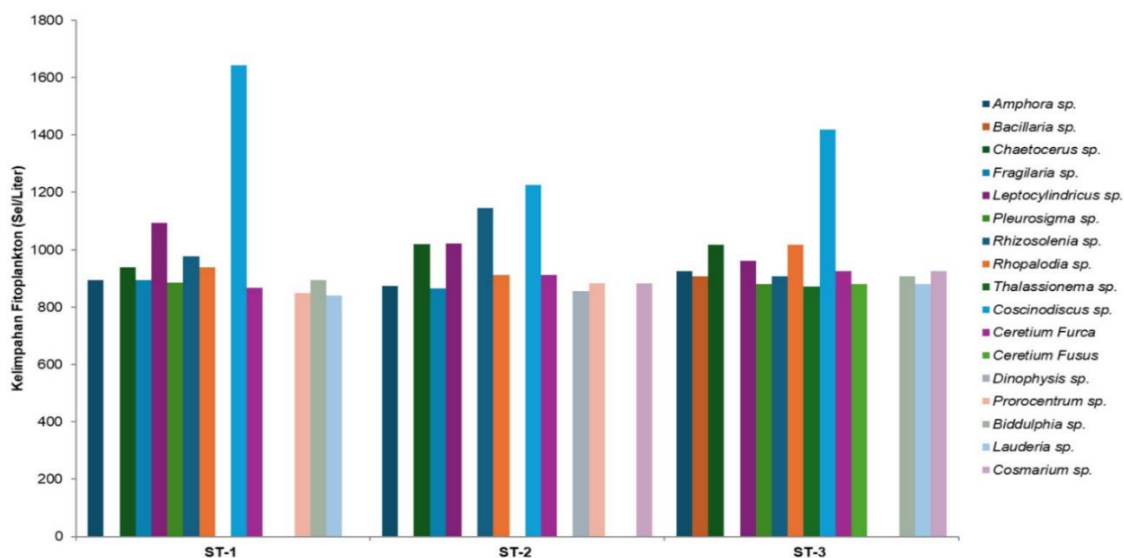
Spesies *Coscinodiscus* sp. menunjukkan kelimpahan tertinggi di semua stasiun penelitian, tertinggi di stasiun 1. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Mohammad-Nur (2013) yang juga mencatat kelimpahan spesies ini tertinggi di perairan pesisir Kuantan, Pahang, Malaysia. Walaupun *Coscinodiscus* sp. Tergolong diatom, beberapa anggotanya dikenal sebagai bagian dari *Harmful Algal Bloom* (HAB), yang umumnya berkembang dengan pesat pada kondisi ketersediaan nutrien yang tinggi (Weis, 2024). Oleh karenanya, eksistensinya dalam kelimpahan yang tinggi dapat mengindikasikan adanya masukan nutrien yang cukup besar ke perairan, namun secara ekologis menjadi penanda negatif terhadap tingkat kesuburan perairan karena berpotensi memicu ledakan populasi yang dapat berdampak kurang baik pada kualitas suatu ekosistem. Sedangkan jenis *Ceretium Fusus* dan *Dinophysis* sp., keduanya dari kelas Dinophyceae, memiliki kelimpahan yang rendah. Kondisi suhu, intensitas cahaya sangat memengaruhi kelimpahan Dinophyceae. Kondisi suhu saat penelitian berkisar antara 30,8 hingga 31,7 °C. Beberapa spesies dari kelas ini termasuk *Ceretium Fusus* dan *Dinophysis* sp. telah diidentifikasi memiliki toleransi yang relatif sempit terhadap fluktuasi kondisi lingkungan di banding jenis fitoplankton lain, terutama diatom. Selain itu adaptasi fisiologis yang lambat terhadap perubahan salinitas dan suhu. Saat terjadi perubahan lingkungan mendadak maka

dengan cepat berimplikasi terhadap kelimpahan mereka (Febriyanti *et al.*, 2023)

