

**ANALISIS STRUKTUR KOMUNITAS MAKROALGA DI PANTAI
TAMBAN INDAH KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**OLEH
MAULANA RIZKI AKBAR
NIM. 210602110042**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**ANALISIS STRUKTUR KOMUNITAS MAKROALGA DI PANTAI
TAMBAN INDAH KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**OLEH
MAULANA RIZKI AKBAR
NIM. 210602110042**

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si.)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Maulana Rizki Akbar
NIM : 210602110042
Program Studi : Biologi
Judul Skripsi : ANALISIS STRUKTUR KOMUNITAS MAKROALGA
DI PANTAI TAMBAN INDAH KABUPATEN MALANG

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 22 Juni 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.
NIP. 197410182003122002

(.....)

Pembimbing II : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd.
NIP. 196301141999031001

(.....)

Tim Penguji : Didik Wahyudi, M.Si.
NIP. 198601022018011001

(Ketua) (.....)

: Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si.
NIPPPK. 1987052220230211016

(Anggota) (.....)



Ketua Program Studi Biologi

Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si.
NIP. 196711131994022001

MOTTO

“Hidup santuy, mati beriman.”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maulana Rizki Akbar
NIM : 210602110042
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Analisis Struktur Komunitas Makroalga di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 2 Juli 2026
Yang membuat pernyataan



Maulana Rizki Akbar
NIM. 210602110042

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

ANALISIS STRUKTUR KOMUNITAS MAKROALGA DI PANTAI TAMBAN INDAH KABUPATEN MALANG

Maulana Rizki Akbar, Evika Sandi Savitri, Eko Budi Minarno

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi jenis makroalga, menganalisis struktur komunitas, dan menganalisis hubungan korelasi parameter lingkungan terhadap struktur komunitas makroalga di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang. Penelitian eksploratif ini menggunakan metode transek kuadrat (plot 1x1 m²) pada tiga stasiun dengan tiga kali ulangan. Hasil penelitian mengidentifikasi 10 spesies makroalga dari kelas Chlorophyceae, Rhodophyceae, dan Phaeophyceae. Analisis indeks ekologis menunjukkan Stasiun 1 (area muara) mengalami tekanan lingkungan dengan keanekaragaman rendah ($H' = 0,57$) dan dominansi tinggi ($D = 0,69$) oleh alga oportunistik *Cladophora coelothrix*. Sebaliknya, Stasiun 2 dan 3 merepresentasikan ekosistem yang stabil dengan keanekaragaman sedang ($H' = 2,21-2,26$) dan pemerataan tinggi ($J' = 0,96-0,98$). Analisis *Principal Component Analysis* (PCA) dengan total variansi 100% (PC1: 80,882% dan PC2: 19,118%) membuktikan bahwa tingginya kadar nitrat (2,570 mg/L) bertindak sebagai penekan ekologis yang memicu dominansi di Stasiun 1. Sementara itu, parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) berkorelasi linier positif sebagai penyokong utama tingginya keanekaragaman di Stasiun 2 dan 3. Selain itu, dinamika arus pesisir dan rembesan air tanah memicu akumulasi fosfat (0,2107 mg/L) secara spesifik di Stasiun 3.

Kata kunci: makroalga, Pantai Tamban Indah, PCA, struktur komunitas, TDS

ANALYSIS OF MACROALGAE COMMUNITY STRUCTURE AT TAMBAN INDAH BEACH, MALANG REGENCY

Maulana Rizki Akbar, Evika Sandi Savitri, Eko Budi Minarno

Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam
Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRACT

This study aimed to identify macroalgae composition, analyze community structure, and determine the correlation of environmental parameters with macroalgae community structure at Tamban Indah Beach, Malang Regency. This exploratory research used the quadrat transect method (1x1 m² plots) across three stations with three repetitions. The results identified 10 macroalgae species from the classes Chlorophyceae, Rhodophyceae, and Phaeophyceae. Ecological index analysis showed that Station 1 (estuary area) experienced environmental stress with low diversity ($H' = 0.57$) and high dominance ($D = 0.69$) by the opportunistic algae *Cladophora coelothrix*. In contrast, Stations 2 and 3 represented a more stable ecosystem with moderate diversity ($H' = 2.21$ – 2.26) and high evenness ($J' = 0.96$ – 0.98). Principal Component Analysis (PCA) with a total variance of 100% (PC1: 80.882% and PC2: 19.118%) proved that high nitrate levels (2.570 mg/L) act as an ecological stressor triggering dominance at Station 1. Meanwhile, Total Dissolved Solids (TDS) showed a positive linear correlation as the main supporter of high diversity at Stations 2 and 3. Furthermore, coastal current dynamics and submarine groundwater discharge triggered specific phosphate accumulation (0.2107 mg/L) at Station 3.

Keywords: community structure, macroalgae, PCA, Tamban Indah Beach, TDS

تحليل بنية مجتمع الطحالب الكبيرة وارتباطها بالمعايير البيئية في شاطئ تامبان إنداه، منطقة مالانج

مولانا رزقي أكبر، إيفيكا ساندي سافيتري، إيكو بودي مينارنو

قسم الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

المستخلص

مجتمع الطحالب الكبيرة في شاطئ تامبان إنداه، بمنطقة مالانج. استخدم هذا البحث الاستكشافي طريقة المربعات الممتدة (مربعات 1×1 م²) عبر ثلاث محطات مع ثلاثة تكرارات. حددت النتائج 10 أنواع من الطحالب الكبيرة تنتمي إلى طوائف الطحالب الخضراء (Chlorophyceae)، والطحالب الحمراء (Rhodophyceae)، والطحالب البنية (Phaeophyceae). أظهر تحليل المؤشرات البيئية أن المحطة 1 (منطقة المصب) تعاني من ضغط بيئي يتميز بتنوع منخفض ($H' = 0.57$) وهيمنة عالية ($D = 0.69$) للطحالب الانتهازية *Cladophora coelothrix* في المقابل، مثلت المحطتان 2 و 3 نظامًا بيئيًا أكثر استقرارًا بتنوع معتدل ($H' = 2.21-2.26$) وتكافؤ عالي ($J' = 0.96-0.98$). أثبت تحليل المكونات الرئيسية (PCA) بتباين إجمالي قدره 100% (PC1: 80.882% و PC2: 19.118%) أن المستويات العالية من النترات (2.570 ملغم/لتر) تعمل كضاغط بيئي يحفز الهيمنة في المحطة 1. وفي الوقت نفسه، أظهر إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) ارتباطًا خطيًا إيجابيًا باعتباره الداعم الرئيسي لارتفاع التنوع في المحطتين 2 و 3. علاوة على ذلك، أدت ديناميكيات التيار الساحلي وتصريف المياه الجوفية البحرية إلى تراكم محدد للفوسفات (0.2107 ملغم/لتر) في المحطة 3.

الكلمات المفتاحية: الطحالب الكبيرة، بنية المجتمع، شاطئ تامبان إنداه، PCA، TDS

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan naskah skripsi yang berjudul “Analisis Struktur Komunitas Makroalga di Pantai Tamban Indah Kabupaten Malang”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi umat manusia agar tetap di jalan Allah SWT.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini penulis telah mendapatkan banyak sekali motivasi, semangat, nasihat, bantuan, serta doa yang tidak pernah putus dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penulisan naskah skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Bambang Kirnadi dan Ibu Ning Antariningsih selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa untuk kelancaran dan kemudahan dalam setiap kegiatan perkuliahan khususnya dalam penelitian ini.
2. Prof. Dr. Hj. Retno Susilowati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Evika Sandi Savitri M.P. selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta memberikan saran dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing penulis sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd. selaku pembimbing II yang telah memberikan masukan dan saran dalam membimbing yang berkaitan dengan integrasi sains dan Islam.
5. Didik Wahyudi, M.Si. dan Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si. selaku penguji yang juga memberikan berbagai koreksi serta saran terhadap penulisan skripsi ini sehingga menjadi lebih josjis.

6. Prof. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si. selaku dosen wali yang sudah membimbing saya selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan laboran di Program Studi Biologi Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan pengajaran serta ilmunya kepada penulis selama ini hingga penulis mampu menyelesaikan studi ini.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2021 di Program Studi Biologi, Fakultas Sains & Teknologi Universitas Islam Negeri Malang yang memberikan semangat dan membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

Semoga dukungan dan semua amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis akan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Skripsi ini sudah ditulis dengan sebaik-baiknya. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 2 Juli 2026

Maulana Rizki Akbar

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
المستخلص	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Rumusan Masalah	23
1.3 Tujuan Penelitian	23
1.4 Manfaat Penelitian	24
1.5 Batasan Masalah	24
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	25
2.1 Tinjauan Makroalga Menurut Perspektif Al-Qur'an	25
2.2 Tinjauan Makroalga dalam Perspektif Sains	29
2.2.1 Morfologi Makroalga	30
2.2.1.1 Tipe Talus	30
2.2.1.2 Tipe Percabangan	34
2.2.1.3 Tipe Pertumbuhan	35
2.2.1.4 Tekstur Talus	36
2.2.1.5 Struktur Khusus	38
2.2.2 Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Makroalga	39
2.2.3 Habitat dan Distribusi Makroalga	44
2.2.4 Klasifikasi Makroalga	45
2.2.4.1 Makroalga Hijau (<i>Chlorophyta</i>)	45

2.2.4.2 Makroalga Merah (<i>Rhodophyta</i>).....	47
2.2.4.3 Makroalga Coklat (Divisi Ochrophyta; Kelas Phaeophyceae)	49
2.2.5 Siklus Reproduksi Makroalga	50
2.2.6 Manfaat Makroalga	52
2.3 Analisis Struktur Komunitas	55
2.4 Metode Transek Kuadrat	59
2.5 Analisis Komponen Utama	61
2.6 Pantai Tamban Indah.....	62
BAB III METODE PENELITIAN	64
3.1 Rancangan Penelitian	64
3.2 Variabel Penelitian	64
3.2.1 Variabel Kontrol.....	64
3.2.2 Variabel Terikat.....	64
3.2.3 Variabel Bebas	64
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	64
3.4 Alat dan Bahan	64
3.5 Prosedur Penelitian.....	65
3.5.1 Observasi Lokasi	65
3.5.2 Penentuan Titik Pengambilan Data	65
3.5.3 Teknik Pengambilan Data	67
3.5.4 Pengukuran Faktor Lingkungan	67
3.5.5 Identifikasi Makroalga	68
3.6 Analisis Data	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Komposisi Jenis dan Karakteristik Makroalga.....	69
4.1.1 Spesimen 1	69
4.1.2 Spesimen 2	71
4.1.3 Spesimen 3	73
4.1.4 Spesimen 4	75
4.1.5 Spesimen 5	77
4.1.6 Spesimen 6	80
4.1.7 Spesimen 7	82
4.1.8 Spesimen 8	84
4.1.9 Spesimen 9	87
4.1.10 Spesimen 10	89

4.2 Struktur Komunitas Makroalga	91
4.2.1 Distribusi Makroalga	91
4.2.2 Analisis Indeks Ekologis Komunitas Makroalga	94
4.3 Korelasi Parameter Lingkungan terhadap Struktur Komunitas Makroalga	98
4.3.1 Profil Parameter Lingkungan	98
4.3.2 Analisis Korelasi Parameter Lingkungan terhadap Struktur Komunitas Makroalga	101
4.4 Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an.....	107
BAB V PENUTUP	112
5.1 Kesimpulan.....	112
5.2 Saran	113
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN.....	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beberapa contoh spesies makroalga	29
Gambar 2.2 Struktur talus kompleks pada makroalga.....	32
Gambar 2.3 Contoh makroalga hijau (Chlorophyta)	45
Gambar 2.4 Contoh makroalga merah (Rhodophyta)	47
Gambar 2.5 Contoh makroalga coklat (Phaeophyta).....	49
Gambar 2.6 Siklus reproduksi seksual pada makroalga	52
Gambar 3.1 Pemetaan titik transek di setiap stasiun penelitian	66
Gambar 3.2 Desain transek kuadrat penelitian	67
Gambar 4.1 Perbandingan morfologi <i>Ulva lactuca</i>	69
Gambar 4.2 Perbandingan morfologi <i>Cladophora coelothrix</i>	71
Gambar 4.3 Perbandingan morfologi <i>Boergesenia forbesii</i>	73
Gambar 4.4 Perbandingan morfologi <i>Halimeda opuntia</i>	75
Gambar 4.5 Perbandingan morfologi <i>Palmaria palmata</i>	77
Gambar 4.6 Perbandingan morfologi <i>Acanthophora dendroides</i>	80
Gambar 4.7 Perbandingan morfologi <i>Sarconema filiforme</i>	82
Gambar 4.8 Perbandingan morfologi <i>Sargassum aquifolium</i>	84
Gambar 4.9 Perbandingan morfologi <i>Turbinaria ornata</i>	87
Gambar 4.10 Perbandingan morfologi <i>Padina australis</i>	89
Gambar 4.11 Biplot analisis komponen utama: hubungan indeks ekologis makroalga dengan parameter lingkungan di Pantai Tamban Indah.	104
Gambar 4.12 Bobot kontribusi (<i>Loading Factors</i>) variabel terhadap <i>Principal Component 1 (PC 1)</i>	106
Gambar 4.13 Bobot kontribusi (<i>Loading Factors</i>) variabel terhadap <i>Principal Component 2 (PC 2)</i>	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori hasil perhitungan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H')	56
Tabel 3.1 Pemetaan stasiun dan transek penelitian	66
Tabel 4.1 Sebaran makroalga pada lokasi penelitian	93
Tabel 4.2 Hasil Analisis indeks ekologis komunitas makroalga di Pantai Tamban Indah	96
Tabel 4.3 Hasil pengukuran parameter lingkungan di Pantai Tamban Indah	101
Tabel 4.4 Ringkasan nilai eigenvalue dan kontribusi variansi seluruh <i>Principal Component</i> (PC).....	102

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Satu di antara kuasa Allah yang secara nyata dapat diamati adalah adanya penciptaan tumbuhan. Allah telah menumbuhkan di bumi tumbuhan yang beraneka ragam jenis sebagai bentuk kuasa-Nya. Hal ini sebagaimana telah tercantum dalam Al-Qur'an surat Taha ayat 53:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَّكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ
أَزْوَاجًا مِّن تَبَاتٍ شَتَّى ﴿٥٣﴾

Artinya: “Yang telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan Yang telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan, dan menurunkan dari langit air hujan. Maka Kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam.” [QS. Taha (20):53]

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah telah menggunakan kekuasaannya untuk menciptakan beraneka ragam tumbuhan di bumi. Tafsir Al-Mishbah menjelaskan bahwa kata *azwaj* yang menguraikan aneka tumbuhan dapat dipahami dalam arti jenis-jenis tumbuhan, seperti tumbuhan berkeping dua (dikotil) semacam kacang-kacangan, atau tumbuhan berkeping satu (monokotil) seperti pisang, nanas, palem dan lain-lain. Dalam tafsir ini juga dijelaskan perbedaan redaksi firman-Nya: “maka Kami tumbuhkan dengannya berjenis-jenis tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam” beralih menjadi persona pertama (Kami) sedang sebelumnya adalah persona ketiga (Dia) dalam firman-Nya: “Dia yang telah menjadikan bagi kamu bumi sebagai hamparan”. Pengalihan bentuk redaksi tersebut bertujuan mengisyaratkan bahwa penumbuhan aneka tumbuhan dengan bermacam-macam jenis bentuk dan rasanya itu merupakan hal-hal yang sangat menakjubkan lagi

membuktikan betapa agung Penciptanya (Shihab, 2002). Dari tafsir tersebut dapat dipahami bahwa keanekaragaman jenis tumbuhan di bumi merupakan salah satu bentuk keagungan dari Allah SWT.

Dalam tinjauan Al-Qur'an, terdapat kelompok makhluk hidup yang dapat dikategorikan ke dalam kelompok tumbuhan air, yakni makroalga. Namun, menurut tinjauan sains dan perkembangan ilmu taksonomi, makroalga bukan bagian dari kelompok tumbuhan karena struktur tubuhnya tidak memiliki diferensiasi akar, batang, dan daun. Meskipun demikian, perbedaan klasifikasi ini sama sekali tidak mereduksi nilai penciptaan dan fungsinya di alam. Terlepas dari statusnya yang bukan tumbuhan menurut taksonomi, Allah SWT mengaruniakan pigmen klorofil pada makroalga yang memungkinkannya berfotosintesis. Melalui mekanisme fisiologis inilah, makroalga menjalankan peran krusial yang identik dengan tumbuhan, yakni sebagai salah satu produsen primer bagi ekosistem laut (Ulfah et al., 2017). Dengan demikian, makroalga dapat dimasukkan ke dalam cakupan makna tumbuhan yang dibahas di dalam Al-Qur'an karena kemiripan fungsinya secara ekologis.

Peran ekologis yang dimainkan oleh makroalga membuat keberadaan dan keanekaragaman makroalga menjadi salah satu tolok ukur penting bagi kesehatan ekosistem pantai. Selain sebagai produsen yang dibekali kemampuan fotosintesis, makroalga juga memainkan peran lain sebagai akumulator polutan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator lingkungan dan bioremediasi (Perisha et al., 2022). Ira et al. (2018) menambahkan bahwa makroalga turut berkontribusi dalam memperkuat substrat dasar sehingga dapat meningkatkan ketahanan substrat terhadap abrasi dan gelombang laut.

