

Water Quality Assessment of Bagek Kembar Mangrove Ecosystem Using Phytoplankton as A Bioindicators

Muhammad Yoszi Setiawan^{1*}, Lalu Japa¹, Prapti Sedijani¹

¹Biology Education Program Study, Faculty of Teacher Training and Education, University of Mataram, Mataram, Indonesia;

Article History

Received: January 29th, 2026

Revised : February 14th, 2026

Accepted : February 28th, 2026

*Corresponding Author:

Muhammad Yoszi Setiawan,
Biology Education Program
Study, Faculty of Teacher
Training and Education,
University of Mataram,
Indonesia;

Email:

yoszisetiawan@gmail.com

Abstract: Mangrove ecosystems are highly dependent on surrounding water quality, which can be effectively assessed using biological indicators such as phytoplankton communities. This study aimed to analyze the water quality of the Bagek Kembar Mangrove Essential Ecosystem, West Lombok, based on phytoplankton community. The research employed a descriptive exploratory design with purposive sampling at three mangrove ecosystem types: pond area, rehabilitated mangrove, and natural mangrove. Phytoplankton samples were collected using a plankton net and analyzed for abundance, species diversity, evenness, and dominance. Physical and chemical parameters including temperature, pH, and salinity were also study fully identified 67 species of phytoplankton with a total abundance of 2,542.5 ind/L. *Merismopedia elegans* was a dominant species, particularly in the pond area. Diversity indices ranged from low to moderate, evenness value indicated relatively stable communities, and dominance index showed no species dominance. These results indicated that the waters of the Bagek Kembar mangrove ecosystem are generally in good condition with mild ecological pressure influenced by anthropogenic activities. This study provides baseline ecological data to support sustainable management and conservation strategies for mangrove essential ecosystems of Bagek kembar, West Lombok.

Keywords: Anthropogenic disturbance, bioindicator, mangrove ecosystem, phytoplankton, water quality.

Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan komponen penting ekosistem pesisir yang berfungsi sebagai zona transisi antara darat dan laut, serta berperan strategis dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir. Keberadaan mangrove mendukung keanekaragaman hayati, meningkatkan produktivitas perairan, dan berkontribusi dalam menjaga kualitas air melalui berbagai proses ekologi alami (Luo *et al.*, 2024). Secara global, ekosistem mangrove diakui sebagai salah satu ekosistem pesisir paling produktif yang mampu mereduksi tekanan lingkungan akibat aktivitas manusia di wilayah pesisir, sekaligus menyediakan berbagai jasa ekosistem penting bagi

keberlanjutan sosial dan ekologis (Sulochanan *et al.*, 2022).

Secara ekologis, mangrove berfungsi sebagai penyangga alami dan penyaring biologis yang efektif dalam menahan sedimen, menyerap nutrisi berlebih, serta menjebak polutan yang berasal dari daratan sebelum mencapai perairan pesisir terbuka (Cui *et al.*, 2023). Kondisi mangrove yang sehat secara ideal tercermin pada kualitas perairan yang stabil, tingkat eutrofikasi yang rendah, serta produktivitas primer yang seimbang. Dalam konteks ekologi perairan, kualitas lingkungan tersebut sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor fisika-kimia dan respons biologis organisme akuatik, khususnya produsen primer seperti fitoplankton yang

berperan sebagai dasar jaring-jaring makanan (Retnaningdyah *et al.*, 2021).

Tekanan pembangunan pesisir seperti konversi lahan, aktivitas akuakultur, dan pengembangan kawasan wisata telah menyebabkan penurunan kualitas perairan dan degradasi fungsi ekologis mangrove di berbagai wilayah (Salsabila *et al.*, 2024). Pemantauan kualitas perairan di kawasan mangrove umumnya masih didominasi oleh pengukuran parameter fisika-kimia, yang bersifat sesaat dan kurang mampu merepresentasikan dampak ekologis secara integratif. Berbagai studi menunjukkan bahwa perubahan struktur komunitas fitoplankton dapat mendeteksi tekanan antropogenik dan peningkatan beban nutrisi secara lebih sensitif, bahkan ketika sebagian parameter fisika-kimia masih berada dalam kisaran baku mutu (Aulia & Hutasuhut, 2025; Barroso *et al.*, 2025). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian, khususnya dalam penerapan bioindikator fitoplankton pada Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) mangrove di Indonesia.

Pemantauan kualitas perairan berbasis struktur komunitas fitoplankton menjadi penting untuk memberikan gambaran ekologis yang lebih komprehensif dalam mendukung pengelolaan dan konservasi ekosistem mangrove secara berkelanjutan (Ugya *et al.*, 2025). Informasi biologis yang dihasilkan dapat berfungsi sebagai data dasar dalam mengevaluasi kondisi ekosistem, mendeteksi tekanan lingkungan secara dini, serta mendukung perumusan kebijakan pengelolaan pesisir berbasis bukti ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas perairan di Kawasan Ekosistem Esensial Mangrove Bagek Kembar berdasarkan struktur komunitas fitoplankton yang meliputi kelimpahan, keanekaragaman, kemerataan, dan dominansi spesies.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 di Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Mangrove Bagek Kembar, Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Lokasi penelitian mencakup

beberapa tipe ekosistem mangrove yang merepresentasikan perbedaan tingkat aktivitas antropogenik, yaitu area tambak, mangrove rehabilitasi, dan mangrove alami. Penentuan lokasi didasarkan pada karakteristik lingkungan dan kemudahan akses pengambilan sampel. Secara geografis, kawasan ini merupakan wilayah pesisir yang berperan penting dalam menjaga fungsi ekologis dan keberlanjutan ekosistem mangrove. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**. Kemudian untuk titik koordinatnya dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tabel 1. Titik koordinat pengambilan sampel

No.	Nama	Stasiun	
		Longitude	Latitude
1.	Mangrove rehabilitasi	116°03'08"E	8°45'51"S
2.	Area tambak	116°03'14"E	8°45'59"S
3.	Mangrove alami	116°03'01"E	8°45'45"S

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif eksploratif dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi kualitas perairan berdasarkan struktur komunitas fitoplankton secara faktual dan sistematis. Penelitian tidak memberikan perlakuan tertentu terhadap obyek yang diteliti, melainkan mengamati kondisi alami perairan mangrove. Data yang diperoleh dianalisis untuk menggambarkan hubungan antara komunitas fitoplankton dan kondisi lingkungan perairan.

Sampel penelitian diambil dari tiga stasiun pengamatan, masing-masing mewakili area

tambak, mangrove rehabilitasi, dan mangrove alami, dengan dua ulangan pada setiap stasiun. Pengambilan sampel untuk analisis data fitoplankton dilakukan menggunakan plankton net dengan diameter mata jaring 20 μm , dengan bahan pendukung berupa botol sampel, larutan pengawet, dan alat identifikasi laboratorium.