Kelompok zooplankton di lokasi pemantauan terdiri dari 7 kelas yaitu kelas Bivalvia, Copepoda, Gastropoda, Hydrozoa, Oligotrichea, Polychaeta, dan Thecostraca (Gambar 3). Kelas Copepoda mendominasi kekayaan jenis zooplankton, terdiri dari 4 spesies (*Acartia* sp.; *Euchaeta* sp.; *Microsetella* sp.; dan *Temora* sp.). Kelas Bivalvia dan Gastropoda terdiri atas 2 spesies (Unidentified Larva Bivalvia-1; Unidentified Larva Bivalvia-2; Unidentified Larva Gastropoda-1; dan Unidentified Larva Gastropoda-2). Adapun kelas Hydrozoa, Oligotrichea, Polychaeta dan Thecostraca masing-masing terdiri dari 1 spesies (Larva *Obelia* sp.; *Parafavella* sp.; Unidentified Larva Annelida-1; dan Larva *Balanus* sp.).

Kelas Copepoda merupakan kelompok dominan dalam komunitas zooplankton di berbagai perairan laut. Dominasi ini menyoroti peran penting Copepoda dalam komunitas zooplankton di lokasi penelitian dan beberapa perairan lain di Indonesia seperti di Laut Sawu, Nusa Tenggara Timur (Fitriya dan Lukman, 2013), Selat Lembeh, Bitung (Rumengan *et al.*, 2018), Perairan Indonesia Bagian Timur Laut (Lukman *et al.*, 2020), Teluk Palu (Paudi dan Trianto, 2021). Hal serupa di temukan di luar perairan Indonesia seperti di perairan Teluk Meksiko dan Karibia (Cummins, 2010), Pesisir Teluk Benggala Barat Laut (Srichandan *et al.*, 2015), Pulau Tiaowei, Pujian, Cina (Zhang *et al.*, 2022), dan Pesisir Laut

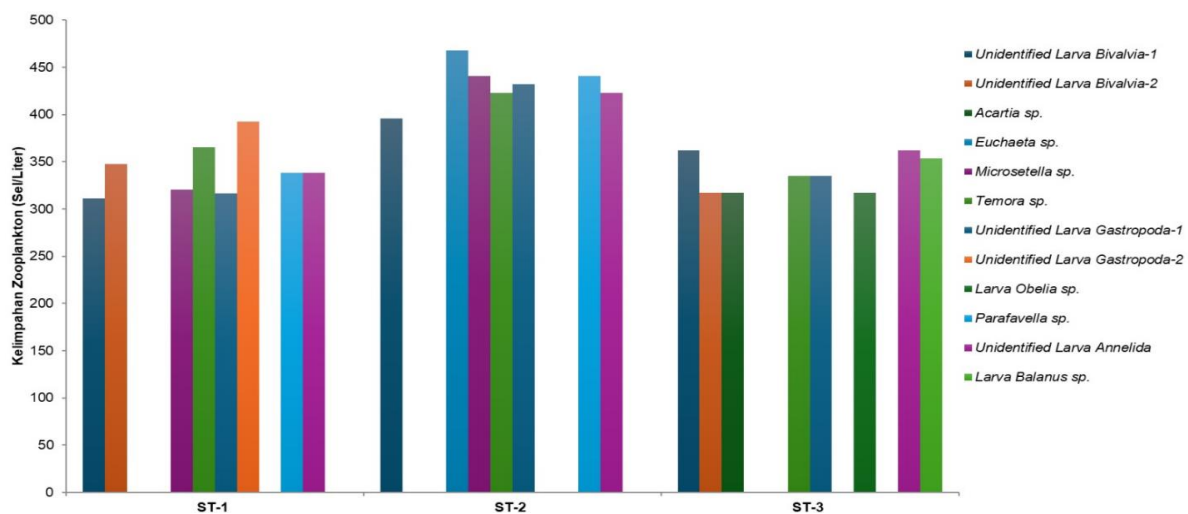
Mediterrania (Bellardini *et al.*, 2024). Dominasi Copepoda, secara signifikan dipengaruhi oleh ketersediaan fitoplankton dan kualitas nutrisi. Kurangnya nutrisi di lingkungan dapat mengubah komposisi fitoplankton, mengurangi transfer asam lemak esensial dan karbon ke Copepoda, berdampak pada reproduksi dan memengaruhi dinamika populasinya (Bi dan Sommer, 2020). Secara umum, kelimpahan fitoplankton yang diperoleh tertinggi di stasiun 3, diikuti stasiun 1 dan terendah di stasiun 2 dengan nilai berturut-turut sebesar 13.416 sel/L, 11.718 sel/L dan 10.596 sel/L. Nilai kelimpahan antarstasiun pengamatan menunjukkan pola yang relatif seragam. Sementara kelimpahan tertinggi zooplankton di temukan di stasiun 2 (3.024 sel/L), diikuti stasiun 1 (2.730 sel/L) dan terendah di stasiun 3 (2.700 sel/L). Nilai kelimpahan zooplankton setiap stasiun juga tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok (Tabel 4). Kelimpahan fitoplankton dan zooplankton menunjukkan variabilitas secara spasial. Namun, kelimpahan ini secara konsisten berada dalam kisaran yang menunjukkan stabilitas komunitas planktonik. Perbedaan kelimpahan fitoplankton dan zooplankton tiap stasiun yang relatif kecil mengindikasikan bahwa tekanan lingkungan tidak cukup kuat untuk mengakibatkan perubahan struktur komunitas secara drastis. Kondisi perairan secara umum cenderung homogen. Variasi kelimpahan zooplankton yang relatif kecil di tiap stasiun menunjukkan bahwa proses pemangsaan masih berlangsung seimbang sehingga tidak terjadi tekanan berlebihan terhadap fitoplankton.