Peran krusial makroalga bagi ekosistem pantai menjadikan kajian mengenai struktur komunitas makroalga menjadi topik yang relevan untuk diteliti. Pemahaman terkait diversitas, kelimpahan, pemerataan dan dominansi spesies berbasis indeks ekologis diperlukan untuk meninjau kestabilan ekosistem pesisir (D'Archino & Piazzi, 2021), sebab tingginya nilai keanekaragaman, kelimpahan, dan pemerataan seringkali menunjukkan ekosistem yang lebih stabil (Lucini et al., 2020). Menurut Kitikidou et al. (2024), penelitian analisis struktur komunitas makroalga umumnya menggunakan berbagai indeks ekologis yang hasilnya dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam pembuatan strategi konservasi maupun kebijakan pengelolaan ekosistem, di antaranya Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), Indeks Pemerataan Pielou (J'), Indeks Dominansi Simpson (D), dan Indeks Kekayaan Margalef (D_{Mg}). Indeks-indeks tersebut relevan digunakan dalam penelitian keanekaragaman makroalga sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian Analdi et al. (2025) dan Tu et al. (2021).

Keempat indeks tersebut secara fungsional saling melengkapi dan tidak tumpang tindih dalam mengukur kondisi ekosistem. Selain itu, kombinasi indeks-indeks tersebut dinilai lebih relevan untuk diaplikasikan pada metode sampling di alam terbuka dibandingkan dengan indeks lain yang membutuhkan metode sensus populasi secara keseluruhan. Masing-masing indeks memiliki batasan fungsi evaluasi yang spesifik. Indeks Margalef digunakan untuk mengestimasi tingkat kekayaan jenis makroalga pada jumlah sampel yang bervariasi. Indeks Shannon-Wiener dan Indeks Pielou diaplikasikan untuk mengevaluasi tingkat keanekaragaman dan keseimbangan proporsi jumlah individu yang menyusun suatu komunitas. Sementara itu, Indeks Simpson difungsikan secara khusus untuk

mendeteksi ada tidaknya dominansi atau monopoli ruang oleh spesies tertentu yang lebih melimpah di suatu perairan (Magurran, 2004).

Dengan menggunakan kombinasi indeks tersebut, variasi atau perbedaan nilai yang dihasilkan tidak diartikan sebagai data yang saling bertentangan, melainkan saling mengonfirmasi kondisi nyata ekosistem (Magurran, 2004). Sebagai contoh, apabila suatu wilayah perairan memiliki nilai kekayaan jenis (D_{Mg}) yang tinggi, namun diikuti dengan tingginya nilai dominansi (D) dan rendahnya pemerataan (J'), kondisi tersebut merupakan indikasi bahwa ekosistem sedang mengalami tekanan lingkungan. Tekanan tersebut memicu terjadinya ledakan populasi (*blooming*) pada spesies oportunistik yang memiliki tingkat toleransi lebih tinggi, tanpa menghilangkan keberadaan taksa atau jenis lain di habitat tersebut.

Penelitian terkait struktur komunitas makroalga telah dilakukan oleh Handayani et al. (2023) di Kepulauan Seribu, Teluk Jakarta. Penelitian tersebut meneliti tentang keanekaragaman makroalga pada perairan tercemar Teluk Jakarta, Kepulauan Seribu serta meneliti korelasinya dengan parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap makroalga. Penelitian tersebut menemukan 41 spesies makroalga hidup pada sejumlah perairan tercemar di Teluk Jakarta dan menyimpulkan bahwa parameter lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap perbedaan nilai indeks ekologis yang diperoleh pada setiap lokasi pengambilan sampel. Penelitian ini memaparkan beberapa parameter kunci yang berpengaruh antara lain suhu, salinitas, pH, DO, TDS, serta ketersediaan nutrisi seperti nitrat dan fosfat (Handayani et al., 2023). Relevansi parameter lingkungan pada penelitian Handayani et al. (2023) diperkuat oleh penelitian Silaban & Kadmaer (2019) yang mengkaji pengaruh parameter lingkungan terhadap

kepadatan makroalga di Pesisir Kei Kecil, Maluku Tenggara. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa parameter fisika-kimia perairan memiliki pengaruh terhadap kepadatan makroalga di setiap stasiun.

Pentingnya peninjauan parameter lingkungan dalam penelitian struktur komunitas makroalga disebabkan oleh tingginya kebergantungan makroalga terhadap kondisi abiotik yang ideal. Hal ini karena masing-masing parameter berperan krusial terhadap berbagai proses metabolisme di dalam sel makroalga. *Total Dissolved Solids* (TDS) merepresentasikan material padatan dan ion-ion garam terlarut yang penting dalam menjaga tekanan osmotik sel makroalga agar tetap dalam kondisi isotonik (Peng et al., 2020). Derajat keasaman (pH) secara langsung mengendalikan laju metabolisme dan aktivitas enzim di dalam sel-sel makroalga (Awaluddin, 2013). Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) menunjukkan kadar oksigen bebas dalam perairan yang esensial untuk respirasi seluler (Kazbar et al., 2019). Selanjutnya, ketersediaan nitrat dan fosfat berpengaruh secara signifikan sebagai bahan baku pembentuk molekul energi (ATP), klorofil, asam nukleat, dan berbagai protein seluler (Lee, 2008). Seluruh parameter tersebut berinteraksi dan diperlukan oleh makroalga dalam kadar yang seimbang. Kadar yang optimal dapat mendukung tingginya diversitas dalam komunitas, sementara fluktuasi kadar yang tidak seimbang dapat mengancam kelangsungan hidup berbagai jenis makroalga dan memicu dominasi satu spesies oportunistik atas spesies lainnya (Tahiluddin, 2023).

Secara spesifik, kondisi parameter lingkungan yang optimal telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Di dalamnya,

baku mutu air laut yang ideal bagi kehidupan organisme laut harus memiliki tingkat keasaman (pH) berkisar antara 7,0 hingga 8,5, serta kadar oksigen terlarut (DO) yang berada di atas 5 mg/L. Selain itu, kadar alami nutrisi yang diizinkan menurut baku mutu adalah sebesar 0,06 mg/L untuk senyawa nitrat dan 0,015 mg/L untuk senyawa fosfat. Untuk parameter padatan terlarut, konsentrasi TDS air laut dalam kondisi normal yang mendukung regulasi osmotik umumnya berkisar antara 30.000 hingga 35.000 mg/L (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Seluruh parameter tersebut diperlukan oleh makroalga dalam kadar yang seimbang, karena fluktuasi kadar yang tidak seimbang atau melampaui ambang batas ideal baku mutu dapat memicu terjadinya dominasi satu spesies oportunistik atas spesies lainnya.

Pantai Tamban Indah merupakan ekosistem pesisir yang secara langsung terpengaruh oleh material dari muara Sungai Bang. Area muara ini telah terbukti secara ilmiah mengalami tekanan lingkungan berupa banjir repetitif setiap tahun akibat perubahan tata guna lahan di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Bang yang merusak bibir muara sungai di Pantai Tamban Indah (Amrie, 2021). Selain itu, laju sedimentasi yang tinggi, yaitu sebesar 15.369 m³ juga menjadi indikator tekanan ekosistem yang terjadi pada muara Sungai Bang (Vironita et al., 2010). Meskipun demikian, studi mengenai komunitas makroalga sebagai organisme pemegang peran penting di Pantai Tamban Indah yang berhadapan tekanan lingkungan sebagaimana dijelaskan sebelumnya sejauh ini belum pernah dilaporkan. Adanya celah pengetahuan (*research gap*) inilah yang menjadi dasar pentingnya penelitian ini, dengan bertujuan untuk mengkaji struktur komunitas makroalga di lokasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi jenis dan karakteristik makroalga yang ditemukan di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang?
2. Bagaimana struktur komunitas makroalga yang meliputi keanekaragaman, kemerataan, dominansi, dan kekayaan jenis makroalga di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang?
3. Bagaimana korelasi antara parameter lingkungan dengan struktur komunitas makroalga yang meliputi keanekaragaman, kemerataan, dominansi, dan kekayaan jenis di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi komposisi jenis dan karakteristik makroalga yang ditemukan di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang.
2. Menganalisis struktur komunitas makroalga meliputi indeks keanekaragaman (H'), kemerataan (J'), dominansi (D), dan kekayaan jenis (D_{Mg}) makroalga di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang.
3. Menganalisis hubungan korelasi antara parameter lingkungan dan struktur komunitas makroalga meliputi indeks keanekaragaman (H'), kemerataan (J'), dominansi (D), dan kekayaan jenis (D_{Mg}).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai sumber referensi ilmiah mengenai struktur komunitas makroalga dan korelasinya dengan parameter lingkungan di Pantai Tamban Indah, Kabupaten Malang.
2. Menjadi referensi serta bahan pertimbangan bagi pengelola kawasan dalam upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem pesisir yang terdampak sedimentasi muara sungai.
3. Menjadi referensi bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi spesimen makroalga dilakukan dengan mengamati morfologi makroskopis, kemudian identifikasi dilakukan hingga tingkat spesies.
2. Analisis struktur komunitas makroalga dibatasi pada perhitungan indeks Keanekaragaman (H'), Kemerataan (J'), Dominansi (D), dan Kekayaan Jenis (D_{Mg}).
3. Parameter lingkungan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah *Dissolved Oxygen* (DO), *Total Dissolved Solids* (TDS), pH, kadar nitrat (NO_3), dan kadar fosfat (PO_4).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Makroalga Menurut Perspektif Al-Qur'an

Makroalga merupakan kelompok makhluk hidup yang tidak disebutkan secara spesifik namanya di dalam Al-Qur'an. Meskipun demikian, dalam tinjauan bahasa Al-Qur'an dan tafsir sains (ayat-ayat *kauniyyah*), makroalga dikategorikan sebagai tumbuhan atau *nabat*. Al-Qur'an secara inklusif menggunakan diksi *nabat* untuk merangkum segala vegetasi yang bersemi, menyerap air, dan berfotosintesis, termasuk vegetasi yang hidup di laut (*al-baḥr*) (Shihab, 2002). Secara taksonomi biologi modern, makroalga memang bukan bagian dari tumbuhan sejati (*Plantae*) karena tidak memiliki struktur diferensiasi akar, batang, dan daun. Namun, makroalga tetap memiliki berbagai karakter yang sangat identik dan berfungsi layaknya tumbuhan (Castro & Huber, 2024). Kesamaan fungsi fisiologis sebagai penghasil zat hijau (klorofil) dan produsen oksigen inilah yang membuat makroalga selaras dengan makna *nabat* dalam perspektif Al-Qur'an, yakni sebagai bagian integral dari ekosistem tumbuh-tumbuhan yang menopang kehidupan.

Makroalga merupakan bagian dari ayat-ayat *kauniyyah* (ayat alam semesta). Penciptaan makroalga diisyaratkan oleh Allah SWT dalam Al-Qur'an Surat Al-An'am ayat 99 yaitu sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا
نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ
وَالزَّيْتُونَ وَالرَّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ انْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ ۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ
لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya: “Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan maka Kami

keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.” [QS. Al-An’am (6): 99]

Shihab (2002) dalam *Tafsir Al-Mishbah* menjelaskan bahwa kata *khadhiran* pada ayat tersebut merujuk pada sesuatu yang berwarna hijau, yaitu bagian dari tumbuh-tumbuhan yang menghijau, yang dari padanya dikeluarkan butir-butir yang banyak atau bersusun-susun. Dalam pendekatan tafsir ilmiah (*tafsir ilmi*), bagian yang menghijau ini merupakan representasi dari keberadaan zat hijau daun atau klorofil. Klorofil bertindak sebagai komponen pembawa sifat autotrof yang paling mendasar di alam semesta.

Dalam konteks biologis, substansi *khadhiran* ini secara nyata tercermin pada karakteristik fisiologis makroalga. Meskipun secara taksonomi makroalga tidak dikelompokkan ke dalam tumbuhan, Allah SWT tetap membekali organisme ini dengan berbagai jenis pigmen klorofil di dalam kloroplasnya. Keberadaan klorofil tersebut memungkinkan makroalga untuk melakukan proses fotosintesis layaknya tumbuhan (Castro & Huber, 2024). Dengan demikian, kemampuan fotosintetik makroalga melalui kepemilikan zat hijau ini menjadi bukti empiris bahwa fungsi *khadhiran* yang diisyaratkan di dalam Al-Qur'an berlaku secara inklusif, baik bagi tumbuhan maupun makroalga (Shihab, 2002).

Lebih jauh lagi, kepemilikan zat hijau daun (*khadhiran*) tersebut tidak hanya berfungsi sebagai identitas fisiologis bagi makroalga, melainkan memegang peran penting dalam mekanisme konversi dan penyimpanan energi di alam. Peran spesifik

klorofil sebagai media pengonversi energi matahari ini diisyaratkan oleh Allah SWT dalam Surah Yasin ayat 80:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقَدُونَ ﴿٨٠﴾

Artinya: “(Dialah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau. Kemudian, seketika itu kamu menyalakan (api) darinya” [QS. Yasin (36):80].

Ayat di atas menguraikan fungsi dari tumbuhan termasuk makroalga (secara fungsional) sebagai pengikat dan penyedia energi. Dalam *Tafsir Al-Mishbah*, Shihab (2002) menjelaskan bahwa ayat ini berkaitan erat dengan proses asimilasi tumbuhan yang menyerap energi matahari. Penggunaan frasa *asy-syajar al-akhddhar* (pohon yang hijau) pada ayat tersebut merujuk pada keberadaan zat hijau atau klorofil yang menangkap energi foton matahari untuk melangsungkan fotosintesis. Hasil akhir dari proses fotosintesis ini berupa senyawa organik (glukosa) yang menyusun komponen tubuh tumbuhan atau biomassa. Melalui biomassa yang terbentuk itulah, energi matahari tersimpan dan kelak dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain, yang dalam permisalan ayat tersebut digambarkan melalui kayu hijau yang menghasilkan api sebagai sumber energi. (Shihab, 2002).

Seluruh karakter fisiologis, kemampuan makroalga dalam berfotosintesis, hingga peran ekologis makroalga sebagai penopang energi primer di lautan merupakan bukti nyata dari kemahakuasaan dan keteraturan yang dirancang oleh Allah SWT. Otoritas mutlak dalam mengatur, menguasai, dan menghidupkan seluruh komponen biotik di alam semesta ini telah ditegaskan oleh Allah SWT dalam Surah Al-Baqarah ayat 284:

لِلَّهِ مَا فِي السَّمُوتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَإِنْ تُبَدُّوا مَا فِي أَنْفُسِكُمْ أَوْ تُخْفَوْهُ يُحَاسِبْكُمْ بِهِ اللَّهُ
فَيَغْفِرُ لِمَنْ يَشَاءُ وَيُعَذِّبُ مَنْ يَشَاءُ وَاللَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٢٨٤﴾

Artinya: "Kepunyaan Allah-lah segala apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi. Dan jika kamu melahirkan apa yang ada di dalam hatimu atau kamu menyembunyikan, niscaya Allah akan membuat perhitungan dengan kamu tentang perbuatanmu itu. Maka Allah mengampuni siapa yang dikehendaki-Nya dan menyiksa siapa yang dikehendaki-Nya; dan Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu." [QS. Al-Baqarah (2): 284]

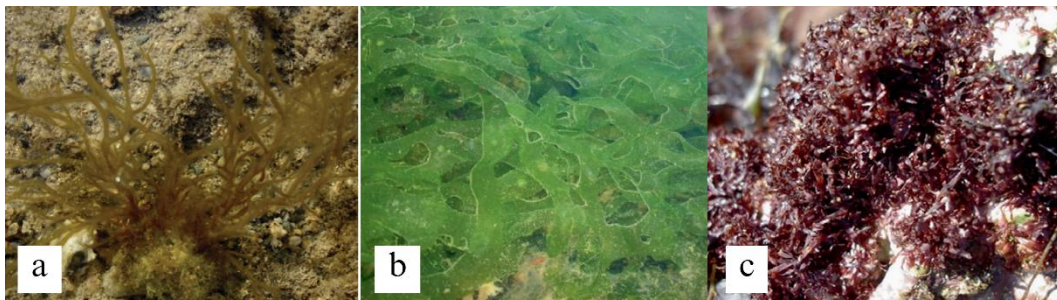
Kata *lillah* (milik Allah) yang mengawali ayat tersebut tidak sekadar bermakna kepemilikan, melainkan juga menegaskan bahwa Allah adalah Pencipta, Pengelola, dan Pengatur dari alam semesta. Penempatan kata tersebut di awal kalimat memberikan makna pengkhususan, yang berarti hak kepemilikan dan pengelolaan alam raya secara mutlak hanya berada di tangan-Nya. Oleh karena itu, seluruh jagat raya beserta isinya akan selalu tunduk pada aturan dan ketetapan Allah (Shihab, 2002).

Manifestasi "ketundukan" alam ini tercermin dari bagaimana makroalga menjalankan fungsi biologisnya secara teratur. Mekanisme makroalga yang menggunakan zat hijau daun (*khadhiran*) untuk menangkap energi matahari dan mengalirkannya ke dalam rantai makanan laut sebagai produsen merupakan wujud kepatuhan terhadap sistem alam (*sunnatullah*) yang telah Allah tetapkan. Semua proses yang begitu sistematis, presisi, dan menakjubkan tersebut pada hakikatnya terjadi semata-mata atas izin serta restu-Nya sebagai pemilik mutlak dari alam semesta (Shihab, 2002). Pada akhirnya, seluruh penjabaran terkait peran botani dan ekologi makroalga adalah bukti nyata untuk memperlihatkan kebesaran dan kekuasaan mutlak Allah SWT.