Pengamatan dan Identifikasi Fitoplankton

Prosedur penelitian diawali dengan survei lokasi untuk menentukan stasiun pengambilan sampel. Pengambilan sampel fitoplankton dengan cara menyaring air menggunakan plankton net dengan diameter mata jaring 20 μm . Parameter fisika-kimia diukur secara langsung dilapangan menggunakan termometer, pH meter, dan refraktometer. Sampel diawetkan dengan formalin pada konsentrasi pengawetan 4%. Pengukuran parameter fisika-kimia perairan dilakukan secara *in situ* pada saat pengambilan sampel. Sampel fitoplankton diamati dan diidentifikasi di laboratorium biologi FKIP Universitas mataram menggunakan mikroskop binocular CX 23. Identifikasi spesies fitoplankton dilakukan berdasarkan buku Tomas (1997), Yamaji (1984), dan hingga tingkat spesies. Seluruh data hasil pengamatan dicatat secara sistematis untuk keperluan analisis lebih lanjut.

Analisis Data Penelitian

Data fitoplankton dianalisis untuk menentukan kelimpahan individu per liter, indeks keanekaragaman Shannon–Wiener (H'), indeks kemerataan (E), dan indeks dominansi Simpson (D). Nilai indeks tersebut digunakan sebagai dasar penilaian kualitas perairan dengan kriteria tertentu untuk menggambarkan kondisi ekosistem. Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan bantuan perangkat lunak pengolah data, seperti Microsoft Excel, untuk perhitungan indeks dan penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil analisis selanjutnya diinterpretasikan untuk menentukan kondisi kualitas perairan berdasarkan struktur komunitas fitoplankton.

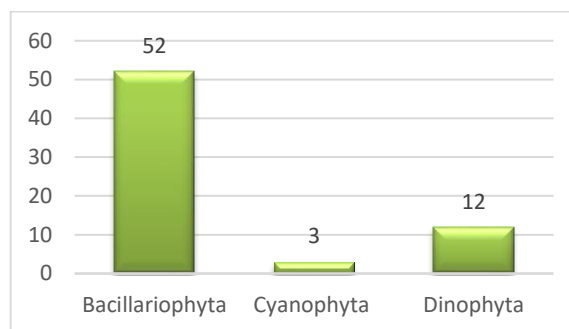
Hasil dan Pembahasan

Kelimpahan Individu Fitoplankton

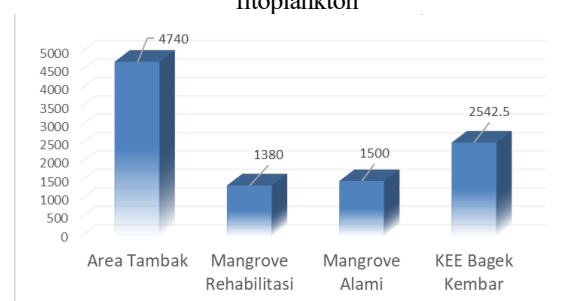
Hasil identifikasi yang ditemukan di perairan Kawasan Ekosistem Esensial Bagek Kembar sebanyak 67 spesies. Spesies tersebut terbagi ke

dalam tiga divisi yaitu, 52 spesies dari anggota Bacillariophyta, 3 spesies dari anggota Cyanophyta, dan 12 spesies dari anggota Dinophyta. Perbandingan jumlah taksa pada masing-masing divisi fitoplankton disajikan pada **Gambar 2**.

Kelimpahan individu fitoplankton di kawasan Ekosistem Mangrove Bagek Kembar menunjukkan variasi antar stasiun pengamatan sebagaimana disajikan pada **Gambar 3**. Stasiun pada area tambak memiliki kelimpahan fitoplankton tertinggi dibandingkan dengan mangrove rehabilitasi dan mangrove alami. Perbedaan ini mengindikasikan adanya variasi kondisi lingkungan yang memengaruhi produktivitas primer perairan. Secara umum, tingginya kelimpahan fitoplankton mencerminkan ketersediaan nutrisi yang cukup di perairan mangrove.



Gambar 2. Perbandingan jumlah taksa antar divisi fitoplankton



Gambar 3. Perbandingan kelimpahan individu fitoplankton antar stasiun di kawasan Mangrove Bagek Kembar

Total kelimpahan individu fitoplankton di seluruh stasiun penelitian adalah sebesar 2.542,5 Ind/L, dengan jumlah total individu sebanyak 1.017 individu yang terdiri dari 67 spesies fitoplankton. Kelimpahan fitoplankton di kawasan Mangrove Bagek Kembar dipengaruhi secara langsung oleh kondisi parameter lingkungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Area tambak memiliki intensitas cahaya relatif tinggi

(925) dan tingkat kekeruhan paling besar (65 NTU), yang menunjukkan tingginya suspensi partikel di perairan. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan peningkatan nutrisi terlarut akibat aktivitas antropogenik, sehingga mendorong peningkatan kelimpahan fitoplankton tertentu. Sebaliknya, pada mangrove rehabilitasi dan mangrove alami, nilai kekeruhan lebih rendah (20–20,5 NTU) sehingga kondisi perairan lebih jernih dan stabil.

Suhu air yang berkisar antara 32–35 °C pada seluruh lokasi masih berada dalam rentang toleransi pertumbuhan fitoplankton tropis. Namun, perbedaan suhu air yang lebih tinggi pada mangrove alami (35°C) berpotensi meningkatkan laju metabolisme fitoplankton, tetapi tidak selalu diikuti oleh peningkatan kelimpahan apabila ketersediaan nutrisi terbatas. Salinitas yang seragam (30 ppt) pada seluruh stasiun menunjukkan bahwa faktor ini tidak menjadi pembeda utama kelimpahan fitoplankton antar lokasi. Dengan demikian, variasi kelimpahan fitoplankton lebih dipengaruhi oleh kombinasi kekeruhan, intensitas cahaya, dan kondisi kimia perairan.