Gambar 2. Komposisi Fitoplankton di Perairan Senoro

Tabel 4. Kelimpahan (N) dan Indeks Ekologi Plankton

Indeks ekologi	Plankton					
	Fitoplankton			Zooplankton		
	ST-1	ST-2	ST-3	ST-1	ST-2	ST-3
Jumlah taksa	12	11	14	8	7	8
Kelimpahan (sel/L)	11.718	10.596	13.416	2.730	3.024	2.700
Indeks keanekaragaman (H')	1,95	2,16	2,40	1,98	1,90	2,03
Indeks keseragaman (E)	0,21	0,23	0,25	0,25	0,24	0,26
Indeks dominansi (C)	0,22	0,14	0,12	0,15	0,15	0,14



Gambar 3. Komposisi Zooplankton di Perairan Lapangan Senoro

Hasil analisis indeks ekologi pada lokasi penelitian tertera pada Tabel 4. Indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H') biota air pada ketiga stasiun pemantauan adalah sebagai berikut: fitoplankton pada kisaran nilai antara 1,95 - 2,40 dan zooplankton antara 0,15 – 0,25. Indeks keseragaman (E) fitoplankton pada kisaran nilai antara 0,21 - 0,25, zooplankton 0,15 – 0,25. Sementara indeks dominansi (D) fitoplankton dan zooplankton berkisar 0,12 – 0,22 dan 0,14 – 0,15. Indeks keanekaragaman (H') plankton (fitoplankton dan zooplankton) di ketiga stasiun pengamatan menunjukkan keanekaragaman biota air dalam kriteria penilaian “sedang”. Hal ini mengindikasikan sebaran, jumlah tiap jenis dan kestabilan komunitas biota air berada pada tingkat yang cukup stabil, serta menunjukkan kualitas lingkungan perairan di lokasi penelitian cukup baik. Peningkatan keanekaragaman fitoplankton akan memengaruhi biota pada tingkatan trofik di atasnya, sebagaimana yang dinyatakan oleh Miro

et al. (2020) bahwa keanekaragaman yang meningkat diiringi dengan keberagaman jenis hewan konsumen yang hadir, sehingga memberikan kontribusi positif dalam mendukung produktivitas total perairan. Ekosistem yang stabil dengan keanekaragaman fitoplankton yang tinggi menciptakan interaksi yang kompleks antara berbagai jenis organisme. Lebih lanjut disimpulkan oleh Tao *et al.* (2020), bahwa hal ini dapat berdampak positif terhadap produktivitas perairan secara keseluruhan, karena ketersediaan nutrisi berbagai tingkatan trofik dapat tercukupi. Dengan demikian, keberagaman fitoplankton yang tinggi bukan hanya mencerminkan keanekaragaman hayati yang tinggi, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan, berkontribusi secara signifikan terhadap layanan ekosistem seperti siklus nutrisi, produksi oksigen dan penyerapan karbon yang begitu penting bagi kesehatan ekosistem global (Talone, 2024). Jika merujuk pada kriteria tingkat pencemaran perairan