2.2 Tinjauan Makroalga dalam Perspektif Sains

Makroalga didefinisikan sebagai kelompok alga dengan ukuran yang besar. Ukuran yang besar dalam hal ini merujuk kepada golongan alga yang memiliki talus berukuran makroskopis, yaitu ukuran talus di atas 1-2 mm (Aziz dan Chasani, 2020). Talus makroalga dapat tumbuh mulai dari satu sentimeter hingga beberapa meter. Habitat makroalga adalah perairan tawar dan perairan laut. Namun, sebagian besar jenis makroalga hidup di ekosistem air laut. Di ekosistem habitatnya makroalga merupakan organisme yang bersifat bentik atau menempel pada substrat dasar. Makroalga cenderung ditemukan menempel pada substrat yang solid seperti batu, terumbu karang, dan pecahan karang. Sementara itu, sebagian kecil lainnya dapat menempel pada substrat pasir (Ulfah et al., 2017).

Makroalga merupakan kelompok organisme dengan karakteristik sel eukariotik, multiseluler, memiliki plastida, namun tidak memiliki jaringan pembuluh layaknya tumbuhan sejati. Hal inilah yang membedakan makroalga dengan tumbuhan sejati di perairan laut seperti lamun (*seagrass*). Lamun memiliki jaringan vaskular seperti *xylem* dan *floem* sebagai sarana transportasi nutrisi di sepanjang tubuhnya. Sementara makroalga memiliki struktur yang lebih sederhana di mana makroalga hanya mengandalkan proses difusi dalam mendistribusikan nutrisi ke seluruh tubuhnya (Pereira, 2021).



Gambar 2.1. Beberapa contoh spesies makroalga. (a) *Rosenvingea orientalis*; (b) *Ulva reticulata*; (c) *Gelidium micropterum* (Jha et al., 2009)

Secara garis besar makroalga dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya. Makroalga memiliki tiga jenis warna yang digunakan sebagai salah satu karakter pembeda dalam klasifikasinya yaitu hijau, merah, dan coklat. Perbedaan warna yang tampak pada makroalga disebabkan oleh perbedaan pigmen warna dominan yang terkandung dalam sel-selnya. Pigmen warna inilah yang menjadi salah satu dasar pengelompokan makroalga. Klorofil a dan b merupakan salah satu pigmen yang terdapat pada makroalga yang memberikan warna hijau dan dominan ditemukan pada alga hijau. Pigmen ini berperan dalam menangkap gelombang cahaya yang kemudian digunakan dalam proses fotosintesis Castro & Huber (2024). Selain klorofil makroalga juga mengandung beberapa pigmen warna lain. Zat pigmen tersebut di antaranya fikosianin yang berwarna biru, fikosantin yang berwarna coklat, fikoeritrin yang berwarna merah, pigmen karoten, serta pigmen xantofil (Sinyo & Somadayo, 2013).

2.2.1 Morfologi Makroalga

Sebagai organisme yang berukuran makroskopis, makroalga dapat diidentifikasi melalui morfologinya. Menurut (Lee, 2008) dan (Jha et al., 2009) makroalga dapat diidentifikasi melalui morfologinya dengan mengamati tipe talus, tipe percabangan, tipe pertumbuhan, tekstur talus, dan struktur khususnya.

2.2.1.1 Tipe Talus

Makroalga tidak memiliki sel-sel yang berdiferensiasi menjadi jaringan dengan fungsi spesifik. Oleh karena itu tubuh makroalga disebut dengan talus. Talus makroalga memiliki bentuk yang beragam. Berbagai bentuk talus makroalga secara umum adalah sebagai berikut:

1. *Filamentous*

Filamentous merupakan tipe talus makroalga yang berbentuk seperti benang halus. Talus ini terbentuk dari untaian sel-sel yang tersusun secara linear. Talus jenis ini dapat ditemukan dalam bentuk sederhana maupun bercabang. Contoh makroalga dengan bentuk talus *filamentous* adalah golongan *Cladophora* (Chlorophyta) dan *Polysiphonia* (Rhodophyta) (Pereira, 2021).

2. *Foliose*

Talus ini merupakan tipe yang berbentuk seperti lembaran tipis. Talus jenis ini terbentuk dari sel-sel yang tersusun monostromatik maupun polistromatik. Talus jenis ini akan tampak lembaran seperti kertas, dan dapat berupa pipih bercabang (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan bentuk talus *foliose* adalah *Ulva lactuca* dan *Padina australis* (Jha et al., 2009).

3. *Tubulose*

Tubulose merupakan bentuk talus seperti tabung berongga. Tubular tersusun atas satu lapisan atau lebih sel-sel yang tersusun melingkar membentuk tabung berongga. Tipe talus *tubulose* tidak dimiliki oleh banyak makroalga karena tipe talus *tubulose* hanya dimiliki oleh makroalga yang hidup di perairan laut yang tenang dan tidak terdapat banyak arus. Hal ini karena tipe *tubulose* bukan merupakan tipe yang solid dan tahan akan gelombang yang kuat. Contoh makroalga yang memiliki bentuk talus *tubulose* adalah *Ulva intestinalis* (Lee, 2008).

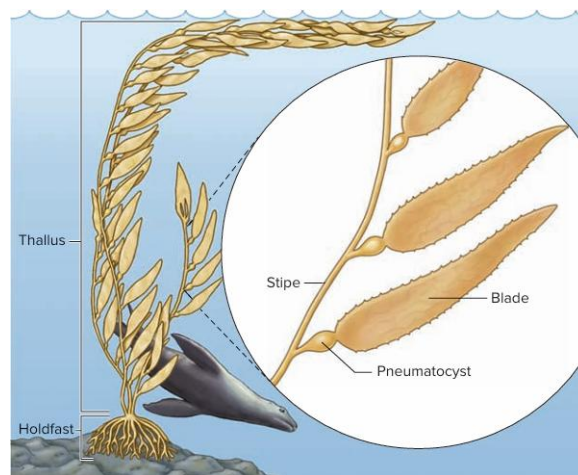
4. *Terete*

Terete merupakan tipe talus makroalga yang berbentuk silindris namun tidak berongga layaknya tipe *tubulose*. Hal ini membuat tipe talus *terete* akan lebih tampak solid dibandingkan dengan tipe *tubulose*. Tipe ini tersusun atas lapisan

korteks luar dan medula dalam, serta memungkinkan pertumbuhan bercabang. Contoh makroalga dengan tipe talus ini adalah *Gracilaria* (Lee, 2008).

5. Kompleks (*Differentiated thallus*)

Talus dengan tipe ini biasa dimiliki oleh makroalga dari golongan *Sargassum*. Talus dengan tipe kompleks terdiri atas sel-sel yang tersusun membentuk bagian-bagian menyerupai organ-organ berbeda. Bagian-bagian tersebut adalah *stipe*, *holdfast*, *blade*, dan *pneumatocyst* (Lee, 2008). Menurut Castro & Huber (2024), *blade*, *stipe*, dan *holdfast* merupakan struktur yang secara visual mirip dengan tumbuhan sejati. Meski begitu *blade*, *stipe*, dan *holdfast* tersusun atas sel-sel yang mirip dan tidak terdapat adanya diferensiasi sel menjadi jaringan yang spesifik layaknya pada tumbuhan sejati. Penamaan struktur tersebut bertujuan untuk mempermudah identifikasi morfologi dari alga.



Gambar 2.2. Struktur talus kompleks pada makroalga (Castro & Huber, 2024)

Blade pada makroalga merupakan struktur yang memiliki kemiripan dengan daun pada tumbuhan sejati. Pembedanya adalah *blade* tidak memiliki jaringan pembuluh layaknya daun pada tumbuhan sejati. *Blade* merupakan bagian yang

paling banyak terkandung pigmen fotosintetik sehingga pada bagian inilah fotosintesis lebih banyak terjadi (Castro & Huber, 2024).

Stipe merupakan struktur pada talus makroalga yang mirip batang pada tumbuhan sejati. *Stipe* berfungsi sebagai tempat menempelnya *blade*. *Stipe* juga berperan sebagai penopang talus makroalga. Hal ini karena *stipe* memiliki kandungan selulosa yang lebih tinggi dibandingkan bagian lain pada makroalga sehingga strukturnya lebih keras dan dapat menopang berdirinya talus makroalga. Tidak semua spesies memiliki *stipe* sebagai organ talusnya. *Stipe* pada makroalga tidak memiliki jaringan pembuluh layaknya batang pada tumbuhan sejati (Castro & Huber, 2024).

Struktur yang menyerupai akar pada makroalga disebut *holdfast*. Tidak seperti struktur lain, *holdfast* dimiliki oleh semua jenis makroalga tanpa terbatas pada makroalga bertipe talus kompleks saja. Struktur ini berfungsi sebagai alat untuk menempelkan talus makroalga pada substrat. Tidak seperti akar pada tumbuhan sejati, *holdfast* pada makroalga tidak melakukan penyerapan air dan mineral pada substrat. Hal ini karena *holdfast* tidak memiliki jaringan pembuluh di dalamnya. Penyerapan air serta nutrisi dari lingkungan sekitar yang diperlukan untuk metabolisme dilakukan pada seluruh permukaan talus (Castro & Huber, 2024).

Kantung udara atau *pneumatocyst* merupakan struktur yang tidak dimiliki oleh seluruh makroalga. Fungsi dari kantung udara pada makroalga adalah untuk menyimpan udara pada kantungnya. Udara di dalam kantung ini dapat digunakan sebagai alat bantu berdirinya talus makroalga. Dengan adanya kantung udara maka

bagian talus makroalga akan terangkat mendekati permukaan air untuk mendapatkan cahaya matahari yang lebih maksimal (Castro & Huber, 2024).

2.2.1.2 Tipe Percabangan

Makroalga dapat diidentifikasi dengan mengamati tipe percabangan pada talusnya. Talus pada makroalga menunjukkan pertumbuhan dan membentuk tipe percabangan yang beragam. Beberapa tipe percabangan talus makroalga secara umum adalah sebagai berikut:

1. *Dichotomous*

Dichotomous merupakan tipe percabangan yang ditunjukkan dari talus yang bercabang menjadi dua cabang yang simetris. Kemudian masing masing cabang dapat membentuk dua cabang baru yang simetris juga (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan percabangan ini adalah *Chondrus crispus* (Lee, 2008).

2. *Monopodial*

Monopodial adalah tipe percabangan yang ditunjukkan dengan adanya sumbu utama pada talus yang tumbuh dengan dominan. Kemudian dari sumbu utama tersebut dapat tumbuh cabang-cabang lateral yang lebih kecil (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan tipe percabangan ini adalah kelompok *Turbinaria* (Jha et al., 2009).

3. *Irregular*

Irregular adalah tipe percabangan yang tidak beraturan pada makroalga. Tipe percabangan ini tidak menunjukkan pola tertentu yang teratur. Cabang dapat tumbuh di mana saja dan tidak simetris. Cabang yang tumbuh juga dapat bervariasi besarnya. Karena itulah tipe ini tidak dapat digambarkan polanya dan disebut sebagai tipe percabangan *irregular* yang tidak beraturan (Lee, 2008). Contoh

makroalga yang memiliki tipe percabangan ini adalah *Cladophora vagabunda* (Jha et al., 2009).

2.2.1.3 Tipe Pertumbuhan

Makroalga memiliki berbagai tipe pertumbuhan. Tipe pertumbuhan makroalga adalah sebagai berikut:

1. *Erect*

Erect atau tipe pertumbuhan tegak adalah tipe pertumbuhan yang orientasi tumbuhnya adalah menuju wilayah air atau tegak lurus menjauhi substrat. Makroalga dengan tipe pertumbuhan ini akan tampak seperti pohon atau semak-semak. Pada umumnya makroalga dengan pertumbuhan erect memiliki *holdfast* dengan bentuk seperti cakram, stolon, atau rizoid yang kuat untuk menahan talus dari gelombang dan arus laut (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan tipe pertumbuhan erect adalah *Turbinaria* (Jha et al., 2009).

2. *Prostrate*

Prostrate adalah tipe pertumbuhan yang arah tumbuh talusnya sejajar mengikuti substrat. Makroalga dengan jenis pertumbuhan ini memiliki talus yang tampak seperti helaian tipis atau filamen yang menempel pada substrat. Beberapa jenis makroalga dengan tipe pertumbuhan ini juga akan tampak seperti menjalar atau merayap di atas substrat (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan tipe pertumbuhan ini adalah *Chaetomorpha crassa* (Jha et al., 2009).

3. *Decumbent*

Decumbent adalah tipe pertumbuhan yang mengkombinasikan karakteristik erect dan *prostrate*. Talus pada tipe ini akan tumbuh secara horizontal merayap mengikuti substrat (*prostrate*) kemudian dari talus horizontal tersebut tumbuh

cabang baru yang tumbuh tegak lurus dengan substrat (*erect*). Contoh makroalga dengan tipe percabangan ini adalah *Caulerpa sertularoides* (Lee, 2008).

4. *Crustose*

Crustose adalah tipe pertumbuhan yang sepenuhnya menempel pada substrat. Tidak seperti tipe *prostrate* yang arah tumbuhnya sejajar dengan substrat, tipe *crustose* sepenuhnya menempel dan tidak terdapat celah antara talus dan substratnya seperti kerak. Contoh makroalga dengan tipe pertumbuhan ini adalah beberapa spesies pada kelompok *Corallina* (Pereira, 2021).

2.2.1.4 Tekstur Talus

Tekstur talus merupakan salah satu aspek identifikasi morfologi pada makroalga. mengidentifikasi tekstur talus dapat dilakukan dengan melakukan kontak fisik pada talus makroalga. Perbedaan tekstur talus pada makroalga umumnya disebabkan oleh perbedaan derivat yang terkandung di dalam sel-sel makroalga. Perbedaan derivat tersebut berpengaruh terhadap tekstur talus dan adaptasinya terhadap kondisi ekosistem (Castro & Huber, 2024). Berikut ini adalah beberapa jenis tekstur talus pada makroalga:

1. *Coriaceous*

Coriaceous merupakan tekstur makroalga yang seperti kulit atau karet (Pereira, 2021). Tekstur ini tebal, agak keras, namun tidak sekeras *calcareous* dan tidak selembek *cartilaginous*. Tekstur ini tercipta dari kandungan alginat dan selulosa yang tinggi dalam dinding sel makroalga. Contoh makroalga *coriaceous* adalah *Gracilaria textorii* (Jha et al., 2009).

2. *Gelatinous*

Gelatinous merupakan tekstur talus yang lunak, licin dan berlendir. Tekstur talus ini disebabkan oleh kandungan agarosa dan agaropektin yang mendominasi,

kemudian κ -karagenan, ι -karagenan, λ -karagenan, dan sedikit selulosa yang terdapat pada dinding sel talusnya (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan tekstur *gelatinous* adalah *Rhodymenia sonderi* (Jha et al., 2009).

3. *Cartilaginous*

Cartilaginous merupakan tekstur makroalga yang mirip seperti tulang rawan, yaitu kenyal, elastis, dan tebal. Tekstur ini memiliki kandungan κ -karagenan, ι -karagenan, dan selulosa yang mendominasi. Beberapa spesies memiliki kandungan tambahan yaitu *xilan* yang juga meningkatkan fleksibilitas. *Cartilaginous* tidak sekuat *coriaceous*, namun lebih solid dibandingkan dengan *gelatinous* (Pereira, 2021). Contoh makroalga dengan tekstur *cartilaginous* adalah *Scinaia fascicularis* (Jha et al., 2009).

4. *Calcareous*

Calcareous merupakan tekstur makroalga yang keras dan kaku. Tekstur ini dibentuk dari kalsium karbonat (CaCO_3) yang banyak terkandung dalam dinding sel talus makroalga. Tekstur *calcareous* merupakan yang paling solid di antara yang lain. Hal ini membuat makroalga golongan *calcareous* memiliki talus yang lebih tahan terhadap arus dan ombak (Bakti et al., 2022). Contoh makroalga dengan tekstur *calcareous* adalah golongan *Corralina* spp. (Jha et al., 2009).

5. *Membranous*

Membranous merupakan tekstur talus yang tipis seperti membran. Tekstur talus ini lembut, halus, dan mudah rusak apabila terkena arus. Hal ini karena tekstur *membranous* terdapat pada talus makroalga yang tersusun atas satu atau dua lapis sel (Pereira, 2021). Makroalga dengan tekstur talus ini adalah *Ulva lactuca* (Jha et al., 2009).

2.2.1.5 Struktur Khusus

Beberapa makroalga memiliki beberapa struktur khusus yang dapat diamati secara morfologis. Struktur khusus tersebut meliputi *holdfast*, *pneumatocist*, dan alat reproduksi. Struktur khusus ini biasa digunakan dalam identifikasi morfologi dengan tingkat taksonomi yang lebih spesifik (Lee, 2008).

1. *Pneumatocist*

Pneumatocist merupakan struktur khusus yang dimiliki oleh sebagian kelompok makroalga cokelat. *Pneumatocist* memiliki keunikan yang dapat diamati sebagai aspek identifikasi morfologi pada makroalga. Umumnya *pneumatocist* dapat dibedakan dengan mengamati jumlah, ukuran, dan lokasinya. Tipe *Pneumatocist* yang berbeda dapat ditemukan pada Genus *Sargassum*, *Fucus*, *Macrocystis*, dan *Nereocystis*. *Pneumatocist Sargassum* berbentuk seperti bola-bola kecil, terdapat di sepanjang talus utama, ditopang oleh tangkai pendek, dan tampak seperti buah beri kecil. *Pneumatocist* pada *Fucus* berbentuk lonjong atau oval, terdapat di dalam lembaran *blade*, dan berpasangan di kedua sisi *blade*. *Pneumatocist Macrocystis* berbentuk lonjong seperti buah pir, terletak di pangkal setiap lembaran *blade*, dan setiap lembaran *blade* memiliki satu buah *pneumatocist*. *Pneumatocist Nereocystis* berjumlah satu buah dalam satu talus, berukuran besar, berbentuk bulat, terletak di ujung *stipe* (batang), kemudian dari *pneumatocist* tersebut beberapa lembaran *blade* muncul (Lee, 2008).