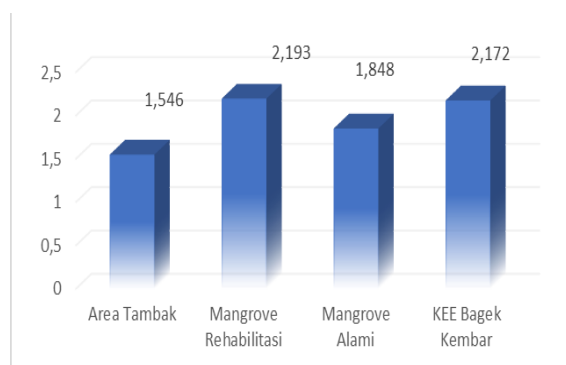
Limbah organik dari aktivitas budidaya, seperti sisa pakan dan feses organisme, diketahui berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi nitrat dan fosfat yang berperan sebagai faktor pembatas utama pertumbuhan fitoplankton (Nindarwi *et al.*, 2021; Arofah *et al.*, 2021). Kondisi perairan dengan beban nutrisi tinggi umumnya mengalami peningkatan produktivitas primer dan pergeseran status trofik menuju kondisi yang lebih subur. Respons cepat fitoplankton terhadap perubahan kualitas perairan menegaskan perannya sebagai komponen biotik yang sensitif terhadap akumulasi nutrisi akibat aktivitas antropogenik, sehingga mampu merefleksikan dinamika lingkungan secara integratif (Ugya *et al.*, 2025; Tagulao *et al.*, 2023).

Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian di ekosistem mangrove dan pesisir yang melaporkan bahwa lokasi dengan tekanan antropogenik tinggi, seperti kawasan tambak, permukiman, dan wisata, cenderung memiliki kelimpahan fitoplankton yang lebih besar serta didominasi oleh taksa yang toleran terhadap kondisi perairan kaya nutrisi (Aulia & Hutasuhut, 2025; Hendrasarie & Kartika, 2024; Fonge *et al.*, 2016). Peningkatan nutrisi di perairan mangrove Indonesia telah dilaporkan mampu memicu kondisi mesotrofik hingga eutrofik, bahkan pada beberapa lokasi berkembang menjadi kondisi sangat subur

dengan dominansi kelompok tertentu yang berpotensi menimbulkan gangguan ekologis. Namun, tidak ditemukannya kelimpahan fitoplankton yang sangat ekstrem atau dominansi kuat spesies penyebab blooming berbahaya menunjukkan bahwa tekanan nutrisi di Mangrove Bagek Kembar belum mencapai tingkat yang parah (Hilaluddin *et al.*, 2020).

Indeks Keanekaragaman Spesies Fitoplankton

Nilai indeks keanekaragaman spesies fitoplankton (H') di kawasan KEE Bagek kembar menunjukkan variasi antar stasiun pengamatan sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 4**. Nilai indeks keanekaragaman spesies (H') fitoplankton di perairan Kawasan Ekosistem Esensial Mangrove Bagek Kembar sebesar 2,172, dengan indeks keanekaragaman spesies tertinggi terdapat pada area mangrove rehabilitasi yaitu sebesar 2,193. Keanekaragaman fitoplankton pada mangrove alami cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan area tambak, yang mencerminkan kondisi lingkungan yang relatif lebih stabil. Perbedaan nilai indeks ini menunjukkan adanya variasi tingkat stabilitas ekosistem perairan antar tipe pemanfaatan lahan. Secara umum, nilai keanekaragaman fitoplankton berada pada kategori rendah hingga sedang.



Gambar 4. Perbandingan Indeks keanekaragaman spesies fitoplankton antar stasiun di KEE Bagek kembar

Nilai indeks keanekaragaman fitoplankton (H') yang berada pada kategori rendah hingga sedang dipengaruhi oleh stabilitas parameter lingkungan pada masing-masing tipe ekosistem. Mangrove rehabilitasi memiliki intensitas cahaya tertinggi (965) dengan kekeruhan relatif rendah (20,5 NTU), yang menciptakan kondisi optimal bagi penetrasi cahaya dan fotosintesis. Kondisi ini mendukung keberadaan berbagai spesies

fitoplankton, sehingga menghasilkan nilai keanekaragaman tertinggi dibandingkan lokasi lainnya. Sebaliknya, kekeruhan tinggi pada area tambak (65 NTU) berpotensi membatasi penetrasi cahaya dan menekan keberagaman spesies sensitif.

Nilai pH perairan yang berkisar antara 7,2–7,9 pada seluruh stasiun menunjukkan kondisi perairan yang relatif netral hingga sedikit basa, yang umumnya masih mendukung kehidupan fitoplankton. Namun, pH yang lebih tinggi pada area tambak (7,9) sering dikaitkan dengan aktivitas fotosintesis intensif oleh spesies tertentu, yang berpotensi menurunkan keanekaragaman akibat kompetisi. Dengan demikian, keanekaragaman fitoplankton di kawasan Mangrove Bagek Kembar lebih mencerminkan kestabilan lingkungan dibandingkan sekadar tingginya kelimpahan organisme.

Lingkungan dengan gangguan rendah umumnya memungkinkan terbentuknya struktur komunitas yang kompleks, interaksi trofik yang lebih beragam, serta distribusi individu yang lebih merata antar taksa, sehingga mencerminkan tingkat kesehatan ekosistem yang lebih baik (Xu *et al.*, 2022; Retnaningdyah *et al.*, 2024). Sebaliknya, nilai keanekaragaman yang lebih rendah pada area tambak mengindikasikan adanya tekanan lingkungan berupa peningkatan nutrisi dan fluktuasi kualitas air yang menyebabkan penyaringan komunitas, di mana hanya spesies toleran yang mampu bertahan dan berkembang (Cameiro *et al.*, 2024; Aimérance *et al.*, 2022). Pola tersebut sejalan dengan konsep ekologi perairan yang menyatakan bahwa penurunan keanekaragaman biologis umumnya berkorelasi dengan menurunnya kesehatan ekosistem dan resiliensi fungsional terhadap gangguan (Yang *et al.*, 2021; Henson *et al.*, 2021).

Temuan ini konsisten dengan berbagai studi di ekosistem mangrove dan perairan pesisir yang melaporkan nilai keanekaragaman fitoplankton lebih tinggi pada habitat alami atau kawasan dengan tingkat gangguan antropogenik yang rendah. Sebaliknya, perairan terdisturbansi seperti tambak dan kolam budidaya dengan masukan nutrisi tinggi cenderung menunjukkan keanekaragaman yang lebih rendah serta dominansi spesies tertentu yang toleran terhadap kondisi eutrofik. Variasi nilai keanekaragaman antar lokasi dan penelitian umumnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lokal seperti konsentrasi nutrisi, salinitas, konektivitas perairan, tipe dan intensitas budidaya, serta kualitas

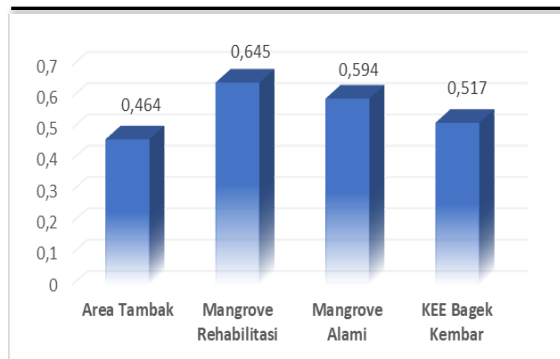
dan kerapatan vegetasi mangrove di sekitarnya (Hilaluddin *et al.*, 2020; Hilmi *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021).