berdasarkan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H') untuk biota perairan (Lee *et al.*, 1978), maka lokasi penelitian berada dalam kondisi tidak tercemar hingga tercemar ringan. Apabila indeks keanekaragaman dalam kriteria sedang, jika merujuk pada Odum (1971) maka ekosistem di lokasi penelitian kecenderungannya dalam kondisi stabil, seimbang dan tekanan cenderung rendah.

Nilai indeks keseragaman (E) biota air (fitoplankton dan zooplankton) di lokasi penelitian menunjukkan keseragaman rendah (Tabel 5 dan Tabel 6). Hal ini mengindikasikan komposisi jenis plankton air cenderung merata, tidak ada spesies yang mendominasi. Justifikasi ini diperkuat dengan nilai Indeks dominansi (D) yang rendah, menunjukkan bahwa tidak terdapat spesies tertentu yang mendominasi secara signifikan atau dengan kata lain struktur komunitas biota air dalam kondisi stabil/seimbang.

Eksistensi plankton sangat dipengaruhi oleh kualitas air. Berdasarkan hasil analisis kualitas air di peroleh data seperti yang tertera pada Tabel 7. Secara umum, kualitas air di perairan Langan Senoro masih berada dalam batas/kisaran normal berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut sebagaimana tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Hal ini menandakan bahwa kondisi perairan yang menjadi lokasi pembuangan air limbah perusahaan yang mencakup limbah dari kegiatan produksi, perawatan dan pemeliharaan peralatan dari area

CPP, limbah domestik pekerja perusahaan, maupun limbah *reject water* masih mendukung keberlanjutan plankton di lokasi penelitian. Keanekaragaman plankton (fitoplankton dan zooplankton) di stasiun 3 yang merupakan lokasi pembuangan *reject water* relatif lebih tinggi di banding stasiun lainnya. Limbah ini berasal dari pengolahan air tanah/air sumur yang menghasilkan air yang memenuhi persyaratan air bersih untuk kegiatan produksi dan domestik di CPP Senoro. Sumber air (air tanah/sumur) ini pada dasarnya minim kontaminasi bahan pencemar, karena berasal dari pengolahan air tanah yang tidak mengandung residu bahan berbahaya. Hal ini diperkuat oleh nilai BOD₅ terendah di stasiun 3, yang mengindikasikan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik di lokasi ini lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lain. Rendahnya beban organik umumnya mendukung produktivitas primer yang stabil dan keragaman komunitas planktonik yang lebih besar (Paerl *et al.*, 2024). Sebaliknya, nilai BOD yang tinggi berpotensi menurunkan konsentrasi oksigen terlarut dan bahkan meningkatkan tekanan ekologis terhadap komunitas plankton, yang berimplikasi pada penurunan kelimpahan plankton serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Shekina *et al.*, 2024). Unbekna *et al.* (2020) mengemukakan tingkat keanekaragaman spesies menjadi rendah apabila faktor lingkungan seperti suhu dan nutrien tidak mendukung.

Tabel 5. Evaluasi Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H'), Indeks Keseragaman (E) dan Indeks Dominansi (D) Fitoplankton

No	Lokasi	H'	E	D	Evaluasi (H')	Evaluasi (E)	Evaluasi (D)
1	ST-1	1,95	0,21	0,22	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil
2	ST-2	2,16	0,23	0,14	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil
3	ST-3	2,40	0,25	0,12	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil

Keterangan: ST-1= Outfall, Drainase Oily Water CPP; ST-2= Outfall, IPAL Domestik dan Saniter CPP; ST-3= Outfall, Reject Water RO

Tabel 6. Evaluasi Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener* (H'), Indeks Keseragaman (E) dan Indeks Dominansi (D) Zooplankton