2. Organ reproduksi

Organ reproduksi yang dapat diamati secara morfologis umumnya ditemukan pada beberapa makroalga kelompok Rhodophyceae dan Phaeophyceae. Pada kelompok *Phaeophyceae* organ reproduksinya adalah reseptakel (*reseptacle*). Sementara pada kelompok *Rhodophyceae* organ reproduksinya adalah sistokarp

(*cystocarp*) yang secara kasat mata tampak seperti bintil-bintil pada permukaan talus alga merah. Bentuk, jumlah, dan posisi dari organ reproduksi makroalga dapat menjadi karakter kunci untuk mengidentifikasi dan membedakan suatu jenis makroalga dari kelompok makroalga lainnya. Contohnya terdapat pada kelompok *Sargassum* yang memiliki reseptakel bulat bertangkai dan kelompok *Fucus* yang reseptakelnya berupa bagian menonjol pada ujung helaian *blade* (Lee, 2008).

3. *Holdfast*

Holdfast merupakan bagian dari morfologi makroalga yang secara visual mirip dengan akar pada tumbuhan sejati, namun fungsinya hanya sebagai struktur perekat talus makroalga dengan substratnya (Castro & Huber, 2024). Holdfast memiliki beberapa bentuk atau tipe yang dapat diamati dalam identifikasi morfologi. Beberapa di antaranya adalah berbentuk seperti cakram (*discoïd*), berbentuk seperti serabut (*rhizoid*), berbentuk seperti jari yang mencengkeram substrat (*hapterous*), serta merayap secara horizontal di atas substrat (*stolon*) (Lee, 2008).

2.2.2 Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Makroalga

Faktor lingkungan atau faktor abiotik merupakan faktor yang memberikan pengaruh terhadap makroalga. Hal ini karena berbagai proses biologis yang terjadi pada komunitas makroalga bergantung pada faktor abiotik. Faktor abiotik juga memiliki pengaruh satu sama lain yang pada akhirnya juga akan berpengaruh pada makroalga (Lee, 2008).

Dalam perspektif Islam, besarnya pengaruh dari faktor abiotik terhadap kelangsungan makhluk hidup memiliki kaitan filosofis dengan sabda Rasulullah SAW: “*Setiap anak dilahirkan dalam keadaan fitrah. Maka kedua orang tuanyalah yang menjadikannya Yahudi, Nasrani, atau Majusi*” (HR. Bukhari dan Muslim).

Berdasarkan penjelasan Imam An-Nawawi (2012) dalam *Syarah Shahih Muslim*, makna *fitrah* merujuk pada kondisi awal penciptaan yang murni dan memiliki kesiapan alami untuk tumbuh dalam keseimbangan yang ideal. Adapun perubahan atau penyimpangan karakter dari kondisi asal yang murni tersebut sepenuhnya dipicu oleh intervensi lingkungan eksternal, yang dalam hadis disimbolkan secara kuat melalui peran orang tua.

Secara ekologis, konsep ini memberikan analogi yang sesuai terhadap peran vital parameter lingkungan bagi dinamika makroalga di zona pesisir. Makroalga diciptakan dengan kapasitas adaptasi dasar (*fitrah*) untuk hidup dengan struktur komunitas yang beragam dan seimbang. Namun, wujud akhir dari komunitas mereka di suatu habitat sangat bergantung kepada fluktuasi parameter lingkungannya. Apakah komunitas yang stabil akan terus bertahan, atau justru menyimpang menjadi komunitas yang menunjukkan indikasi tekanan lingkungan. Faktor fisik-kimiawi perairan seperti *Total Dissolved Solids* (TDS), kadar fosfat, nitrat, pH, dan oksigen terlarut bertindak layaknya "lingkungan pembentuk" atau representasi "orang tua" dari hadits tersebut yang mempengaruhi makroalga. Oleh karena itu, kualitas parameter lingkungan memegang peranan penting sebagai faktor pembatas yang menentukan kelangsungan hidup, pergeseran keragaman, hingga pemicu dominasi spesies oportunistik tertentu pada suatu ekosistem perairan. Berikut adalah faktor abiotik yang berpengaruh terhadap makroalga:

1. Total Padatan Terlarut/*Total Dissolved Solid* (TDS)

TDS merupakan sebuah parameter yang menggambarkan jumlah material padatan yang terlarut di dalam air. TDS biasa dinyatakan dalam satuan miligram per liter (mg/L). Berbagai padatan terlarut yang terdapat di air (TDS) umumnya

terdiri atas berbagai ion garam seperti klorida, kalsium, magnesium, kalium, natrium, bikarbonat, sulfat, dan lain-lain. unsur hara terlarut seperti nitrat, fosfat, dan silikat, serta materi organik yang larut di dalam air seperti juga dapat menjadi salah satu penyusun dari TDS (Peng et al., 2020).

Alga merupakan salah satu organisme yang bergantung kepada TDS untuk bertahan hidup. Hal ini karena alga memerlukan TDS sebagai pengatur tekanan osmotik. Alga juga memerlukan berbagai ion-ion penting yang terlarut dalam TDS seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} untuk melakukan proses kalsifikasi dan pembentukan klorofil. Di sisi lain, TDS juga kerap dianggap sebagai variabel pembatas kestabilan ekosistem karena adanya kandungan ion berlebih di dalamnya yang dapat menjadi racun bagi organisme yang hidup di ekosistem perairan (Peng et al., 2020).

2. Derajat Keasaman (pH)

Menurut Rukminasari et al. (2014) derajat keasaman merupakan salah satu faktor yang dapat berpengaruh terhadap makroalga. Hal ini karena proses metabolisme di dalam sel-sel makroalga dipengaruhi oleh pH. Derajat keasaman yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat proses metabolisme. Berbagai enzim aktif apabila berada pada kondisi keasaman tertentu untuk melakukan berbagai proses metabolisme.

Pengaruh pH terhadap makroalga telah dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Awaluddin (2013). Penelitian tersebut mengulas tentang pengaruh derajat keasaman (pH) terhadap makroalga *Halimeda*. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa pH air laut memiliki pengaruh yang nyata terhadap laju pertumbuhan dan konsentrasi kalsium alga tersebut. Penelitian ini membandingkan tiga level perlakuan, yaitu pH 8, pH 6, dan pH 5. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa laju pertumbuhan tertinggi dan konsentrasi kalsium tertinggi pada *Halimeda* sp. dicapai pada kondisi pH 8. Seiring dengan menurunnya pH ke level 6 dan 5 (kondisi yang lebih asam), laju pertumbuhan dan konsentrasi kalsium alga juga ikut menurun secara signifikan, dengan nilai terendah tercatat pada perlakuan pH 5. Oleh karena itu, dari penelitian ini dapat dipahami bahwa pengasaman air laut, khususnya pada pH di bawah 6, dapat mengganggu proses pengapuran (kalsifikasi) pada *Halimeda* sp.

3. *Dissolved Oxygen* (DO)

Dissolved oxygen (DO) atau kadar oksigen terlarut merupakan salah satu parameter lingkungan yang mendukung kehidupan berbagai organisme dalam ekosistem air. Hal ini karena DO dibutuhkan dalam proses respirasi organisme di dalam air (Ramadani et al., 2021). Menurut Lee (2008), DO merupakan faktor abiotik yang memiliki pengaruh dua arah terhadap alga. Maksudnya, DO dapat menjadi parameter kebutuhan alga dalam melakukan respirasi sel, di sisi lain komunitas alga juga memiliki peran dalam menentukan kadar DO di dalam air melalui proses fotosintesis.

Pengaruh DO terhadap alga telah dibuktikan dalam penelitian Kazbar et al. (2019) mengenai pengaruh konsentrasi oksigen terlarut (DO) terhadap mikroalga. Penelitian ini membandingkan pertumbuhan dua spesies mikroalga, *Chlamydomonas reinhardtii* dan *Synechocystis* pcC 6803, yang diberi dua perlakuan: 100% saturasi DO (kontrol) dan 200% saturasi DO (hiperoksia). Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas biomassa alga turun drastis pada kondisi 200% DO (hiperoksia), dengan penurunan sebesar 44% pada *C. reinhardtii* dan 25% pada *Synechocystis*. Menurut jurnal tersebut, penghambatan pertumbuhan

ini disebabkan oleh toksisitas oksigen yang memicu stres oksidatif (*oxidative stress*) pada sel, serta terjadinya penghambatan fotosintesis, peningkatan fotorespirasi, dan fotohambatan (*photoinhibition*).

4. Kadar Nitrat dan Fosfat

Sebagai organisme autotrof makroalga tetap memerlukan nutrisi untuk mendukung keberlangsungan hidupnya. Menurut (Lee, 2008), kadar nutrisi merupakan faktor pembatas utama yang menentukan pertumbuhan dan produktivitas komunitas makroalga di laut. Nutrisi yang penting bagi makroalga secara garis besar terbagi menjadi dua, yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien merupakan nutrisi yang paling penting dan dibutuhkan oleh makroalga dalam jumlah besar. Makronutrien pada makroalga meliputi Nitrogen (N) dan Fosfor (P). Nitrogen dibutuhkan dalam jumlah besar karena unsur ini merupakan komponen untuk membangun sel, terutama peranannya dalam membentuk asam amino, asam nukleat, serta klorofil. Makroalga dapat menyerap nitrogen dalam bentuk senyawa Nitrat (NO_3), Amonium (NH_4), dan Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Fosfor merupakan nutrisi yang makronutrien yang berfungsi sebagai komponen utama dari molekul energi ATP (Adenosine Triphosphate), asam nukleat, serta membentuk membran sel. Fosfor dapat diserap oleh makroalga dalam bentuk senyawa Fosfat anorganik (PO_4) (Lee, 2008).

Berdasarkan penelitian (Yaakob et al., 2021) mengenai pengaruh pengayaan nutrisi terhadap makroalga terumbu karang, ditemukan bahwa penambahan Nitrogen (N) dan Fosfor (P) secara signifikan meningkatkan laju pertumbuhan relatif pada keempat spesies yang diuji (*Acanthophora spicifera*, *Hypnea pannosa*, *Laurencia majuscula*, dan *Sargassum polycystum*). Peningkatan nutrisi ini juga

menyebabkan penurunan rasio Karbon (C):Nitrogen (N) dan Karbon (C):Fosfor (P) pada alga, yang mengindikasikan bahwa alga secara efektif menyerap nutrisi tambahan tersebut. Namun, respons biokimia alga terhadap nutrisi bervariasi; spesies yang tumbuh cepat (*Acanthophora* dan *Hypnea*) menunjukkan korelasi positif antara laju pertumbuhan relatif dan rasio *RNA:DNA*, sesuai dengan Hipotesis Laju Pertumbuhan. Sebaliknya, spesies yang tumbuh lambat (*Laurencia* dan *Sargassum*) tidak menunjukkan korelasi ini, dan diduga menggunakan strategi "penyerapan mewah" (*luxury uptake*) untuk menyimpan kelebihan nutrisi daripada langsung mengalokasikannya untuk pertumbuhan.

2.2.3 Habitat dan Distribusi Makroalga

Makroalga biasa tumbuh pada perairan laut dangkal. Persebaran makroalga terbatas pada daerah litoral dan sub litoral di mana masih terdapat sinar yang cukup untuk dapat berlangsungnya proses fotosintesis. Makroalga dijumpai di segala tempat yang cocok untuk tempat menempel. Sebagai contoh, daerah pantai yang terdiri dari batu-batuan adalah tempat yang cocok bagi kehidupannya, sehingga sering dijumpai banyaknya makroalga yang hidup di daerah ini. Sebaran jenis makroalga di perairan disebabkan oleh kecocokan habitatnya. Makroalga menempel pada substrat benda keras berupa bebatuan, pasir yang padat, karang, kulit kerang, dan terkadang epifit pada tumbuhan lain atau makroalga jenis yang lain. Perlu diingat bahwa faktor lingkungan seperti suhu, pH, DO, salinitas, dan intensitas cahaya, serta ketersediaan nutrisi juga menjadi penentu sebaran makroalga (Al-Yamani et al., 2014).

Kadar nutrisi menjadi penentu dari distribusi makroalga. Ekosistem perairan dengan kadar nutrisi yang minim tidak akan menjadi habitat yang cocok bagi makroalga. Kebutuhan akan besarnya kandungan dan jenis nutrisi oleh alga

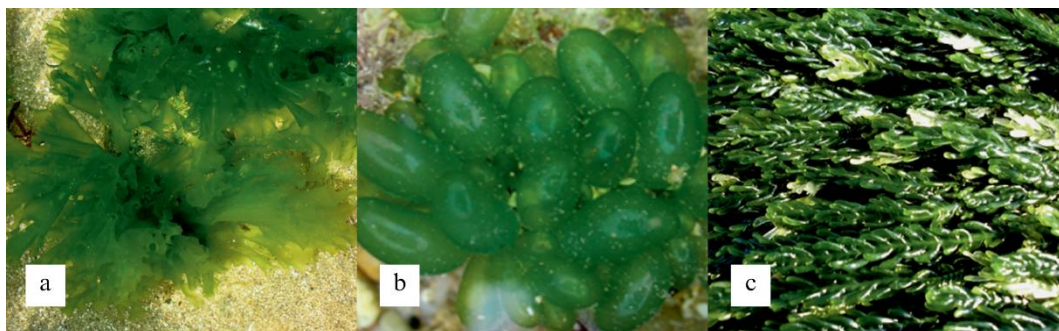
sangat tergantung pada kelas atau jenis alga itu sendiri di samping jenis perairan di mana alga itu hidup. Nutrien yang kerap diuji dalam penelitian dalam monitoring pertumbuhan alga adalah nitrogen dan fosfor (Yaakob et al., 2021).

2.2.4 Klasifikasi Makroalga

Makroalga secara umum diklasifikasikan menjadi tiga kelompok besar berdasarkan pigmen warna dominannya yaitu makroalga hijau (Divisi Chlorophyta), makroalga merah (Divisi Rhodophyta), dan makroalga coklat (Divisi Ochrophyta; Kelas Phaeophyceae).

2.2.4.1 Makroalga Hijau (*Chlorophyta*)

Makroalga hijau merupakan kelompok makroalga yang digolongkan dalam filum Chlorophyta, di bawah tingkatan klasifikasi kingdom Plantae. Karakteristik dari kelompok ini tampak dari warna talusnya yang dominan hijau. Warna hijau pada makroalga golongan Chlorophyta berasal dari kandungan pigmen klorofil a dan klorofil b di dalam sel-selnya. Selain itu pigmen lain yang terkandung dalam makroalga hijau secara umum adalah karotenoid, meliputi β -carotene, lutein, neoxanthin, violaxanthin, dan, zeaxanthin. Pigmen-pigmen yang terdapat pada makroalga golongan Chlorophyta ini identik dengan pigmen warna yang terdapat pada tumbuhan vaskuler (Pereira, 2021).



Gambar 2.3. Contoh makroalga hijau (*Chlorophyta*). a. *Ulva lactuca*, b. *Boergesenia forbesii*, c. *Caulerpa racemosa* (Jha et al., 2009).

Pengelompokan makroalga hijau (Divisi Chlorophyta) ke dalam Kingdom Plantae didasarkan pada bukti filogenetik modern yang menunjukkan bahwa mereka berbagi nenek moyang yang sama secara langsung dengan tumbuhan darat (Embryophyta). Keduanya merupakan bagian dari satu kelompok evolusioner monofiletik besar yang disebut Archaeplastida, yang kini dianggap setara dengan Kingdom Plantae dalam arti luas (*sensu lato*). Menurut Umen (2014), kelompok Archaeplastida ini didefinisikan sebagai semua organisme keturunan dari satu peristiwa endosimbiosis primer tunggal, di mana sel eukariotik purba menelan cyanobacterium yang kemudian berevolusi menjadi plastida (kloroplas) pertama. Kloroplas yang dihasilkan dalam proses ini juga memiliki ciri spesifik yaitu membran kloroplas yang berjumlah dua lapis. Hal ini menjadikan semua organisme yang menjadi keturunan dari endosimbiosis tersebut diklasifikasikan dalam kelompok Archaeplastida.

Hubungan kekerabatan ini diperkuat lebih lanjut pada level molekuler oleh penelitian yang diulas dalam Selim et al. (2020). Jurnal tersebut melacak evolusi protein sinyal PII dan menunjukkan bahwa meskipun semua anggota Archaeplastida mewarisi protein ini dari nenek moyang cyanobacterium, terdapat inovasi evolusioner spesifik yang menyatukan alga hijau dan tumbuhan darat ke dalam sub-kelompok eksklusif bernama Chloroplastida. Inovasi ini antara lain adalah munculnya struktur "Q-loop" sebagai sensor glutamin pada protein PII mereka, sebuah fitur yang tidak ditemukan pada alga merah maupun cyanobacteria. Bukti molekuler ini memberikan konfirmasi yang kuat mengenai garis keturunan bersama yang menempatkan alga hijau di dalam Kingdom Plantae.

Makroalga hijau memiliki bentuk talus yang lebih sederhana dibandingkan makroalga golongan lainnya. Bentuk talus yang paling umum dijumpai pada makroalga hijau adalah bentuk filamen dan bentuk tubular (Castro & Huber, 2024). Selain itu makroalga hijau juga memiliki bentuk talus lain yaitu lembaran, oval, dan kombinasi (Jha et al., 2009). Contoh makroalga dengan bentuk talus lembaran dapat dijumpai pada *Ulva lactuca*. Spesies ini memiliki bentuk blade yang lebar dan tipis layaknya lembaran serta tidak bercabang. Pada spesies *Boergesenia forbesii* bentuk talus yang dapat diamati adalah oval. Blade pada *Boergesenia forbesii* memiliki fungsi lain sebagai penyimpan air di dalamnya sehingga bentuk oval yang terlihat pada talus spesies ini akan menyerupai anggur. Menurut Jha et al. (2009) bentuk talus kombinasi antara filamen dan tubular dapat terlihat pada *Caulerpa* sp.