Secara parsial, keanekaragaman fitoplankton di Mangrove Bagek Kembar menunjukkan bahwa ekosistem mangrove alami masih berada pada kondisi ekologis yang relatif baik dengan tingkat toleransi yang cukup terhadap tekanan lingkungan. Nilai keanekaragaman yang lebih rendah pada area tambak mengindikasikan adanya penurunan kualitas perairan dan kecenderungan penyederhanaan struktur komunitas, meskipun belum mencapai kondisi ekstrem sebagaimana dilaporkan pada lokasi-lokasi dengan eutrofikasi berat dan dominansi spesies yang sangat tinggi. Dengan demikian, tingkat gangguan ekologis di Mangrove Bagek Kembar dapat dikategorikan masih berada pada level sedang dan berpotensi untuk dipulihkan melalui pengelolaan aktivitas pesisir yang lebih terkendali.

Hasil ini menegaskan bahwa indeks keanekaragaman fitoplankton merupakan indikator yang sensitif dan relevan dalam menilai kesehatan ekosistem mangrove serta responsnya terhadap tekanan antropogenik. Pemantauan keanekaragaman fitoplankton secara berkala dapat dimanfaatkan sebagai alat evaluasi jangka panjang kualitas perairan dan sebagai sistem peringatan dini terhadap degradasi ekosistem pesisir. Selain itu, parameter ini memiliki nilai praktis dalam mengevaluasi keberhasilan program rehabilitasi mangrove dan dalam perencanaan zonasi kegiatan budidaya agar tidak menurunkan stabilitas dan fungsi ekologis ekosistem mangrove secara keseluruhan.

Indeks Kemerataan Spesies Fitoplankton

Nilai indeks kemerataan spesies fitoplankton (E) pada kawasan Mangrove Bagek Kembar ditampilkan pada **Gambar 5**. Secara umum, nilai kemerataan menunjukkan bahwa distribusi individu antar spesies relatif seimbang. Nilai kemerataan fitoplankton secara keseluruhan di kawasan Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Mangrove Bagek Kembar sebesar 0,517, yang mengindikasikan bahwa tidak terjadi dominansi ekstrem oleh satu spesies tertentu. Kondisi ini mencerminkan stabilitas struktur komunitas fitoplankton di perairan mangrove. Kemerataan yang baik menunjukkan kemampuan ekosistem dalam mendukung keberadaan berbagai spesies secara proporsional.



Gambar 5. Perbandingan indeks kemerataan spesies fitoplankton antar stasiun di KEE Bagek kembar

Nilai indeks kemerataan fitoplankton (E) di kawasan Mangrove Bagek Kembar menunjukkan distribusi individu antar spesies yang relatif seimbang, dengan nilai kemerataan keseluruhan sebesar 0,517. Kondisi ini mencerminkan bahwa sebagian besar spesies fitoplankton memiliki peluang yang relatif sama untuk berkembang. Kemerataan tersebut berkaitan dengan kondisi parameter lingkungan yang relatif stabil pada seluruh stasiun pengamatan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Stabilitas lingkungan menjadi faktor penting dalam mencegah dominansi berlebihan oleh spesies tertentu.

Mangrove rehabilitasi dan mangrove alami, tingkat kekeruhan yang rendah (20–20,5 NTU) memungkinkan penetrasi cahaya yang lebih optimal bagi proses fotosintesis. Intensitas cahaya yang cukup tinggi pada mangrove rehabilitasi (965) mendukung pertumbuhan berbagai spesies fitoplankton secara proporsional. Kondisi ini berbeda dengan area tambak yang memiliki kekeruhan lebih tinggi (65 NTU), sehingga berpotensi membatasi beberapa spesies sensitif terhadap cahaya. Perbedaan kondisi fisika perairan ini berpengaruh terhadap pola distribusi individu antar spesies fitoplankton.

Parameter kimia perairan, khususnya pH dan salinitas, juga berperan dalam membentuk kemerataan komunitas fitoplankton. Nilai pH yang relatif netral hingga sedikit basa (7,2–7,9) serta salinitas yang seragam (30 ppt) pada seluruh lokasi penelitian menciptakan kondisi lingkungan yang toleran bagi berbagai spesies fitoplankton. Keseragaman parameter ini mengurangi tekanan selektif ekstrem terhadap spesies tertentu. Dengan demikian, komunitas fitoplankton cenderung mempertahankan kemerataan yang cukup baik.

Secara keseluruhan, kemerataan fitoplankton di kawasan Mangrove Bagek Kembar

mencerminkan kondisi ekosistem perairan yang relatif stabil dan belum mengalami tekanan lingkungan yang berat. Nilai kemerataan yang sedang menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi parameter lingkungan, perubahan tersebut belum cukup kuat untuk memicu ketimpangan struktur komunitas. Implikasi dari hasil ini adalah bahwa pengelolaan kualitas perairan mangrove perlu difokuskan pada pemeliharaan stabilitas parameter fisika dan kimia perairan. Pendekatan ini penting untuk menjaga keseimbangan komunitas fitoplankton sebagai bioindikator kualitas perairan.

Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian di kawasan mangrove dan pesisir yang melaporkan nilai kemerataan sedang hingga tinggi pada perairan yang masih mendukung kehidupan biota dan belum mengalami degradasi berat. Studi di beberapa lokasi pesisir menunjukkan bahwa komunitas fitoplankton dengan nilai kemerataan tinggi umumnya ditemukan pada perairan dengan kualitas lingkungan relatif baik, meskipun dalam beberapa sistem budidaya yang mengalami tekanan nutrisi tinggi, nilai kemerataan dapat tetap tinggi tetapi diikuti oleh penurunan keanekaragaman. Fenomena tersebut menegaskan bahwa kemerataan sensitif terhadap distribusi individu antargenus, namun perlu diinterpretasikan secara bersamaan dengan indeks keanekaragaman dan dominansi untuk memperoleh gambaran kondisi ekosistem yang lebih utuh (Surbakti *et al.*, 2025).