No	Lokasi	H'	E	D	Evaluasi (H')	Evaluasi (E)	Evaluasi (D)
1	ST-1	1,98	0,25	0,15	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil
2	ST-2	1,90	0,24	0,15	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil
3	ST-3	2,03	0,15	0,14	Keanekaragaman Sedang	Keseragaman Rendah	Struktur Komunitas Stabil

Keterangan: ST-1 = Outfall, Drainase Oily Water CPP; ST-2 = Outfall, IPAL Domestik dan Saniter CPP; ST-3 = Outfall, Reject Water RO

Tabel 7. Hasil Analisis Kualitas Air di Lapangan Senoro

Parameter	Baku Mutu untuk Biota Laut	Satuan	Hasil Pemantauan		
			ST-1	ST-2	ST-3
Parameter Fisika:					
Suhu	Alami	°C	30,8	31,7	31,7
<i>Total Suspended Solid</i> , TSS	≤ 20	mg/L	<2	4	<2
	Lamun: 20				
Parameter Kimia:					
pH	7 - 8,5	-	7,1	7,1	7,2
Salinitas	Alami	‰	24,0	24,0	33,0
	Mangrove: s/d 34				
	Lamun: 33-34				
Total Amonia, NH ₃ -N	0,3	mg/L	<0,017	0,020	<0,017
<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD ₅)	20	mg/L	14,6	15,8	10,2
<i>Oil and Grease</i>	1	mg/L	0,70	<0,60	<0,60
Parameter Biologi :					
<i>Coliform Total</i>	1000	MPN/100mL	14	<1,8	2

Fenomena menarik ditemukan pada penelitian ini bahwa walaupun kualitas air tergolong baik namun keanekaragaman masih berada pada kategori “sedang”. Hal ini menyiratkan bahwa faktor pengendali keanekaragaman plankton tidak sepenuhnya ditentukan oleh parameter kualitas air namun ada faktor lain yang turut memengaruhi. Menurut Shekina *et al.* (2024), faktor ketersediaan nutrisi, interaksi biologis seperti predasi dan persaingan serta penetrasi cahaya turut berkontribusi terhadap keanekaragaman fitoplankton di suatu perairan. Faktor-faktor ini dapat berinteraksi dengan kualitas suatu perairan sehingga memengaruhi kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton dalam suatu ekosistem perairan. Olehnya itu, memahami interaksi multifaktorial ini sangat penting untuk pengelolaan dan konservasi lingkungan akuatik yang efektif.

Dalam konteks fungsi ekologis, plankton berperan sebagai komponen dasar rantai makanan yang menghubungkan siklus nutrisi dan energi dari organisme autotrofik ke tingkat trofik yang lebih seperti zooplankton, larva ikan dan organisme *filter feeder* (Harris *et al.*, 2000). Akibatnya, stabilitas komunitas plankton yang diamati dalam penelitian ini menunjukkan bahwa fungsi ekologis ekosistem perairan masih berjalan, di tandai dengan transfer energi yang relatif seimbang antara fitoplankton sebagai produsen utama dan zooplankton sebagai konsumen primer.