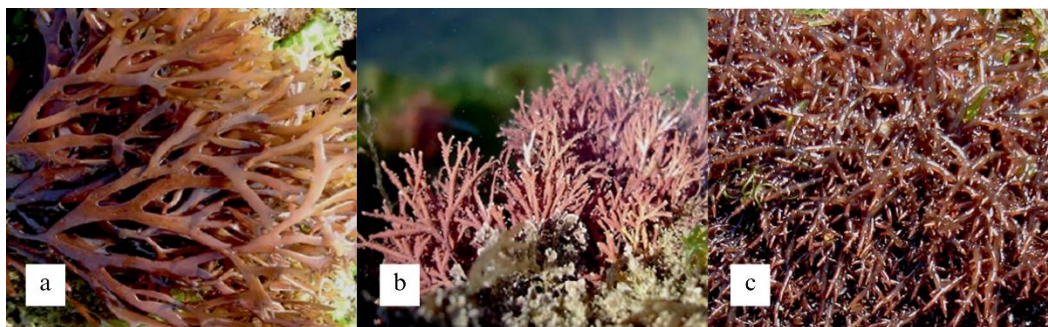
2.2.4.2 Makroalga Merah (*Rhodophyta*)

Makroalga merah (*Rhodophyta*) merupakan makroalga yang tampak dominan berwarna merah. Warna merah yang terlihat disebabkan oleh kandungan pigmen fikoeritrin yang komposisinya dominan di dalam sel-sel nya. Selain pigmen fikoeritrin, kelompok makroalga ini juga mengandung pigmen β -caroten, zeaxantin, lutein, dan sedikit fikosianin.

Seperti *Chlorophyta*, kelompok *Rhodophyta* juga berada di bawah tingkatan takson kingdom *Plantae* karena *Rhodophyta* memiliki garis evolusi yang sama dengan *Chlorophyta* dan *Embryophyta* berdasarkan plastidanya (Selim et al., 2020). Bowles et al. (2023) juga menambahkan bahwa *Rhodophyta* memiliki asal evolusi yang sama dengan alga hijau dan tumbuhan darat. Perbedaan evolusi kelompok *Rhodophyta* dari alga hijau dan tumbuhan darat terletak dari jenis pigmen dominan yang dikandungnya. *Rhodophyta* tetap mempertahankan pigmen klorofil a dan fikobiliprotein (fikoeritrin) sementara alga hijau dan tumbuhan darat dalam proses

evolusinya kehilangan fikobiliprotein dan mendapatkan pigmen baru yaitu klorofil b yang menjadi pigmen utama bersama klorofil a.

Makroalga merah digolongkan dalam kelas Rhodophyceae. Anggota dari kelas ini meliputi ordo Bangiales, Nemaliales, Ahnfeltiales, Gelidiales, Gracilariales, Bonnemaisoniales, Cryptonemiales, Halymeniales, Corallinales, Gigartinales, Nemastomatales, Sebdeniales, Rhodymeniales, dan Ceramiales (Jha et al., 2009). Makroalga merah (Rhodophyta) merupakan golongan makroalga yang memiliki talus berwarna merah dan merupakan kelompok alga dengan jumlah spesies terbanyak di dunia. Tampak warna merah pada makroalga golongan ini disebabkan oleh pigmen dominan yang mereka miliki. Pigmen yang mendominasi plastida di dalam sel-sel makroalga Rhodophyta ini adalah fikoeritrin yang berwarna merah. Pigmen ini memiliki jumlah yang mendominasi sehingga menutupi pigmen lain dan membuat talusnya tampak berwarna merah. Selain itu makroalga golongan Rhodophyta juga memiliki pigmen fikosianin, klorofil, dan karoten (Castro & Huber, 2024).



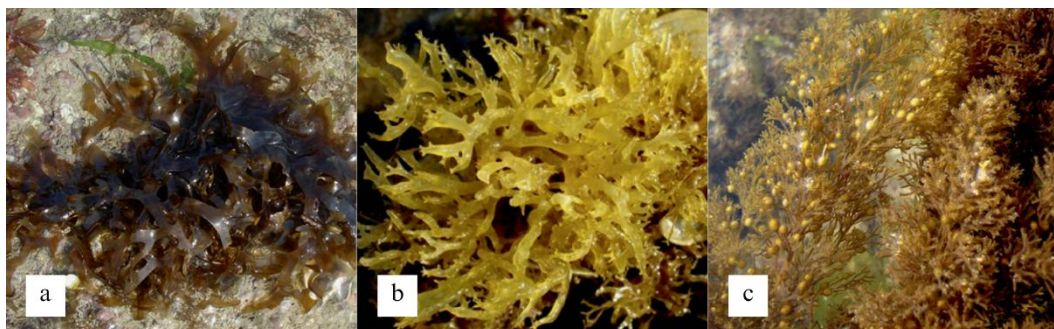
Gambar 2.4. Contoh makroalga merah (Rhodophyta). a. *Gracilaria corticata*, b. *Corallina berteroi*, c. *Hypnea spinella* (Jha et al., 2009).

Spesies Rhodophyta dapat ditemukan di hampir seluruh lautan di dunia. Namun, Rhodophyta dapat ditemukan di zona laut yang lebih dalam dibandingkan dengan Chlorophyta. Hal ini karena jumlah pigmen klorofil yang dimiliki oleh

Rhodophyta lebih sedikit dibandingkan dengan alga lain. Klorofil pada alga merah tertutup oleh pigmen lain seperti fikoeritrin yang lebih dominan sehingga toleransi alga merah terhadap tingginya intensitas matahari lebih kecil. Karena itulah makroalga merah (Rhodophyta) akan lebih banyak dijumpai pada zona air yang lebih dalam dibandingkan kelompok makroalga lain seperti Chlorophyta dan Phaeophyceae karena zona perairan yang lebih dalam memiliki intensitas cahaya matahari yang lebih rendah (Al-Yamani et al., 2014).

2.2.4.3 Makroalga Coklat (Divisi Ochrophyta; Kelas Phaeophyceae)

Phaeophyceae merupakan kelas alga dengan karakteristik talusnya berwarna emas atau coklat. Anggota dari kelas Phaeophyceae meliputi ordo *Ectocarpales*, *Dictyotales*, *Scytosiphonales*, dan *Fucales* (Jha et al., 2009). Dalam kromatofornya terkandung fikosantin yang menutupi pigmen lain sehingga alga golongan ini talusnya tampak berwarna pirang atau coklat. Selain fikosantin dapat ditemukan pigmen lain seperti klorofil a, karoten dan xantofil. Kebanyakan Phaeophyceae hidup dalam air laut, hanya beberapa jenis saja yang hidup dalam air tawar. Alga ini termasuk bentos, melekat pada batu-batu, kayu, sering juga epifit pada talus alga lain, bahkan ada yang hidup sebagai endofit (Lee, 2008).



Gambar 2.5. Contoh makroalga coklat (Phaeophyceae). a. *Dictyopteris acrostichoides*, b. *Rosenvingea intricata*, c. *Cystoseira indica* (Jha et al., 2009).

Secara umum Phaeophyceae memiliki tingkat lebih tinggi secara morfologi dan anatomi diferensiasinya dibandingkan keseluruhan alga. Tidak ada bentuk berupa sel tunggal atau koloni filamen yang tidak bercabang. Susunan tubuh yang paling sederhana adalah filamen heterotrikus. Struktur talus yang paling kompleks dapat dijumpai pada alga perang yang tergolong kelompok *Nereocystis*, *Macrocystis*, dan *Sargassum* (Castro & Huber, 2024).

Talus dari kelas alga cokelat tidak ada yang uniseluler, paling sederhana berbentuk filamen yang bercabang. Panjang talus beberapa milimeter sampai kurang lebih 50 m. sebagian besar hidupnya melekat pada substrat dengan perantaraan alat perekat. Warna alga coklat ini mencerminkan melimpahnya fikosantin di dalam plastida. Cadangan makanan berupa laminarin, mannitol atau berbentuk tetes-tetes lemak (Santiañez & Trono, 2013).

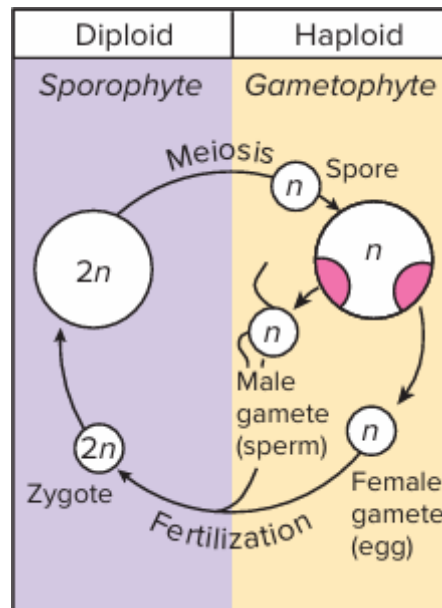
Makroalga coklat (*Phaeophyta*) merupakan kelompok alga dengan jumlah spesies paling sedikit yaitu berkisar 1800 spesies (Castro & Huber, 2024). Persebaran dari kelompok *Phaeophyta* juga lebih banyak pada daerah dengan iklim yang lebih dingin. Makroalga Phaeophyceae ditemukan tumbuh dengan baik dan mendominasi pada lautan beriklim sedang dan kutub. Pada iklim yang dingin talus dari makroalga Phaeophyceae dapat tumbuh dengan ukuran yang sangat besar hingga bermeter-meter (Al-Yamani et al., 2014).

2.2.5 Siklus Reproduksi Makroalga

Menurut Castro & Huber (2024) makroalga melakukan reproduksi sebagai upaya untuk mempertahankan jenisnya di alam. Secara umum makroalga dapat melakukan dua jenis reproduksi yaitu secara vegetatif dan secara generatif. Kedua jenis reproduksi ini melalui proses yang berbeda dalam siklusnya.

Reproduksi makroalga secara aseksual merupakan metode reproduksi yang paling umum terjadi pada hampir semua spesies makroalga. Reproduksi secara aseksual merupakan reproduksi yang dilakukan tanpa adanya pertemuan antara sel gamet jantan dan betina. Dalam hal ini makroalga dapat melakukan reproduksi secara aseksual dengan cara fragmentasi. Fragmentasi merupakan proses di mana bagian atau potongan dari talus makroalga yang terpisah dapat tumbuh menjadi individu baru. Karena tidak adanya pertemuan gamet pada reproduksi aseksual, maka keturunan yang dihasilkan akan memiliki kemiripan genetik dengan induk asal talusnya (Castro & Huber, 2024).

Reproduksi makroalga secara seksual merupakan reproduksi yang melibatkan peleburan gamet jantan dan gamet betina. Siklus reproduksi seksual dimulai dengan makroalga generasi sporofit yang bersifat diploid ($2n$) menghasilkan spora haploid (n) melalui pembelahan meiosis. Spora haploid akan tumbuh menjadi talus baru yang haploid (n). Talus haploid ini disebut sebagai generasi gametofit. Talus generasi gametofit ini akan melepaskan gamet jantan dan gamet betina hingga keduanya melebur membentuk zigot dan berkembang menjadi individu baru yang diploid ($2n$) dan kembali pada fase sporofit (Castro & Huber, 2024).



Gambar 2.6. Siklus reproduksi seksual pada makroalga (Castro & Huber, 2024)

2.2.6 Manfaat Makroalga

Secara ekologis makroalga merupakan organisme yang memberikan banyak manfaat bagi organisme lain. Makroalga merupakan organisme produsen yang bermanfaat bagi organisme herbivor di ekosistemnya sebagai sumber makanan. Rumpun makroalga bermanfaat sebagai tempat mengasuh, memijah, dan tempat tinggal dari hewan kecil di laut. Beberapa kelompok hewan yang dapat ditemukan tinggal pada makroalga di antaranya *Polychaeta*, *Gastropoda*, *Echinoidea*, *Malacostraca*, *Nematoda*, *Copepoda*, dan *Bivalvia*. Adanya rumpun makroalga dapat memberikan tempat perlindungan bagi kelompok hewan tersebut dari predatornya (Perisha et al., 2022).

Makroalga juga berperan bagi ekosistem lautan sebagai penguat substrat dasar. Makroalga hidup dengan menempel pada substrat. Substrat yang ditempel oleh makroalga akan lebih kokoh dan kuat dalam menahan gelombang air laut. Terutama pada spesies makroalga yang tergolong dalam kelompok *calcareous*. Banyak ditemukan makroalga dari kelompok *Chlorophyta* dan *Rhodophyta* yang

mampu menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3). Kelompok makroalga inilah yang disebut sebagai kelompok *calcareous*. Kalsium karbonat yang dihasilkan kelompok ini dapat merekatkan dan memperkuat struktur karang serta substrat yang ditempelinya sehingga substrat akan lebih kuat durabilitasnya (Castro & Huber, 2024).

Makroalga laut juga dapat dimanfaatkan sebagai agen bioindikator lingkungan. Menurut Perisha et al. (2022) makroalga memiliki karakteristik yang ideal sebagai bioindikator. Sebagai produsen makroalga memiliki kemampuan dalam mengakumulasi polutan. Polutan yang diakumulasi oleh makroalga dapat masuk ke rantai makanan dan mengancam tingkatan trofik yang lebih tinggi karena adanya biomagnifikasi. Selain itu makroalga juga memiliki beberapa karakter lain yang menjadikannya sebagai agen bioindikator yang baik. Karakter tersebut di antaranya: sebagian besar makroalga bersifat non-motil; keberadaannya tersebar dengan luas; makroalga selalu dapat ditemukan sepanjang tahun tanpa adanya musim-musim tertentu; dapat mentoleransi rentang salinitas, kekeruhan, dan kadar polutan yang tinggi; dan sampling identifikasi mudah dilakukan (Perisha et al., 2022).

Makroalga dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai hal kebutuhan. Makroalga biasa dikonsumsi oleh berbagai masyarakat pesisir di dunia. Makroalga telah dimanfaatkan sebagai bahan makanan sejak lama, walaupun pemanfaatannya masih terbatas untuk konsumsi langsung. Sekitar 70 jenis rumput laut telah dimanfaatkan sebagai bahan makanan terutama di negara-negara Asia, seperti Cina, Jepang, Taiwan, Filipina, Indonesia serta Negara-negara Pasifik, Eropa, Amerika Utara, Afrika, dan Amerika Selatan (Øverland et al., 2019)

Makroalga tidak hanya dimanfaatkan sebagai bahan pangan yang dikonsumsi secara sederhana, tetapi sudah menjadi bahan baku dalam industri pangan. Makroalga merupakan bahan dasar ratusan produk pangan, baik yang diproduksi rumah tangga maupun industri makanan skala besar. Kandungan karbohidrat yang terdapat pada makroalga merupakan *vegetable gum*, yaitu karbohidrat yang banyak mengandung selulosa dan hemiselulosa sehingga tidak dapat dicerna seluruhnya oleh enzim di dalam tubuh sehingga alga dapat dimanfaatkan menjadi makanan diet dengan sedikit kalori, berkadar serat tinggi. Makroalga juga mengandung alginat, agar, dan karaginan. Kandungan tersebut bermanfaat dalam berbagai industri sebagai pengental dan pengembang (Castro & Huber, 2024). Makroalga dimanfaatkan dalam bidang farmasi untuk pertumbuhan, kesehatan, dan pengobatan manusia. Makroalga telah dimanfaatkan sebagai obat antiseptik dan pemeliharaan kulit. Selain itu juga dimanfaatkan pada pembuatan pembungkus kapsul obat biotik, vitamin, dan lain-lain (Øverland et al., 2019).

Menurut Castro & Huber (2024), makroalga juga dapat menjadi bahan baku pembuatan *biofuel*. Menurutnya makroalga memiliki potensi yang menjanjikan untuk dijadikan *biofuel*. Selama ini diketahui bahwa bahan bakar utama yang banyak digunakan di seluruh dunia berasal dari fosil. Maka makroalga dapat menjadi bahan alternatif bahan bakar karena makroalga merupakan organisme yang tidak membutuhkan waktu jutaan tahun untuk memanennya. Hingga kini beberapa negara seperti Jepang dan negara-negara di Eropa terus mengembangkan peternakan alga sebagai produksi *biofuel* di masa depan.

Sharmila et al. (2021), mengemukakan bahwa makroalga saat ini banyak dikembangkan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil. Makroalga

mengandung karbohidrat, protein, dan lipid yang membuat makroalga dapat dijadikan sebagai bahan produksi *biofuel*. Beberapa bahan bakar yang dapat dibuat dari makroalga di antaranya biodiesel, bioetanol, biohidrogen, dan biometana. Penggunaan makroalga sebagai sumber bahan bakar alternatif juga menjadi terobosan baru untuk meminimalisir kerusakan lingkungan akibat penambangan minyak bumi yang berlebihan.

2.3 Analisis Struktur Komunitas

Analisis Struktur Komunitas menurut Utami & Putra (2020) merupakan suatu istilah yang biasa digunakan untuk mengetahui kondisi komunitas tumbuhan (vegetasi) di suatu lokasi penelitian. Kondisi yang dimaksud meliputi struktur, komposisi, dan tingkat keanekaragaman vegetasi dalam ruang dan geografi, serta perkembangan, perubahan, dan stabilitas komunitas dalam konteks waktu. Analisis vegetasi tidak hanya mengidentifikasi suatu komunitas tumbuhan, tetapi juga menganalisis hubungan antar komunitas dan hubungan komunitas dengan faktor abiotik yang mempengaruhinya. Beberapa informasi harus dipahami oleh seorang peneliti saat melakukan analisis vegetasi, termasuk parameter vegetasi yang didata, penentuan luasan lokasi sampling, metode pengambilan data, serta analisis data (Utami & Putra, 2020).