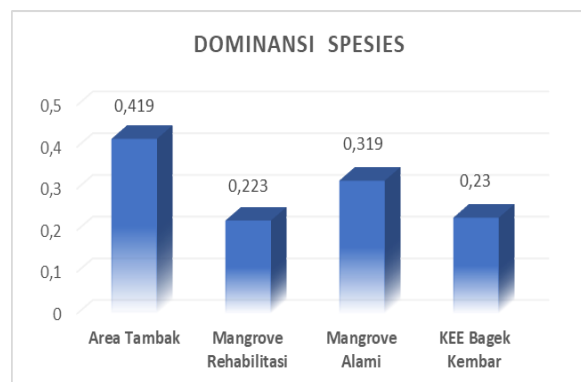
Secara parsial, kemerataan fitoplankton di Mangrove Bagek Kembar merefleksikan kondisi komunitas perairan yang relatif stabil dan belum menunjukkan tanda-tanda dominansi ekstrem yang umumnya berkaitan dengan pencemaran berat atau eutrofikasi lanjut. Dibandingkan dengan kawasan pesisir yang telah mengalami tekanan lingkungan tinggi, nilai kemerataan di lokasi ini mengindikasikan kualitas perairan yang lebih baik serta keseimbangan struktur komunitas yang masih terjaga. Temuan ini memperkuat interpretasi bahwa tekanan lingkungan di Mangrove Bagek Kembar masih berada dalam batas toleransi ekosistem.

Indeks kemerataan memiliki nilai strategis sebagai indikator pendukung dalam penilaian kualitas perairan mangrove, khususnya jika dikombinasikan dengan indeks keanekaragaman dan dominansi. Pemantauan kemerataan secara berkala berpotensi mendeteksi perubahan awal pada struktur komunitas fitoplankton sebelum terjadi penurunan keanekaragaman atau peningkatan dominansi spesies toleran. Informasi ini penting

sebagai dasar pengelolaan dan konservasi ekosistem mangrove secara berkelanjutan, termasuk dalam pengaturan aktivitas tambak, wisata, dan pemanfaatan sumber daya pesisir lainnya agar tidak mengganggu keseimbangan ekologis perairan.

Indeks Dominansi Spesies Fitoplankton

Nilai indeks dominansi fitoplankton (D) pada setiap stasiun pengamatan ditampilkan pada **Gambar 6**. Nilai dominansi menunjukkan kecenderungan rendah pada seluruh lokasi penelitian. Nilai dominansi fitoplankton secara keseluruhan di kawasan Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Mangrove Bagek Kembar sebesar 0,23, yang mengindikasikan tidak adanya spesies yang mendominasi secara berlebihan. Kondisi ini mencerminkan keseimbangan struktur komunitas fitoplankton di perairan mangrove. Dominansi yang rendah menunjukkan bahwa ekosistem perairan berada pada kondisi relatif stabil.



Gambar 6. Perbandingan indeks dominansi spesies fitoplankton antar stasiun di KEE Bagek kembar

Nilai indeks dominansi fitoplankton yang rendah ($D = 0,23$) menunjukkan bahwa tidak ada satu spesies yang mendominasi secara berlebihan di seluruh kawasan penelitian. Kondisi ini berkaitan erat dengan parameter lingkungan yang relatif homogen, khususnya salinitas (30 ppt) dan kisaran suhu air yang tidak ekstrem. Lingkungan yang stabil cenderung mendukung koeksistensi antar spesies, sehingga dominansi dapat ditekan. Hal ini terlihat jelas pada mangrove rehabilitasi dan mangrove alami dengan kekeruhan rendah dan kondisi fisika-kimia yang lebih seimbang.

Sebaliknya, meskipun area tambak memiliki kekeruhan dan pH yang lebih tinggi, dominansi fitoplankton tetap berada pada kategori rendah. Kondisi ini mengindikasikan

bahwa tekanan lingkungan di kawasan tersebut belum mencapai tingkat yang menyebabkan ledakan populasi satu spesies tertentu. Dengan demikian, parameter lingkungan di kawasan Mangrove Bagek Kembar secara umum masih mendukung keseimbangan struktur komunitas fitoplankton.

Pola dominansi rendah tersebut sejalan dengan temuan pada berbagai ekosistem mangrove dan pesisir yang memiliki kualitas perairan relatif baik atau hanya mengalami degradasi ringan hingga sedang. Pada kondisi seperti ini, komunitas fitoplankton umumnya dicirikan oleh keanekaragaman sedang hingga tinggi dan tidak adanya spesies yang mendominasi secara mencolok, sehingga struktur komunitas cenderung lebih stabil. Studi di sejumlah kawasan mangrove dan perairan pesisir Indonesia menunjukkan bahwa dominansi rendah sering ditemukan pada perairan yang masih mampu mendukung kehidupan biota secara optimal (Hutami *et al.*, 2018; Aminah *et al.*, 2020; Samudera *et al.*, 2021; Jamiyyah *et al.*, 2025).

Sebaliknya, berbagai kajian di perairan yang mengalami pencemaran berat atau eutrofikasi tinggi melaporkan nilai dominansi yang meningkat tajam, yang ditandai oleh penyederhanaan komunitas dan dominasi satu atau dua spesies toleran. Kondisi ini banyak dijumpai pada sungai dan pesisir dengan tekanan nutrisi tinggi, seperti di bagian hilir Sungai Ciliwung dan pesisir Timur Surabaya, di mana peningkatan masukan limbah diikuti oleh penurunan keanekaragaman dan ketidakseimbangan struktur komunitas fitoplankton. Fenomena tersebut menegaskan bahwa indeks dominansi sangat sensitif terhadap perubahan kualitas perairan dan mencerminkan tingkat tekanan antropogenik yang bekerja pada ekosistem (Putri & Sari, 2015; Sirait *et al.*, 2018; Djohan & Azmi, 2020; Fitriani & Sudarsono, 2023).

Berdasarkan hasil penelitian ini, dominansi fitoplankton yang rendah di Mangrove Bagek Kembar mengindikasikan bahwa ekosistem masih berada pada kondisi relatif seimbang dan belum mengalami penyederhanaan komunitas secara ekstrem. Tidak ditemukannya dominansi tinggi membedakan kawasan ini dari berbagai perairan pesisir tercemar yang dicirikan oleh dominasi kuat spesies toleran atau penyebab blooming. Dengan demikian, tekanan

antropogenik di kawasan ini dapat dikategorikan masih dalam batas toleransi ekosistem, sehingga kualitas perairan secara ekologis tergolong cukup baik atau stabil moderat.

Indeks dominansi memiliki peran penting sebagai alat pemantauan ekologi untuk mendeteksi perubahan keseimbangan komunitas fitoplankton dari waktu ke waktu. Peningkatan dominansi dapat menjadi sinyal awal terjadinya degradasi kualitas perairan, terutama akibat eutrofikasi dan tekanan antropogenik yang tidak terkendali. Oleh karena itu, pengendalian aktivitas manusia di sekitar mangrove, seperti tambak, wisata, dan pembuangan limbah, menjadi kunci dalam mempertahankan struktur komunitas yang seimbang. Integrasi indeks dominansi dengan keanekaragaman, pemerataan, serta parameter fisika–kimia perairan dapat

memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan berkelanjutan KEE Mangrove Bagek Kembar maupun ekosistem pesisir sejenis.