KESIMPULAN

Kelompok plankton yang berperan strategis di lingkungan perairan Lapangan Senoro adalah kelas Bacillariophyceae dari kelompok fitoplankton dan kelas Copepoda dari kelompok zooplankton. Kondisi kualitas perairan masih berada dalam rentang baku mutu, tidak ditemukan dominasi spesies plankton. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun terdapat tekanan antropogenik berupa pembuangan limbah, namun perairan belum mengalami gangguan yang berarti. Struktur komunitas plankton masih mencerminkan kondisi ekosistem yang relatif stabil secara tropik. Dengan demikian, komunitas plankton berpotensi digunakan sebagai indikator biologis dalam pemantauan lingkungan di kawasan industri pesisir seperti Lapangan Senoro. Namun, mengingat indeks keanekaragaman dalam kategori “sedang” sementara parameter kualitas air masih dalam standar yang bisa diterima, ke depan perlu dilakukan kajian lebih mendalam untuk mengidentifikasi faktor-faktor pembatas plankton lainnya yang dapat memengaruhi dinamika plankton di lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Joint Operating Body* Pertamina-Medco E&P Tomori Sulawesi (JOB Tomori) yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bi, R. & Sommer, U. 2020. Food quantity and quality interactions at phytoplankton–zooplankton interface: Chemical and reproductive responses in a calanoid copepod. *Frontiers in Marine Science*, 7. doi: 10.3389/FMARS.2020.00274
- Bellardini, D., Vannini, J., Russo, L., Buondonno, A., Saggiomo, M., Vassallo, P., Mazzocchi, M.G., D’Alelio, D. & Licandro, P. 2024. The spatial distribution of copepod functional traits in a highly anthropized Mediterranean coastal marine region. *Environments*, 11(6): 113. doi: 10.3390/environments11060113
- Cummins, M.L. 2010. *Zooplankton from OTEC Sites in the Gulf of Mexico and the Caribbean*. California Digital Library, University of California.
- Elomari, D. 2022. Open water lifestyles: Marine plankton. *Elsevier eBooks*, pp. 193–228. doi: 10.1016/B978-0-08-102826-1.00005-0
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T. & Falkowski, P. 1998. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374): 237–240.
- Fitriya, N. & Lukman, M. 2013. Zooplankton community in Lamalera Sea and Sawu Sea, East Nusa Tenggara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1). doi: 10.28930/JITKT.V5I1.7770
- Fitrani, M., Septiyani, R., Jubaedah, D., Wijayanti, M., Septimesy, A. & Mulyani, Y.S. 2023. The abundance and types of plankton in milkfish ponds at Banyuasin South Sumatera. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 12(2): 223–228. doi: 10.13170/depik.12.2.30065
- Febriyanti, M., Anggraeni, A. & Akhrianti, I. 2023. Relationship between phytoplankton and chlorophyll-a abundance in the outer bay of Bangka Island. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(2): 498–512. doi: 10.35800/jip.v11i2.50015
- Giri, T.K., Goutam, U.K., Arya, A. & Gautam, S. 2022. Effect of nutrients on diatom growth: A review. *Trends in Sciences*, 19(2): 1752. doi: 10.48048/tis.2022.1752
- Harris, R. 2000. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press.
- Lee, C.D., Wang, S.B. & Kuo, C.L. 1978. Benthic macroinvertebrate and fish as biological indicators of water quality, with reference to community diversity index. In: *Proceedings of the International Conference on Water Pollution Control in Developing Countries*. Bangkok, Thailand.
- Loschi, M., D’Alelio, D., Camatti, E., Bernardi Aubry, F., Beran, A. & Libralato, S. 2023. Planktonic ecological networks support quantification of changes in ecosystem health and functioning. *Scientific Reports*, 13: 16683. doi: 10.1038/s41598-023-43738-y
- Lukman, M., Fitriya, N., Prayitno, H.B., Afdal, A., Nasir, A., Kaisupi, T., Avianto, P. & Hernawan, U.E. 2020. Nusa Manggala oceanographic survey I: Oceanic mesozooplankton community from epipelagic zones of the north-eastern part of the Indonesian waters adjacent to the Southwest Pacific Ocean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 564(1). doi: 10.1088/1755-1315/564/1/012086
- Mansyur, K., Tis’in, T. & Safir, M. 2024. Struktur komunitas plankton di Perairan Gosong Tiaka Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Arborescent Journal*, 1(3): 52–59. doi: 10.56630/arj.v1i3.730
- Mieszkowski, J. 2023. Harmful algal blooms. *Elsevier eBooks*, pp. 9–53. doi: 10.1016/B978-0-12-820509-9.00002-2
- Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. 3rd Edition. Philadelphia: W.B. Saunders.
- Paerl, H.W., Justić, D. & Paerl, R.W. 2024. Primary producers: Coastal phytoplankton ecology and trophic dynamics in the face of human and climatic pressures. In: *Elsevier BV*, pp. 348–373. doi: 10.1016/B978-0-323-90798-9.00005-6
- Pachiappan, P., Santhanam, P., Begum, A. & Prasath, B.B. 2019. An introduction to plankton. Singapore: Springer, pp. 1–24. doi: 10.1007/978-981-10-7938-2_1
- Paudi, R.I. & Trianto, M. 2021. Density and diversity of zooplankton in Palu Bay after the tsunami disaster 28 September 2018. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(2): 551–563. doi: 10.29303/JBT.V21I2.2711
- Pereira, L. 2025. The unsung heroes of aquatic ecosystems: The vital roles of plankton. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1009861
- Rumengan, I.F.M., Akerina, J., Rampengan, M.M.F. & Masengi, K.W.A. 2018. Abundance and diversity of zooplankton in Lembeh Strait, Bitung, Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, 36(1): 15–20. doi: 10.14203/MRI.V36I1.524