Indeks yang digunakan dalam menganalisis vegetasi beragam sesuai dengan parameter dan tujuan penelitian yang ingin dicapai. Beberapa di antara indeks tersebut adalah sebagai berikut:

1. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H')

Keanekaragaman merupakan salah satu parameter penting dalam analisis vegetasi. Keanekaragaman dapat menentukan kompleksitas dari interaksi komunitas biotik dan abiotik, serta stabilitas dari suatu komunitas vegetasi.

Keanekaragaman menggambarkan nilai variasi spesies komunitas dalam suatu ekosistem. Analisis kuantitatif untuk nilai keanekaragaman dapat diperoleh dengan menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener sebagai berikut (Utami & Putra, 2020):

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

n_i = jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu seluruh spesies

s = jumlah spesies

Menurut Utami dan Putra (2020), kriteria indeks keanekaragaman dibagi dalam tiga kategori. Ketiga kategori hasil indeks keanekaragaman adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kategori nilai Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H')

Kriteria	H'
Rendah	<1
Sedang	$1 < H' < 3$
Tinggi	>3

Nilai H' yang tinggi mengindikasikan keanekaragaman yang tinggi, di mana banyak spesies memiliki jumlah individu yang relatif seimbang. Ini mencerminkan ekosistem yang stabil dan mampu menahan gangguan. Nilai H' yang rendah menunjukkan dominansi beberapa spesies saja dan ketidakseimbangan dalam distribusi individu, yang dapat mencerminkan ekosistem yang lebih rentan terhadap gangguan (Utami & Putra, 2020).

2. Indeks Kemerataan Pielou (J')

Indeks kemerataan (*evenness*) digunakan untuk mengetahui tingkat keseragaman sebaran jumlah individu pada tiap spesies dalam suatu komunitas. Tingkat kemerataan ini sangat erat kaitannya dengan keanekaragaman dan dominansi. Jika jumlah individu antar spesies terdistribusi secara merata, maka indeks kemerataannya akan tinggi, yang sekaligus mengindikasikan tidak adanya spesies yang mendominasi. Analisis kemerataan pada komunitas makroalga dapat dihitung menggunakan Indeks Kemerataan Pielou dengan persamaan sebagai berikut (Magurran, 2004):

$$J' = \frac{H'}{\ln(s)}$$

Keterangan:

J' = Indeks Kemerataan Pielou

H' = Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

s = Jumlah total spesies yang ditemukan

Nilai Indeks Kemerataan Pielou (J') berkisar antara 0 hingga 1. Menurut Magurran (2004), apabila nilai J' mendekati 0, hal ini menunjukkan kecenderungan ketidakmerataan antar spesies di mana terdapat spesies tertentu yang mendominasi komunitas. Sebaliknya, jika nilai J' mendekati 1, maka sebaran individu antar spesies dalam komunitas tersebut merata atau seragam, yang merepresentasikan kondisi ekosistem yang seimbang.

3. Indeks Kekayaan Margalef (D_{Mg})

Kekayaan jenis (*species richness*) merupakan ukuran yang menunjukkan jumlah total spesies yang terdapat dalam suatu komunitas yang dihubungkan dengan total individu secara keseluruhan. Indeks kekayaan jenis tidak memperhitungkan proporsi atau kelimpahan relatif masing-masing spesies,

melainkan hanya berfokus pada variasi taksa yang hadir di suatu ekosistem. Indeks kekayaan jenis yang umum digunakan dalam analisis ekologi adalah Indeks Kekayaan Margalef, dengan rumusan matematis sebagai berikut (Magurran, 2004):

$$D_{Mg} = \frac{s-1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

D_{Mg} = Indeks Kekayaan Margalef

s = Jumlah spesies yang ditemukan

N = Jumlah total individu dari seluruh spesies

Menurut Magurran (2004), kriteria penilaian indeks kekayaan Margalef dibagi ke dalam tiga kategori umum. Jika nilai $D_{Mg} < 3,5$, maka tingkat kekayaan jenis di ekosistem tersebut tergolong rendah. Jika nilai $3,5 < D_{Mg} < 5,0$, maka kekayaan jenis tergolong sedang. Sedangkan jika nilai $D_{Mg} > 5,0$, maka ekosistem tersebut memiliki tingkat kekayaan jenis yang tinggi. Ekosistem pesisir dengan kualitas parameter lingkungan yang ideal umumnya akan menopang nilai kekayaan makroalga yang tinggi.

4. Indeks Dominansi Simpson (D)

Indeks dominansi adalah perhitungan yang menggambarkan seberapa mendominasi suatu spesies dalam ekosistem. Jika nilai indeks dominansi (D) semakin mendekati 1, ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan satu spesies mendominasi komunitas tersebut (dominansi tinggi), yang berarti sebagian besar individu dalam komunitas tersebut berasal dari satu spesies yang dominan. Sebaliknya, jika nilai indeks dominansi (D) mendekati 0, ini menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi komunitas tersebut secara signifikan, yang berarti distribusi individu di antara spesies yang ada lebih merata dan keanekaragaman lebih tinggi. Indeks dominansi yang digunakan dalam penelitian

ini adalah indeks dominansi Simpson (D) yang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut (Utami & Putra, 2020):

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

Keterangan:

D = Indeks dominansi Simpson

n_i = Jumlah individu dari spesies ke- i

N = Jumlah total individu dari semua spesies

s = Jumlah total spesies

2.4 Metode Transek Kuadrat

Metode transek kuadrat merupakan salah satu teknik sampling yang mengombinasikan dua prinsip dasar ekologi kuantitatif, yaitu penggunaan jalur lintasan lurus (*line/transect*) sebagai pemandu arah gradien lingkungan dan bingkai petak contoh (*quadrat/plot*) dengan ukuran tetap (*fixed size*) sebagai unit sampling dasar (Manly & Alberto, 2015). Dalam kajian bioekologi perairan, Fachrul (2007) menyatakan bahwa metode transek kuadrat dilakukan dengan cara meletakkan suatu petak contoh berupa bingkai berbentuk persegi berukuran 1 m² pada sepanjang garis transek untuk mengamati struktur kuantitatif komunitas vegetasi sessil atau bentik. Penggunaan istilah "kuadrat" dalam metode ini merujuk secara spesifik pada bentuk fisik alat pembatas atau bingkai sampling persegi, bukan merujuk pada modifikasi ukuran luas petak yang membesar secara bertingkat (*nested quadrat*) sebagaimana yang lazim diterapkan pada komunitas vegetasi hutan terestrial berskala makro (Fachrul, 2007; Manly & Alberto, 2015).

Metode transek kuadrat memiliki sejumlah keunggulan signifikan dalam kajian ekologi kuantitatif perairan, terutama untuk memetakan dinamika vegetasi sesil di kawasan pesisir. Fachrul (2007) menjelaskan bahwa metode ini merupakan pilihan yang paling efektif dan efisien apabila luas total dari areal tapak penelitian

belum diketahui secara pasti di lapangan, sekaligus menjadi teknik terbaik untuk mempelajari perubahan stratifikasi, komposisi, dan struktur komunitas vegetasi yang dipengaruhi secara langsung oleh faktor topografi serta elevasi. Kelebihan ini diperkuat oleh pandangan Manly dan Navarro Alberto (2015) yang menempatkan penggunaan kuadrat persegi berukuran tetap di sepanjang garis pemandu sebagai teknik lapangan standar yang sangat populer dan diakui secara ilmiah untuk mengestimasi densitas serta kelimpahan populasi. Melalui penempatan kuadrat secara sistematis (berjarak sama), metode ini mampu memberikan kontrol spasial yang jauh lebih merata, mencakup seluruh zona, dan representatif dalam menggambarkan populasi target dibandingkan dengan sampling acak murni. Hal ini mempermudah peneliti untuk mengetahui jenis vegetasi secara cepat dan menganalisis korelasi langsung antara perubahan faktor abiotik lingkungan dengan struktur biotik komunitas makroalga.

Di sisi lain, penerapan metode transek kuadrat di alam juga memiliki beberapa keterbatasan fungsional dan kendala teknis yang patut diantisipasi. Manly dan Navarro Alberto (2015) menekankan bahwa metode ini sangat menyita banyak waktu (*time-consuming*) di lapangan karena peneliti diwajibkan untuk mencari, mengidentifikasi, dan menghitung seluruh individu tanpa terkecuali di dalam batas bingkai contoh, tidak seperti metode tanpa plot (*plotless sampling*). Selain itu, kendala aksesibilitas fisik medan yang ekstrem sering kali menyebabkan adanya data yang hilang (*missing data*), yang berpotensi memicu bias estimasi jika area yang tidak terjangkau tersebut ternyata memiliki karakteristik kelimpahan yang berbeda.

2.5 Analisis Komponen Utama

Penelitian ekologi kerap melibatkan berbagai variabel lingkungan dan variabel biologis yang kompleks serta saling berkaitan. Memahami hubungan antar variabel tersebut penting dilakukan guna mendapatkan interpretasi yang akurat terkait ekosistem yang diteliti. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode analisis multivariat yang mampu menyederhanakan data tanpa menghilangkan informasi esensial dari setiap variabel. Salah satu analisis multivariat yang relevan adalah Analisis Komponen Utama atau *Principal Component Analysis* (PCA).

Analisis Komponen Utama bekerja dengan mengubah banyak variabel yang saling berkorelasi menjadi beberapa variabel baru yang lebih ringkas dan tidak saling berkorelasi. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengekstrak informasi penting dari kumpulan data yang kompleks untuk kemudian disajikan dalam bentuk variabel baru tersebut. Dalam analisis komponen utama, variabel baru yang dimaksud akan disebut sebagai PC1 dan PC2. Komponen utama pertama (PC1) merupakan variabel baru yang merangkum paling banyak informasi, keragaman data, atau disebut varians terbesar. Komponen Utama kedua (PC2) merupakan variabel yang merangkum sisa varians berikutnya. Kombinasi dari PC1 dan PC2 inilah yang akan mewakili sebagian besar informasi dari data asli (Jolliffe, 2002).

Hasil dari analisis PCA umumnya divisualisasikan dalam bentuk biplot. Biplot merupakan alat interpretasi yang digunakan untuk melihat pola kemiripan antar stasiun pengamatan serta hubungan antar variabel secara simultan dalam satu tampilan grafis. Dalam sebuah biplot, variabel direpresentasikan oleh garis atau vektor, di mana arah dan panjang vektor tersebut mencerminkan kekuatan hubungan antar variabel. Sudut yang terbentuk antar vektor menunjukkan tingkat

korelasi; sudut lancip menunjukkan korelasi positif, sedangkan sudut tumpul menunjukkan korelasi negatif. Selain itu, kedekatan posisi antar titik koordinat dalam biplot mengindikasikan adanya kemiripan pola atau kemiripan karakteristik antar sampel yang diteliti (Jolliffe, 2002).

Dalam penelitian mengenai komunitas makroalga, penggunaan PCA menjadi sangat krusial karena distribusi spesies sering kali dipengaruhi oleh interaksi berbagai parameter lingkungan seperti suhu, salinitas, dan pH, kadar nutrien, dan lain-lain secara simultan. Dengan mereduksi variabel-variabel tersebut ke dalam bidang biplot, hubungan antara karakteristik habitat di setiap stasiun pengamatan dengan keberadaan spesies tertentu dapat diidentifikasi secara lebih jelas dan menyeluruh. Penggunaan PCA dalam penelitian struktur komunitas makroalga telah dilakukan oleh Handayani et al. (2023) dalam penelitiannya yang mengkorelasikan berbagai indeks-indeks ekologis dengan parameter lingkungan pembatas kehidupan makroalga. Dengan demikian, analisis PCA dalam penelitian ini akan berfungsi sebagai instrumen utama untuk mengidentifikasi parameter lingkungan yang paling berpengaruh terhadap struktur komunitas makroalga secara menyeluruh.

2.6 Pantai Tamban Indah

Pantai Tamban Indah secara administratif terletak di pesisir selatan Kabupaten Malang. Secara ekologis, stabilitas habitat di wilayah ini sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara massa air laut Samudera Hindia dengan aliran material dari daratan melalui Muara Sungai Bang. Menurut (Andawayanti, 2013), kondisi hutan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bang berada dalam kondisi yang kritis karena luasnya tinggal 6,7% dari total luas area semula. Hal ini

menyebabkan tingginya koefisien limpasan permukaan, yang berdampak pada peningkatan volume air dan sedimen yang terbuang ke muara secara signifikan

Keadaan di Muara Sungai Bang juga diperparah oleh banjir tahunan. Amrie (2021) mencatat bahwa luapan banjir di muara Sungai Bang mencapai ketinggian 80 cm di atas permukaan daratan sekitar. Banjir tersebut dipicu oleh perubahan tata guna lahan yang masif di hulu, termasuk peningkatan area pemukiman yang mencapai 17,41%. Secara biologis, fenomena ini tidak hanya menyebabkan fluktuasi salinitas yang besar, tetapi juga membawa material erosi yang mengubah morfologi garis pantai dengan mengikis daratan ke arah barat secara signifikan.

Selain masalah hidrologi, sedimentasi menjadi masalah serius yang memberikan dampak pada ekosistem pesisir Pantai Tamban Indah. Vironita et al. (2010) memaparkan bahwa angkutan sedimen yang mengalir di Sungai Bang mencapai 15.369,728 m³ per tahun. Pola penyebaran sedimen ini cenderung terakumulasi ke arah sisi kanan muara atau sisi timur pantai, yang sejalan dengan interaksi arus laut dan debit sungai. Akumulasi sedimen yang tinggi memicu proses pendangkalan (*shoaling*) yang dapat menutupi substrat keras (*attachment*) seperti bebatuan dan rataan terumbu. Kondisi tersebut berpotensi menjadi pembatas bagi berbagai organisme yang menjadi pilar berjalannya ekosistem pesisir di Pantai Tamban Indah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksploratif dengan pendekatan analisis kuantitatif. Metode pengambilan data menggunakan metode transek kuadrat untuk mengambil data struktur komunitas makroalga. Data parameter lingkungan diambil dengan melakukan uji laboratorium pada sampel air laut.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi waktu pengambilan data, metode pengambilan data, dan lokasi pengambilan data.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi hasil analisis struktur komunitas makroalga serta hasil pengukuran parameter lingkungan.

3.2.3 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pemilihan stasiun titik pengambilan data.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data keanekaragaman makroalga dan data parameter lingkungan dilakukan di Pantai Tamban Indah, Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang pada 7 Agustus 2025. Parameter lingkungan diukur melalui uji laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Perum Jasa Tirta pada 7 Agustus 2025.

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera Canon EOS M3, tali rafia ukuran 1x1 meter, tali rafia sepanjang 30 meter, botol gelap,

pasak, alat tulis, dan beberapa bantuan *software* seperti AVENZA Maps, Past4, Quantum Global Information System (QGIS), Fishing Point, dan Microsoft Excel.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.5.1 Observasi Lokasi

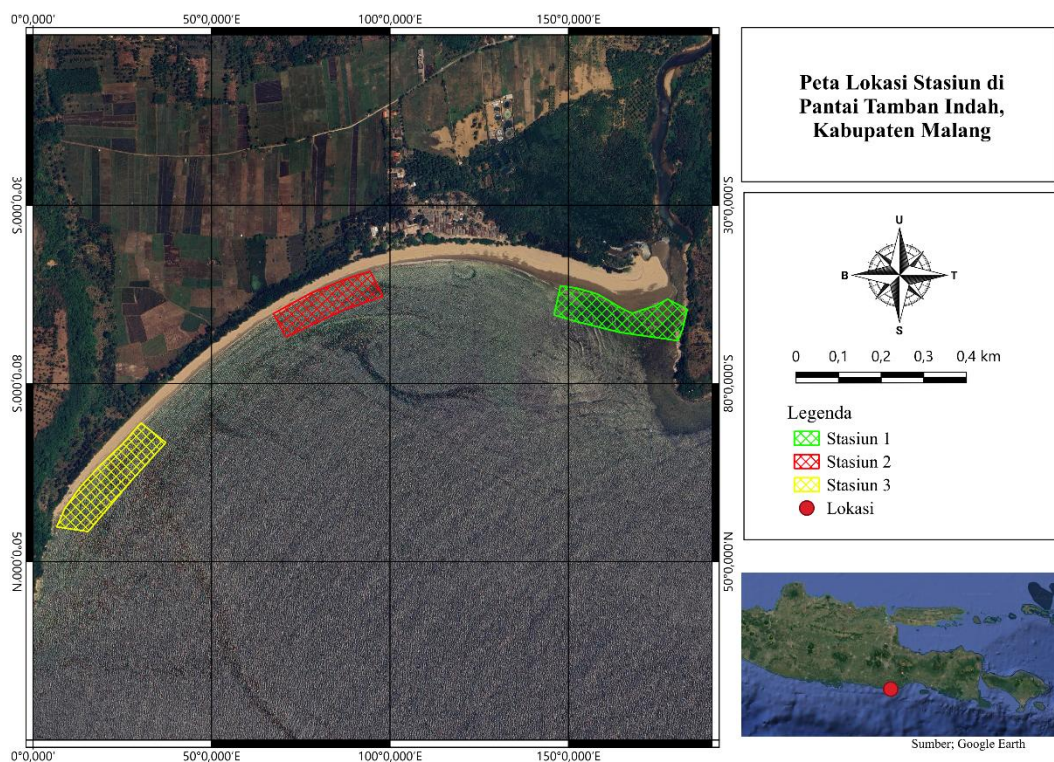
Observasi lokasi menjadi permulaan dari penelitian ini bertujuan untuk menggali informasi kondisi di lapangan dan mengetahui lokasi penelitian. Kegiatan observasi juga dilakukan untuk menentukan titik pengambilan data yang sesuai di Pantai Tamban Indah. Selain itu observasi lokasi dilakukan untuk menentukan model plot pengambilan data yang akan digunakan dalam penelitian ini. Kegiatan observasi lokasi telah dilakukan pada tanggal 10 November 2024.