Parameter Fisika dan Kimia Perairan

Kondisi parameter fisika dan kimia perairan di kawasan Ekosistem Mangrove Bagek Kembar disajikan pada **Tabel 2**. Parameter yang diamati meliputi suhu, pH, salinitas, dan kecerahan perairan pada setiap stasiun pengamatan. Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi nilai antar stasiun yang mencerminkan perbedaan karakteristik lingkungan. Secara umum, nilai parameter fisika dan kimia perairan masih berada dalam kisaran yang mendukung kehidupan organisme perairan, khususnya fitoplankton.

Tabel 2. Parameter Lingkungan

No.	Parameter Lingkungan	Rata-rata		
		Area Tambak	Mangrove Rehab	Mangrove Alami
1.	Intensitas Cahaya	925	965	671
2.	Suhu air (C)	32	34	35
3.	Suhu Lingkungan (C)	34,9	34	33,6
4.	Kelembaban (%)	55%	51%	54%
5.	Kekeruhan (NTU)	65	20,5	20
6.	Derajat Keasaman (pH)	7,9	7,5	7,2
7.	Salinitas (ppt)	30 ppt	30 ppt	30 ppt

Parameter fisika–kimia perairan di Mangrove Bagek Kembar menunjukkan variasi antar stasiun yang dipengaruhi oleh kondisi lokal seperti pasang surut, masukan air tawar, serta aktivitas manusia di sekitarnya, termasuk tambak dan pariwisata (Swain *et al.*, 2020; Dhal *et al.*, 2019; Dũng *et al.*, 2025). Suhu dan kecerahan perairan berperan penting dalam mengontrol metabolisme, fotosintesis, dan produktivitas primer fitoplankton, di mana perubahan dalam kisaran optimal mendukung pertumbuhan, sementara fluktuasi ekstrem berpotensi mengubah struktur komunitas (Trombetta *et al.*, 2019; De Melo *et al.*, 2025; Heinrichs *et al.*, 2025). Salinitas yang relatif stabil pada mangrove alami mencerminkan kondisi ekosistem yang lebih terkontrol, sedangkan fluktuasi salinitas yang lebih besar pada area tertekan secara antropogenik berimplikasi pada penurunan fungsi ekosistem mangrove (Ahmed *et al.*, 2022; Rũthig *et al.*, 2023; Dittmann *et al.*, 2022).

Dibandingkan dengan perairan pesisir yang mengalami eutrofikasi berat atau pencemaran tinggi, kisaran suhu, salinitas, dan kecerahan di Mangrove Bagek Kembar relatif lebih stabil, meskipun pengaruh aktivitas manusia telah terdeteksi (Ren *et al.*, 2025; Swain *et al.*, 2020). Kondisi ini menunjukkan bahwa tingkat tekanan antropogenik masih berada pada kategori sedang dan parameter fisika–kimia perairan masih mendukung keberlangsungan komunitas fitoplankton serta fungsi dasar ekosistem mangrove (Aulia & Hutasuhut, 2025; Dermawan & Mujib, 2025). Oleh karena itu, pemantauan fisika–kimia secara berkala yang diintegrasikan dengan indikator biotik fitoplankton direkomendasikan sebagai pendekatan ekologi terpadu untuk menilai kesehatan ekosistem dan mendukung pengelolaan mangrove yang adaptif dan berkelanjutan (Yan *et al.*, 2025).

Integrasi Bioindikator Fitoplankton terhadap Kualitas Perairan

Struktur komunitas fitoplankton di Mangrove Bagek Kembar menunjukkan kualitas perairan yang masih tergolong cukup baik dengan variasi karakter komunitas yang mengikuti gradien tekanan lingkungan (Febriansyah *et al.*, 2022; Aulia & Hutasuhut, 2025). Integrasi indikator biotik berupa kelimpahan, keanekaragaman (H'), kemerataan (E), dan dominansi dengan parameter fisika–kimia merupakan pendekatan yang sejalan dengan praktik mutakhir dalam penilaian kesehatan ekosistem mangrove dan pesisir (Febriansyah *et al.*, 2023; Aulia & Hutasuhut, 2025). Pendekatan ini dinilai lebih mampu menangkap respons ekosistem secara komprehensif dibandingkan pengukuran fisika–kimia semata, khususnya dalam mendeteksi tekanan antropogenik yang bersifat kumulatif seperti masukan nutrisi dan perubahan habitat perairan (Salsabila *et al.*, 2024; Hendrasarie & Kartika, 2024).

Pola komunitas fitoplankton menunjukkan bahwa area yang berdekatan dengan aktivitas tambak memiliki kelimpahan lebih tinggi akibat meningkatnya ketersediaan nutrisi dari aktivitas manusia (Febriansyah *et al.*, 2022). Sebaliknya, kawasan mangrove alami mempertahankan nilai keanekaragaman dan kemerataan yang lebih tinggi, yang mencerminkan kondisi lingkungan yang lebih stabil dan tekanan ekologis yang relatif lebih rendah (Salsabila *et al.*, 2024). Tidak ditemukannya dominansi ekstrem di seluruh stasiun menunjukkan bahwa komunitas fitoplankton belum mengalami penyederhanaan struktur yang umum dijumpai pada perairan tercemar berat atau kondisi hipertrofik (Hendrasarie & Kartika, 2024; Hossain *et al.*, 2025).

Perbandingan dengan berbagai penelitian di kawasan pesisir Indonesia menunjukkan bahwa perairan dengan tekanan nutrisi tinggi dan aktivitas manusia intensif umumnya dicirikan oleh kelimpahan sangat tinggi, keanekaragaman rendah, dan dominansi kuat oleh taksa toleran (Hendrasarie & Kartika, 2024; Salsabila *et al.*, 2024). Struktur komunitas di Mangrove Bagek Kembar yang masih mempertahankan keanekaragaman dan kemerataan relatif baik menempatkan kawasan ini pada kondisi ekologis yang lebih baik dibandingkan perairan pesisir yang telah mengalami eutrofikasi berat. Temuan

ini menegaskan peran fitoplankton sebagai bioindikator yang andal dalam pemantauan kualitas perairan mangrove dan mendukung rekomendasi pemantauan berkala berbasis indeks ekologi yang terintegrasi dengan parameter fisika–kimia untuk pengelolaan ekosistem mangrove yang adaptif dan berkelanjutan (Febriansyah *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2024; Aulia & Hutasuhut, 2025).