- Sahoo, D., Bera, S.K., Pal, P., Tamili, D.K., Sarkar, B., Madhu, N.R. & Ghorai, S.K. 2024. Plankton act as a key indicator of the health and stability of aquatic ecosystems: A review. *International Academic Publishing House (IAPH)*, pp. 257–272. doi: 10.52756/boesd.2024.e03.018
- Shekina, P.N., Ramadhani, N.I., Putri, N.D., Kurniati, S.A. & Agustin, C.E. 2024. Pengaruh kualitas air terhadap keanekaragaman plankton di bozem: Analisis parameter fisik, kimia, dan biologi ekosistem perairan. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 2(6): 1–9. doi: 10.62383/algoritma.v2i6.256
- Simon, M., Lopez-García, P., Deschamps, P., Restoux, G., Bertolino, P., Moreira, D. & Jardillier, L. 2016. Resilience of freshwater communities of small microbial eukaryotes undergoing severe drought events. *Frontiers in Microbiology*, 7(812). doi: 10.3389/fmicb.2016.00812
- Srichandan, S., Sahu, B.K., Panda, R.B., Baliarsingh, S.K., Sahu, K.C. & Panigrahy, R.C. 2015. Zooplankton distribution in coastal water of the north-western Bay of Bengal, off Rushikulya estuary, east coast of India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 44(4): 546–561.
- Stefanidou, N., Genitsaris, S., Lopez-Bautista, J., Sommer, U. & Moustaka-Gouni, M. 2018. Unicellular eukaryotic community response to temperature and salinity variation in mesocosm experiments. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2444. doi: 10.3389/fmicb.2018.02444
- Sugiarti, S., Rahmadya, A., Rohaningsih, D., Novianti, R., Waluyo, A. & Aisyah, S. 2024. Plankton community structure in the estuaries of Banten Bay, Banten Province, Indonesia. *Limnotek (Bogor)*, 30(2): 69–83. doi: 10.55981/limnotek.2024.5100
- Talone, M. 2024. PETRI-MED: Enhancing marine phytoplankton diversity monitoring in the Mediterranean. *Open Access Government*, 44(1): 358–359. doi: 10.56367/oag-044-116.33
- Widianingsih, W., Khotimah, A.K. & Nuraini, R.A.T. 2024. Indeks ekologi diatom (*Bacillariophyceae*) di Perairan Delta Wulan Demak Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 13(4): 643–652. doi: 10.14710/jmr.v13i4.44049
- Wijayanti, L.A.S., Pratama, G.B., Utama, M.I.C., Umbekna, S., Nugraha, T.A., Djalil, M., Firdaus, M.R., Fitriya, N., Prayitno, H.B. & Nasution, K.A. 2025. Phytoplankton functional types in tropical hypertrophic waters: A case study of the coastal waters of Jakarta Bay, Indonesia. *Environmental Quality Management*, 35(2). doi: 10.1002/tqem.70173
- Weis, J.S. 2024. *Nutrients*. Oxford University Press. doi: 10.1093/wentk/9780197753804.003.0002
- Zeldis, J. & Décima, M. 2020. Mesozooplankton connect the microbial food web to higher trophic levels and vertical export in the New Zealand Subtropical Convergence Zone. *Deep-Sea Research Part I*, 155: 103146. doi: 10.1016/J.DSR.2019.103146
- Zhang, Z.Q., Shi, Z., Yu, Z., Zhou, K., Lin, J., Wu, J. & Mu, J. 2022. Spatio-temporal variations of zooplankton and correlations with environmental parameters around Tiaowei Island, Fujian, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19): 12731. doi: 10.3390/ijerph191912731