3.5.2 Penentuan Titik Pengambilan Data

Penentuan titik pengambilan data secara *purposive sampling* dibagi menjadi tiga stasiun pengamatan di Pantai Tamban Indah. Ketiga stasiun ditentukan berdasarkan tipe substrat yang berbeda. Stasiun pertama merupakan stasiun dengan lokasi berdekatan dengan muara sungai yang memiliki substrat pasir sedimen butiran halus dan berbatu. Stasiun kedua merupakan stasiun yang dekat area sawah dan pemukiman dengan substrat pasir butiran kasar dan berbatu. Stasiun ketiga merupakan stasiun yang dekat dengan area sawah dan kebun warga dengan substrat pasir dengan butiran kasar dan berbatu. Penentuan titik transek pada setiap stasiun dilakukan dengan mempertimbangkan persebaran substrat solid, kemudahan akses gerak peneliti dalam memasang transek, dan keamanan peneliti dalam pengambilan data. Penentuan titik dilakukan pada saat observasi lokasi kemudian ditandai koordinatnya dengan aplikasi AVENZA Maps dan diinterpretasikan dengan aplikasi QGIS.

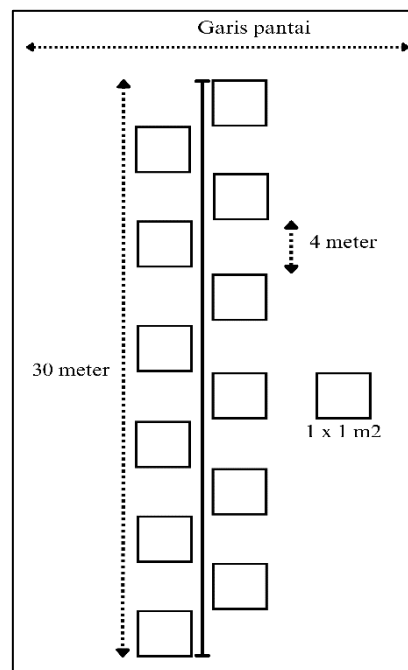
Tabel 3.1 Pemetaan stasiun dan transek penelitian

Stasiun	Deskripsi	Koordinat
1	Merupakan area sekitar muara sungai dan memiliki substrat batuan dan butiran pasir halus.	8°25'08.54"S 112°42'54.57"E- 8°25'07.16"S 112°42'46.77"E
2	Merupakan area dekat pemukiman dan area sawah dengan tipe substrat pasir butiran kasar, batuan kecil, dan pecahan karang.	8°25'04.54"S 112°42'30.46"E- 8°25'06.86"S 112°42'24.88"E
3	Merupakan area dekat kebun dan sawah warga dengan tipe substrat pasir butiran kasar, batuan, dan pecahan karang.	8°25'19.78"S 112°42'09.70"E- 8°25'23.59"S 112°42'07.12"E

**Gambar 3.1. Pemetaan titik transek di setiap stasiun penelitian (Dokumen Pribadi, 2025)**

3.5.3 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data akan menggunakan metode transek kuadrat yang dilakukan pada tiga stasiun. Tiga garis transek sepanjang 30 m tegak lurus dengan bibir pantai pada setiap stasiun. Sebanyak 12 plot kuadrat berukuran 1 m² akan diletakkan di sepanjang sisi garis transek tersusun secara berselang-seling. Sampel makroalga yang ditemukan di dalam plot akan dihitung dan diambil beberapa spesimennya dengan metode *hand collecting* untuk kemudian difoto dan diidentifikasi. Pengambilan data makroalga dilakukan pada saat kondisi air laut berada pada titik surut terjauh. Kondisi tersebut diketahui dengan meninjau perkiraan pasang surut air laut melalui aplikasi *Fishing Point*.



Gambar 3.2 Desain transek kuadrat penelitian

3.5.4 Pengukuran Faktor Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan dilakukan dengan mengambil sampel air Pantai Tamban Indah untuk kemudian diuji di Laboratorium PERUM Jasa Tirta

meliputi parameter pH, DO, TDS, nitrat, dan fosfat. Pengambilan sampel air Pantai dilakukan pada 7 Agustus 2025.

3.5.5 Identifikasi Makroalga

Spesimen makroalga yang didapatkan akan diamati morfologinya menggunakan bantuan kamera dan milimeter blok. Kemudian Spesimen akan diidentifikasi hingga tingkat spesies dengan merujuk pada buku identifikasi *Seaweed of India: The Diversity and Distribution of Seaweeds of Gujarat Coast* (Jha *et al.*, 2009), *algaebase.org*, *Field Guide of Marine Macroalgae (Chlorophyta, Rhodophyta, Phaeophyceae) of Kuwait* (Al-Yamani *et al.*, 2014), serta data herbarium digital University of Michigan Herbarium (MICH) sebagai rujukan pembanding visual tambahan.

3.6 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dalam dua tahap utama. Pertama, data kelimpahan makroalga diolah menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel 2019* untuk mendapatkan nilai indeks ekologis yang meliputi Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), Indeks Kemerataan Pielou (J'), Indeks Dominansi Simpson (D), dan Indeks Kekayaan Margalef (D_{Mg}). Tahap kedua, nilai-nilai indeks tersebut diintegrasikan dengan data parameter lingkungan untuk dianalisis menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) melalui perangkat lunak *Past4*. Analisis PCA ini bertujuan untuk memetakan hubungan serta menentukan faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap struktur komunitas makroalga di Pantai Tamban Indah melalui visualisasi grafik biplot.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Jenis dan Karakteristik Makroalga

Sejumlah 10 spesimen makroalga ditemukan pada penelitian ini. Penjabaran mengenai spesimen tersebut adalah sebagai berikut:

4.1.1 Spesimen 1



Gambar 4.1 Perbandingan Morfologi *Ulva lactuca*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016)

Klasifikasi dari *Ulva lactuca* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2026):

Kingdom	: Plantae
Division	: Chlorophyta
Class	: Ulvophyceae
Order	: Ulvales
Family	: Ulvaceae
Genus	: <i>Ulva</i>
Species	: <i>Ulva lactuca</i>

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 1 memiliki habitus talus berupa lembaran tipis melebar (*foliose*) yang tersusun rapat

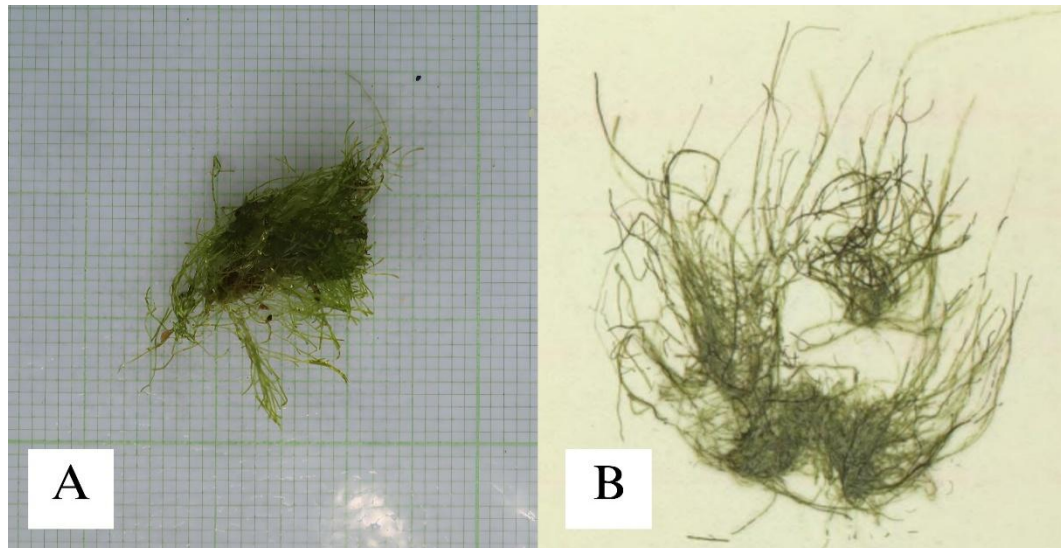
tanpa adanya percabangan. Spesimen ini memiliki warna hijau transparan, permukaan yang terbebas dari akumulasi kapur (kalsifikasi), serta memiliki tepi ujung talus yang bergelombang (*undulate*). Lembaran talus tersebut tumbuh berpusat pada satu titik pangkal dan melekat kuat pada substrat menggunakan alat pelekat berupa *holdfast* berbentuk cakram.

Karakteristik makroskopis berupa lembaran transparan tanpa kalsifikasi tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong dalam famili Ulvaceae. Secara taksonomi, Leliaert et al. (2007) menyatakan bahwa famili ini secara eksklusif memiliki karakter anatomi spesifik berupa talus yang hanya tersusun atas satu hingga dua lapisan sel. Lebih lanjut, spesimen ini diklasifikasikan secara mutlak ke dalam genus *Ulva* karena memiliki karakter kunci mikroskopis yang bersifat distromatik, yakni talus yang dibentuk oleh tepat dua lapisan sel (Guiry & Guiry, 2024). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi karakter fisik spesimen ini telah menunjukkan kesesuaian dengan *Ulva lactuca*. Menurut Jha et al. (2009), karakter kunci lapangan yang membedakan *Ulva lactuca* (kerap disebut selada laut) dari anggota genus *Ulva* lainnya adalah helaian bilahnya yang melebar secara utuh menyerupai selada, absennya bentuk percabangan tubular, serta keseluruhan helaian talusnya yang bergelombang (*undulate*) dan berpusat pada satu *holdfast* cakram di bagian dasar.

Secara ekologis, *Ulva lactuca* dikenal sebagai spesies makroalga oportunistik yang memiliki tingkat adaptasi sangat tinggi terhadap berbagai tekanan lingkungan, termasuk fluktuasi salinitas dan pengayaan nutrien (Guiry & Guiry, 2024). Kemampuan adaptasi ekologis yang luar biasa inilah yang menjadikannya sebagai spesies kosmopolit dengan distribusi global mencakup perairan Arktik,

perairan tropis Indo-Pasifik, pesisir Afrika, hingga Subantartika (Guiry & Guiry, 2024). Di habitat alaminya, *Ulva lactuca* umumnya mendominasi zona intertidal atas yang terpapar fluktuasi pasang surut dengan cara menempel kuat pada bebatuan, pecahan karang, maupun pada substrat berpasir (Jha et al., 2009).

4.1.2 Spesimen 2



Gambar 4.2 Perbandingan Morfologi *Cladophora coelothrix*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Cladophora coelothrix* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2023):

Kingdom	: Plantae
Division	: Chlorophyta
Class	: Ulvophyceae
Order	: Cladophorales
Family	: Cladophoraceae
Genus	: Cladophora
Species	: <i>Cladophora coelothrix</i>

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 2 memiliki habitus berupa rumpun filamen atau benang tipis kusut yang tumbuh sangat rapat. Rumpun tersebut menyebar membentuk hamparan menyerupai karpet (*turf-like*) dan gumpalan bantalan (*cushion-like*) pada permukaan substratnya. Spesimen ini terbebas dari akumulasi kapur (kalsifikasi) dan memiliki pola percabangan filamen yang menyebar secara acak dan tidak beraturan.

Karakteristik makroskopis berupa talus filamen tanpa kalsifikasi tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong dalam famili Cladophoraceae. Secara taksonomi, Leliaert et al. (2007) menyatakan bahwa famili ini dicirikan oleh struktur anatomi berupa filamen yang tersusun atas satu lapis sel-sel multinukleat yang memanjang. Spesimen ini kemudian diklasifikasikan ke dalam genus *Cladophora* karena memiliki karakter diagnostik berupa filamen yang bercabang, membedakannya dari anggota taksa lain dalam famili yang sama (Michalak & Messyas, 2020). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi karakter fisik spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Cladophora coelothrix*. Menurut Gestinari et al. (2010), karakter kunci lapangan yang membedakan *Cladophora coelothrix* adalah percabangannya yang acak serta plastisitas morfologinya dalam membentuk habitus bantalan (*cushion-like*) ketika menempel pada substrat keras seperti batu, dan berupa hamparan karpet (*turf-like*) pada substrat pasir.

Secara ekologis, *Cladophora coelothrix* dikenal sebagai makroalga yang memiliki tingkat adaptasi dan toleransi yang sangat tangguh terhadap fluktuasi parameter lingkungan (Gestinari et al., 2010). Sifat adaptif ini menjadikannya mampu bersifat oportunistik pada kondisi perairan tertentu, serta memungkinkannya untuk hidup menempel pada berbagai jenis media, mulai dari

substrat batuan, pecahan karang, pasir, hingga tumbuh epifit dengan melilitkan talusnya pada makroalga lain (Gestinari et al., 2010). Fleksibilitas ekologis yang tinggi ini mendukung jangkauan distribusi spesiesnya yang sangat luas di seluruh dunia, mencakup wilayah kepulauan Atlantik, pesisir Eropa, benua Amerika, pesisir Afrika, perairan Timur Tengah, kepulauan Samudera Hindia, Asia Tenggara, pesisir Australia, hingga kepulauan Pasifik (Guiry & Guiry, 2023).

4.1.3 Spesimen 3



Gambar 4.3 Perbandingan Morfologi *Boergesenia forbesii*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Boergesenia forbesii* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2026):

Kingdom	: Plantae
Division	: Chlorophyta
Class	: Ulvophyceae
Order	: Cladophorales
Family	: Siphonocladaceae
Genus	: Boergesenia

Species : *Boergesenia forbesii*

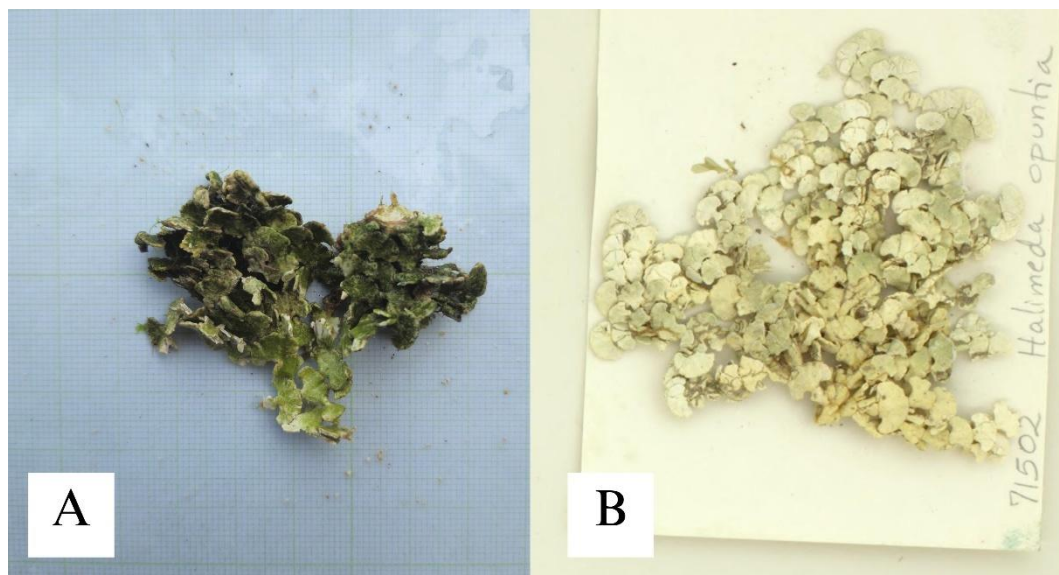
Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 3 memiliki habitus talus tumbuh secara bergerombol membentuk struktur menyerupai kantung tunggal yang berisi cairan. Spesimen ini memiliki warna hijau jernih transparan, sama sekali tidak memiliki percabangan, serta terbebas dari akumulasi kapur (kalsifikasi). Secara visual, bentuk kantung talus tersebut tampak menyempit atau mengerucut pada bagian pangkal dan menggembung di bagian ujungnya, sehingga menyerupai bentuk balon, gada (*clavate*), atau buah pir (*pyriform*).

Karakteristik makroskopis berupa talus menyerupai vesikel tunggal tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Siphonocladaceae. Secara taksonomi, Leliaert et al. (2007) menyatakan bahwa famili ini dicirikan oleh struktur seluler *siphonocladous* (sel multinukleat raksasa) dan memiliki mekanisme reproduksi khas berupa pembelahan sel secara segregatif. Spesimen ini kemudian diklasifikasikan ke dalam genus *Boergesenia* karena memiliki karakter kunci mikroskopis berupa satu sel tunggal raksasa yang membentuk satu talus kantung utuh berisi cairan sitoplasma (Leliaert et al., 2007). Untuk penentuan tingkat spesies, spesimen ini menunjukkan kesesuaian mutlak dengan *Boergesenia forbesii*. Menurut Leliaert et al. (2007), karakter kunci lapangan yang memastikan identitas *Boergesenia forbesii* adalah morfologi talusnya yang spesifik berbentuk *clavate* atau *pyriform*, serta sifat pertumbuhannya yang cenderung membentuk koloni padat atau bergerombol di habitat aslinya.