Kesimpulan

Kualitas perairan di Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Mangrove Bagek Kembar secara umum berada pada kondisi cukup baik dengan tingkat tekanan lingkungan sedang, sebagaimana tercermin dari integrasi struktur komunitas fitoplankton dan parameter fisika–kimia perairan. Parameter fisika–kimia seperti suhu, salinitas, dan kecerahan masih berada dalam kisaran yang mendukung fungsi ekosistem mangrove.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti ucapkan terima kasih pada Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Mataram yang sudah memfasilitasi berlangsungnya penelitian ini sehingga dapat diselesaikan sesuai waktu dan tahapan kerja yang telah disusun. Kemudian peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman yang sudah membantu dalam pengambilan sampel.

Referensi

- Aaimérance, K., Daniel, K., Davy, Z., Thomas, E., & Tchoumboe, P. (2022). Species richness, diversity and distribution of phytoplankton in fertilised ponds of the Western Highlands agro-ecological zone of Cameroon. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 19(4), 1–12. <https://doi.org/10.9734/ajee/2022/v19i4423>
- Ahmed, S., Sarker, S., Friess, D. A., Jacobs, M., Islam, M., Alam, M., Suvo, M. A. H., Hossain, M., Dey, T., Sullibie, C., Naabeh, S., & Pretzsch, H. (2022). Salinity reduces site quality and mangrove forest functions: From monitoring to understanding. *Science of the Total Environment*, 824,

158662.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158662>
- Aminah, S., Nuraini, R., & Djunaedi, A. (2020). Komposisi dan kelimpahan fitoplankton di perairan Pandansari, Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(1), 81–86. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i1.25793>
- Apresia, F., & Wahyudi, N. (2025). Stabilitas ekosistem marikultur udang vannamei pada komunitas fitoplankton melalui indeks saprobik di Desa Kedongkelor, Kabupaten Pemalang. *Journal of Marine Research*, 14(2). <https://doi.org/10.14710/jmr.v14i2.50555>
- Arofah, S., Sari, L., & Kusdarwati, R. (2021). The relationship with N/P ratio to phytoplankton abundance in mangrove Wonorejo waters, Rungkut, Surabaya, East Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 718, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/718/1/012018>
- Aulia, P., & Hutasuhut, M. (2025). Phytoplankton diversity as a water quality bioindicator of mangrove ecosystems in the mangrove rehabilitation and mangrove ecotourism area of Merdeka Beach, Serdang Bedagai. *Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry*, 14(1), 575–583. <https://doi.org/10.14421/biomedich.2025.141.575-583>
- Barroso, G., Gomes, L., & Oliveira, S. (2025). Planktonic communities as indicators of water quality in a tropical reservoir. *Environmental Management*, 75, 1571–1588. <https://doi.org/10.1007/s00267-025-02157-7>
- Borics, G., Abonyi, A., Salmaso, N., & Ptáčník, R. (2020). Freshwater phytoplankton diversity: Models, drivers and implications for ecosystem properties. *Hydrobiologia*, 848, 53–75. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04332-9>
- Carneiro, F. M., Santos, A. M., Medina, N. M., De Marco Júnior, P., & Hortal, J. (2024). Drivers of phytoplankton diversity in tropical artificial ponds. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.03.001>
- Chandel, P., Mahajan, D., Thakur, K., Kumar, R., Kumar, S., Brar, B., Sharma, D., & Sharma, A. (2023). A review on plankton as a bioindicator: A promising tool for monitoring water quality. *World Water Policy*. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12137>
- Cui, Y., Dong, J., Wang, H., Shang, M., Xie, H., Du, Y., Li, Y., & Wang, Y. (2023). Spatiotemporal response of water quality in fragmented mangroves to anthropogenic activities and recommendations for restoration. *Environmental Research*, 117075. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117075>
- De Jong, C., Van Os, I., Sepúlveda-Rodríguez, G., De Baat, M., & Schoepf, V. (2025). High-resolution temporal assessment of physicochemical variability and water quality in tropical semi-enclosed bays and coral reefs. *Science of the Total Environment*, 968, 178810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178810>
- De Melo, V., Suter, M., & Narwani, A. (2025). Light and nutrients modulate the temperature-sensitivity of growth in phytoplankton. *Limnology and Oceanography Letters*, 10. <https://doi.org/10.1002/lol2.10453>
- Dermawan, A., & Mujib, A. (2025). Environmental monitoring of coastal waters in Poja Village, Bima Regency: A scientific base for sustainable marine resource management. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2). <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.8836>
- Dhal, P., Kopprio, G. A., & Gärdes, A. (2019). Insights on aquatic microbiome of the Indian Sundarbans mangrove areas. *PLoS ONE*, 14(2), e0221543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221543>
- Dittmann, S., Mosley, L. M., Stangoulis, J., Nguyen, V., Beaumont, K., Dang, T., Guan, H., Gutiérrez-Jurado, K., Lam-Gordillo, O., & McGrath, A. (2022). Effects of extreme salinity stress on a temperate mangrove ecosystem. *Frontiers*

- in Forests and Global Change*, 5, 859283.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.859283>
- Dongoran, K. (2025). Analysis of primary productivity and phytoplankton abundance in pond, estuary, and marine ecosystems in Maros coastal waters to support aquaculture sustainability. *Journal of Earth Kingdom*, 2(2).
<https://doi.org/10.61511/jek.v2i2.2025.1497>
- Febriansyah, S., Hakim, L., & Retnaningdyah, C. (2022). Evaluation of mangrove water quality in Pancar Cengkong and Sine, East Java, Indonesia using phytoplankton as bioindicators. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 14(2).
<https://doi.org/10.20473/jipk.v14i2.32459>
- Febriansyah, S., Hakim, L., Saptoyo, S., & Retnaningdyah, C. (2023). Phytoplankton diversity as a bioindicator of water quality mangrove ecosystems in Clungup Mangrove Conservation, Kondang Merak and Sempu Island, Malang Regency. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*.
<https://doi.org/10.22146/jtbb.73002>
- Fonge, A., Tabot, P., Mumbang, C., & Mange, C. (2016). Water quality and phytoplankton community structure in mangrove streams under different logging regimes in Cameroon. *African Journal of Ecology*, 54, 39–48. <https://doi.org/10.1111/aje.12256>
- Heinrichs, A., Happe, A., Koussoroplis, A., Hillebrand, H., Merder, J., & Striebel, M. (2025). Temperature-dependent responses to light and nutrients in phytoplankton. *Ecology*, 106.
<https://doi.org/10.1002/ecy.70027>
- Hendrasarie, N., & Kartika, S. (2024). Phytoplankton diversity as bioindicator of water quality in mangrove area of Surabaya East Coast. *Jurnal Presipitasi*, 21(1), 237–248.
<https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i1.237-248>
- Henson, S. A., Cael, B. B., Allen, S. R., & Dutkiewicz, S. (2021). Future phytoplankton diversity in a changing climate. *Nature Communications*, 12, 5372. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25699-w>
- Hilaluddin, F., Yusoff, F. M., Natrah, F. M. I., & Lim, P. T. (2020). Disturbance of mangrove forests alters estuarine phytoplankton community structure. *Marine Environmental Research*, 158, 104935.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104935>
- Hilaluddin, F., Yusoff, F., & Toda, T. (2020). Shifts in diatom dominance associated with seasonal changes in an estuarine-mangrove phytoplankton community. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 528.
<https://doi.org/10.3390/jmse8070528>
- Hossain, N., Rahman, S., Hossain, M., Hafiz, K., Sowrav, S., Masud-Ul-Alam, M., & Choudhury, T. (2025). Decoding phytoplankton quality in the waterways of the Sundarbans mangrove forest, Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*, 213, 117669.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117669>
- Hu, C., Xie, C., Yang, W., Liu, Q., Gao, Y., Zeng, Y., Li, H., Sun, J., & Wang, C. (2024). Function rather than structure of phytoplankton community reveals water quality changes in a restored lake. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196.
<https://doi.org/10.1007/s10661-024-12398-4>
- Hu, M., Sardans, J., Sun, D., Yan, R., Wu, H., Ni, R., & Peñuelas, J. (2024). Microbial diversity and keystone species drive nutrient cycling following mangrove restoration. *Environmental Research*, 238, 118715.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118715>
- Inyang, A., Wang, Y., & Cheng, H. (2022). Application of microalgae assemblages' parameters for ecological monitoring in mangrove forest. *Frontiers in Marine Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.87207>
- Jamiyyah, S., Japa, L., & Ilhamdi, M. (2025). Community structure of phytoplankton in the waters of Bagek Kembar mangrove ecosystem essential area, Sekotong, West

- Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(1).
<https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8617>
- Luo, J., Huang, Q., Zhang, H., Xu, Y., Zu, X., & Song, B. (2024). Impact of conservation in the Futian Mangrove National Nature Reserve on water quality in the last twenty years. *Forests*, 15(7), 1246.
<https://doi.org/10.3390/f15071246>
- Mack, M., Langley, J., Feller, I., & Chapman, S. (2024). The ecological consequences of nutrient enrichment in mangroves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108690.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108690>
- McSherry, M., Davis, R., Andradi-Brown, D., Ahmadi, G., Van Kempen, M., & Brian, S. (2023). Integrated mangrove aquaculture: The sustainable choice for mangroves and aquaculture? *Frontiers in Forests and Global Change*, 6.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1094306>
- Nindarwi, D., Samara, S., & Santanumurti, M. (2021). Nitrate and phosphate dynamics of phytoplankton abundance in Kanceng River, Sepuluh, Bangkalan, East Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679, 012063.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012063>
- Ren, J., Yang, G., Sun, W., Huang, K., Lu, C., Yu, W., Zhang, X., Chen, B., Liu, W., & Feng, T. (2025). Spatiotemporal changes in China's mangroves and their possible impacts on coastal water quality from 1998 to 2018. *Remote Sensing*, 17(9), 1640.
<https://doi.org/10.3390/rs17091640>
- Retnaningdyah, C., Arisoesilaningsih, E., Vidayanti, V., Salsabila, Q., & Purnomo, P. (2024). Habitat quality and aquatic biodiversity relationships in mangrove ecosystems of Bawean Island. *Biodiversitas*, 25(7).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d250723>
- Retnaningdyah, C., Febriansyah, S., & Hakim, L. (2023). Evaluation of the quality of mangrove ecosystems using macrozoobenthos as bioindicators in the southern coast of East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(12).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d231247>
- Retnaningdyah, C., Ridlo, I., Febriansyah, S., & Nusantara, O. (2021). Water quality evaluation of some mangrove ecosystems with variations of time restoration in South Malang, East Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 743, 012011.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/743/1/012011>
- Röthig, T., Trevathan-Tackett, S., Voolstra, C., Ross, C., Chaffron, S., Durack, P., Warmuth, L., & Sweet, M. (2023). Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems. *Global Change Biology*, 29, 4731–4749.
<https://doi.org/10.1111/gcb.16859>
- Saifullah, A., Kamal, A., Idris, M., Rajae, A., & Bhuiyan, M. (2016). Phytoplankton in tropical mangrove estuaries: Role and interdependency. *Forest Science and Technology*, 12, 104–113.
<https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1077479>
- Salmaso, N., & Tolotti, M. (2020). Phytoplankton and anthropogenic changes in pelagic environments. *Hydrobiologia*, 848, 251–284.
<https://doi.org/10.1007/s10750-020-04323-w>
- Salsabila, Q., Retnaningdyah, C., & Hakim, L. (2024). Evaluation of mangrove ecosystem quality in Bawean Island, East Java using phytoplankton as bioindicators. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 16(2).
<https://doi.org/10.20473/jipk.v16i2.55755>
- Suhartawan, B., & Daawia, D. (2025). Coastal Water Quality Index (CWQI) assessment of Youtefa Bay, Jayapura: Status and management implications. *Journal of Health and Nutrition Research*, 4(1).
<https://doi.org/10.56303/jhnresearch.v4i1.380>
- Sulochanan, B., Ratheesh, L., Veena, S., Padua, S., Prema, D., Rohit, P., Kaladharan, P., & Kripa, V. (2022). Water and sediment quality parameters of the restored mangrove ecosystem of Gurupura River and natural mangrove ecosystem of Shambhavi River in Dakshina Kannada, India. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113450.

-
- <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113450>
- Swain, S., Sahu, B., Pattanaik, S., Sahoo, R., Majhi, A., Satapathy, D., Panda, C., Roy, R., & Choudhury, S. (2020). Anthropogenic influence on the physico-chemical parameters of Dhamra estuary and adjoining coastal water of the Bay of Bengal. *Marine Pollution Bulletin*, 111826. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111826>
- Tagulao, K., Lai, W., Lebel, A., & Calheiros, C. (2023). Evaluating the potential of mangrove phytoremediation for mitigating coastal water eutrophication in Macao SAR: A field and mesocosm study. *Sustainability*, 15(10), 7830. <https://doi.org/10.3390/su15107830>
- Trombetta, T., Vidussi, F., Mas, S., Parin, D., Simier, M., & Mostajir, B. (2019). Water temperature drives phytoplankton blooms in coastal waters. *PLoS ONE*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214933>
- Ugya, A., Yan, C., Chen, H., & Wang, Q. (2025). Unravelling the eco-monitoring potential of phytoplankton towards a sustainable aquatic ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 216, 118021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118021>
- Yan, Y., He, S., Mai, J., Xu, R., He, Y., Zhu, W., Peng, Z., Wu, X., & Han, Y. (2025). Mangrove habitat health assessment in the Sanya River: Multidimensional analysis of diatom communities and physicochemical water properties. *Water*, 17(12), 1770. <https://doi.org/10.3390/w17121770>