Secara ekologis, *Boergesenia forbesii* merupakan makroalga yang beradaptasi dengan cukup baik untuk hidup menempel pada zona intertidal dengan

perairan dangkal (kedalaman rendah). Spesies ini mampu mendiami berbagai tipe habitat, mulai dari substrat berpasir maupun substrat yang solid seperti bebatuan dan hamparan karang. Tingkat kelangsungan hidupnya yang baik mendukung jangkauan persebaran geografis yang sangat luas, mencakup perairan kepulauan Karibia, Atlantik Barat, pesisir Afrika, Samudera Hindia, kawasan Timur Tengah, Asia Tenggara, Asia Timur, Australia, Selandia Baru, hingga kepulauan Pasifik (Guiry & Guiry, 2023).

4.1.4 Spesimen 4



Gambar 4.4 Perbandingan Morfologi *Halimeda opuntia*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Halimeda opuntia* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2023):

Kingdom	: Plantae
Division	: Chlorophyta
Class	: Ulvophyceae
Order	: Bryopsidales
Family	: Halimedaceae

Genus : *Halimeda*

Species : *Halimeda opuntia*

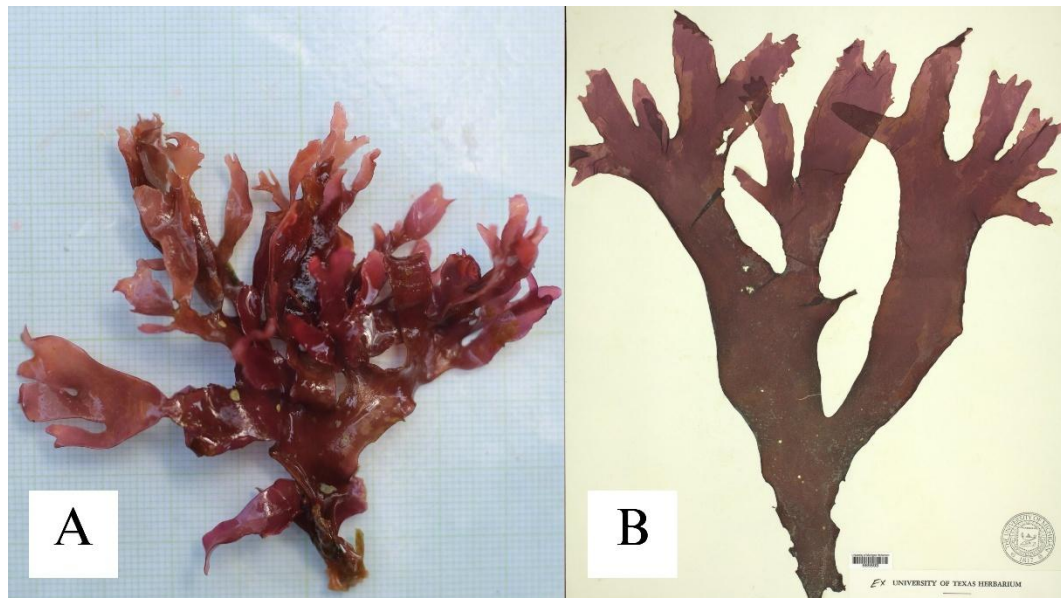
Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 4 memiliki habitus yang sangat rimbun dengan percabangan padat yang menyebar ke berbagai arah. Talus spesimen ini berwarna hijau namun tertutup oleh akumulasi kapur (kalsifikasi) berwarna putih di permukaannya. Secara morfologis, talus berbentuk pipih dan bersegmen-segmen dengan wujud menyerupai ginjal atau hati (*reniform*). Setiap segmen kaku tersebut saling terhubung oleh celah persendian kecil yang lentur. Pada tiap segmennya, bagian tepi pangkal melengkung ke dalam (*concave*), sementara bagian ujungnya mencembung dengan tepi yang sedikit bergelombang (*undulate*).

Karakteristik makroskopis berupa alga hijau yang mengalami kalsifikasi kuat tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Halimedaceae. Secara taksonomi, Cremen et al. (2016) memaparkan bahwa famili ini secara mikroskopis dicirikan oleh struktur penyusun berupa satu sel multinukleat raksasa tanpa dinding sekat (organisme *siphonous*). Spesimen ini kemudian diklasifikasikan secara mutlak ke dalam genus *Halimeda* karena memiliki karakter diagnostik berupa struktur talus yang bersegmen-segmen padat (terkalsifikasi) dan dihubungkan oleh nodus persendian yang tidak terkalsifikasi (Cremen et al., 2016). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi karakter fisik spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Halimeda opuntia*. Menurut El-Manawy & Shafik (2008), karakter kunci lapangan yang membedakan *H. opuntia* dari kerabat satu genusnya adalah bentuk segmen *reniform* dengan pangkal

concave, serta pola percabangan rimbunnya yang tidak beraturan ke segala arah sehingga membentuk bantalan/gumpalan padat.

Secara ekologis, *Halimeda opuntia* dikenal sebagai makroalga berkapur yang berkontribusi penting dalam pembentukan sedimen karbonat (pasir putih) di ekosistem perairan laut hangat (tropis dan subtropis). Spesies ini mampu beradaptasi pada berbagai tipe dasar perairan, sehingga dapat ditemukan hidup melekat pada substrat batuan, hamparan pasir, hingga pasir berlumpur pada kedalaman dangkal yang kurang dari 2 meter (Guiry & Guiry, 2023). Daya adaptasi lingkungan yang baik ini mendukung luasnya distribusi geografis *H. opuntia*, yang mencakup perairan kepulauan Atlantik, Amerika Utara dan Selatan, pesisir Afrika, Samudera Hindia, kawasan Asia, pesisir Australia, hingga kepulauan Pasifik (Guiry & Guiry, 2023).

4.1.5 Spesimen 5



Gambar 4.5 Perbandingan Morfologi *Palmaria palmata*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Palmaria palmata* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2024):

Kingdom : Plantae
 Division : Rhodophyta
 Class : Florideophyceae
 Order : Palmariales
 Family : Palmariaceae
 Genus : *Palmaria*
 Species : *Palmaria palmata*

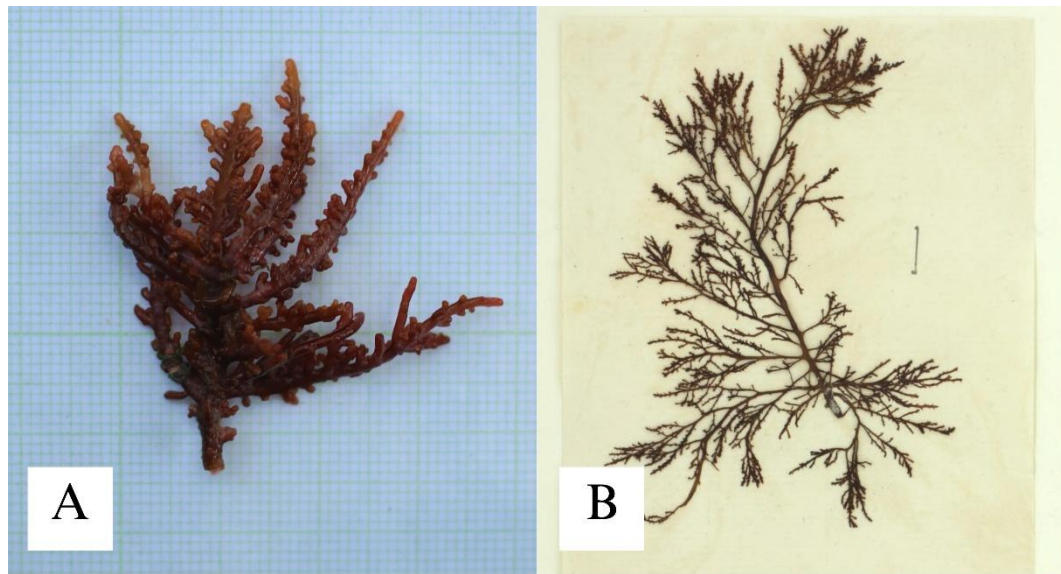
Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 5 memiliki habitus talus berupa lembaran pipih (*foliose*) dengan tekstur *cartilaginous* (kaku menyerupai tulang rawan) dan terbebas dari akumulasi kapur. Percabangan talus terbentuk menyerupai jari-jari telapak tangan (*palmate*) dengan tepi bilah yang halus rata (*entire*). Bagian pangkal talus menyempit menyerupai baji (*cuneate*) tanpa membentuk tangkai (*stipe*) yang nyata, serta melekat kuat pada substrat menggunakan alat pelekak berupa *holdfast* berbentuk cakram (*discoid*).

Karakteristik makroskopis berupa talus lembaran *palmate* bertekstur *cartilaginous* tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Palmariaceae. Secara taksonomi, Guiry (1974) memaparkan bahwa famili ini secara mikroskopis dicirikan oleh sel-sel medula hialin berukuran besar yang tersusun longgar (*loose coherence*) serta kepemilikan struktur organ reproduksi berupa tetrasporangia yang memiliki sel tangkai (*stalk cell*). Spesimen ini kemudian diklasifikasikan ke dalam genus *Palmaria* karena memiliki karakter diagnostik anatomi berupa struktur medula yang bersifat submonostromatik pada sebagian besar talusnya, yang secara makroskopis terlihat sebagai bilah-bilah yang terbagi secara dikotomis hingga menjari (Guiry, 1974). Untuk penentuan tingkat spesies,

kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Palmaria palmata*. Menurut Guiry (1974), karakter kunci lapangan yang memastikan identitas spesies ini adalah bentuk keseluruhan habitusnya yang murni menyerupai telapak tangan (*palmate*) dengan pangkal membaji (*cuneate*) tanpa tangkai penyokong, serta ditemukannya pertumbuhan tambahan (proliferasi) pada bagian tepi ujungnya.

Secara ekologis, *Palmaria palmata* (yang secara global sering dikenal sebagai alga merah *dulse*) merupakan spesies yang umumnya hidup bersifat epilitik dengan cara menempel kuat pada substrat bebatuan maupun hamparan karang mati. Makroalga ini beradaptasi dengan baik di perairan zona intertidal hingga zona subtidal dangkal yang masih mendapatkan paparan penetrasi cahaya matahari optimal untuk proses fotosintesis (Guiry & Guiry, 2024). Toleransinya yang baik terhadap berbagai rentang suhu perairan menjadikannya spesies dengan sebaran geografis yang sangat luas di seluruh dunia, mencakup perairan bersuhu dingin di Arktik, pesisir Eropa dan Amerika Utara, hingga meluas ke perairan hangat di Kepulauan Atlantik, pesisir Afrika, Timur Tengah, Asia Selatan, Asia Timur, Asia Tenggara, dan kepulauan Pasifik (Guiry & Guiry, 2024).

4.1.6 Spesimen 6



Gambar 4.6 Perbandingan Morfologi *Acanthophora dendroides*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Acanthophora dendroides* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2026):

Kingdom	: Plantae
Division	: Rhodophyta
Class	: Florideophyceae
Order	: Ceramiales
Family	: Rhodomelaceae
Genus	: <i>Acanthophora</i>
Species	: <i>Acanthophora dendroides</i>

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 6 memiliki habitus talus yang tumbuh tegak dengan warna merah gelap dan bertekstur kaku (*cartilaginous*). Spesimen ini memiliki struktur menyerupai pohon kecil dengan pola pertumbuhan terpusat pada satu batang silindris padat sebagai sumbu utama (*monopodial*). Karakter fisik paling mencolok pada spesimen ini adalah

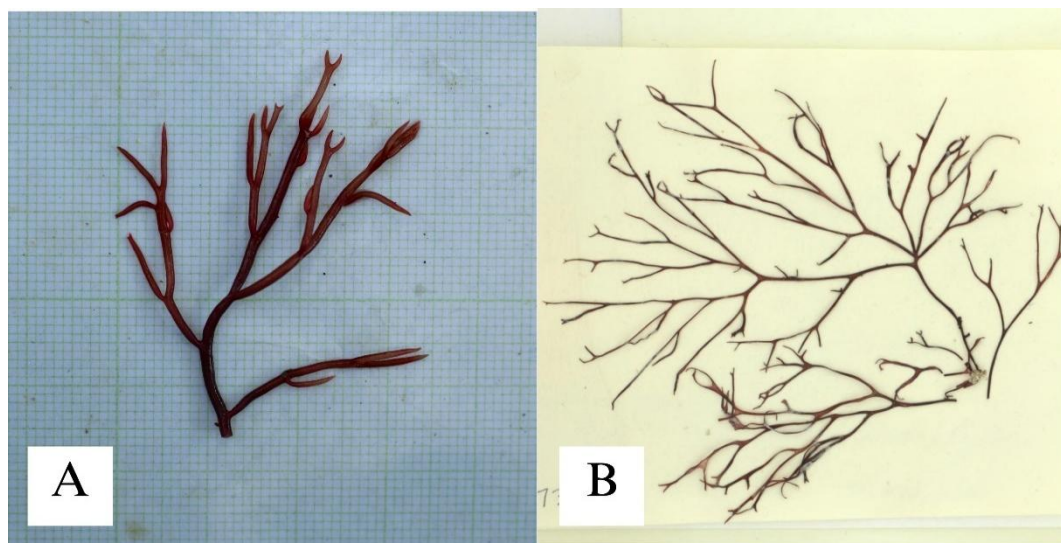
keberadaan cabang-cabang lateral berukuran pendek yang tumbuh tersebar secara melimpah di hampir seluruh bagian talus termasuk pada sumbu utama sehingga secara visual tampak menyerupai tonjolan duri-duri kecil.

Karakteristik makroskopis berupa pertumbuhan monopodial silindris tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Rhodomelaceae. Secara taksonomi diagnostik, Rindi & Cinelli (2000) menyatakan bahwa famili ini secara mikroskopis ditandai oleh struktur talus *polysiphonous*, di mana satu sel aksial pusat dikelilingi oleh empat atau lebih sel perisentral (*uniaksial*) yang menghasilkan sumbu pertumbuhan monopodial. Spesimen ini kemudian diklasifikasikan ke dalam genus *Acanthophora* karena memiliki karakter diagnostik morfologi berupa pertumbuhan cabang-cabang pendek yang terhenti (*determinate growth*) di bagian pangkal sehingga bermodifikasi membentuk struktur menyerupai duri padat (*acanth*) (Hernández-Casas et al., 2025). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Acanthophora dendroides*. Menurut García-Soto & Lopez-Bautista (2019), karakter kunci lapangan yang memastikan identitas spesies ini, sekaligus membedakannya dari spesies *Acanthophora* lain (seperti *A. spicifera*), adalah habitusnya yang sangat khas menyerupai struktur pohon kecil (*dendroid*) disertai dengan pola penyebaran duri-duri yang merata hingga menyelimuti bagian sumbu utamanya.

Secara ekologis, *Acanthophora dendroides* merupakan makroalga bentik yang memiliki daya lekat sangat kuat sehingga mampu mendiami substrat bebatuan dan hamparan karang mati di ekosistem terumbu dangkal. Spesies ini umumnya ditemukan tumbuh subur mendominasi area dari zona intertidal yang dinamis

hingga meluas ke zona subtidal atas (Guiry & Guiry, 2026). Tingkat toleransi dan daya adaptasi ekologisnya yang memadai menjadikannya spesies dengan sebaran geografis luas secara global, mencakup perairan tropis dan subtropis di kepulauan Atlantik Barat, pesisir Benua Afrika, Samudera Hindia, perairan Asia Selatan, perairan Asia Tenggara, kepulauan Nusantara, pesisir Australia, hingga menjangkau kepulauan Pasifik (Guiry & Guiry, 2026).

4.1.7 Spesimen 7



Gambar 4.7 Perbandingan Morfologi *Sarconema filiforme*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Sarconema filiforme* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2018):

Kingdom	: Plantae
Division	: Rhodophyta
Class	: Florideophyceae
Order	: Gigartinales
Family	: Solieriaceae
Genus	: <i>Sarconema</i>

Species : *Sarconema filiforme*

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 7 memiliki habitus talus yang ramping dan berbentuk silindris penuh (*terete*). Percabangan talusnya berpola subdikotomus, di mana cabang-cabang tersebut terbelah dua membentuk sudut yang menyerupai huruf Y secara simetris. Secara visual, spesimen ini memiliki ketebalan talus yang sangat konsisten, tanpa adanya perbedaan diameter yang mencolok dari bagian pangkal hingga ke ujung, namun dengan bagian ujung percabangan (apikal) yang tampak meruncing.

Karakteristik makroskopis berupa talus silindris berdaging dengan percabangan subdikotomus beraturan tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Solieriaceae. Secara taksonomi diagnostik, spesimen ini diklasifikasikan secara spesifik ke dalam genus *Sarconema* karena memiliki ukuran talus silindris dengan diameter konsisten pada kisaran 0,5 mm hingga 2 mm (Guiry & Guiry, 2018). Lebih lanjut, Guiry & Guiry (2018) menegaskan bahwa genus *Sarconema* dicirikan oleh karakter kunci anatomi mikroskopis berupa struktur inti medula (*medullary core*) yang tersusun atas filamen longitudinal secara rapat dan dikelilingi oleh lapisan korteks yang lebar. Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Sarconema filiforme*. Menurut Ganesan et al. (2015), karakter kunci lapangan yang memastikan identitas spesies ini adalah bentuk percabangan apikalnya yang mengalami bifurkasi (pembelahan ujung) secara simetris dan diakhiri dengan ujung cabang yang secara khas meruncing.

Secara ekologis, *Sarconema filiforme* dikenal sebagai makroalga yang memiliki preferensi habitat pada perairan dengan paparan arus atau pergerakan air

yang dinamis. Spesies ini tumbuh optimal pada zona intertidal bawah (*lower intertidal*) hingga masuk ke zona subtidal dengan cara menempel kuat secara epilitik pada substrat bebatuan dan hamparan karang (Guiry & Guiry, 2018). Toleransi termalnya yang beradaptasi sangat baik pada perairan bersuhu hangat menjadikannya sebagai spesies dengan distribusi pantropis yang sangat luas, mencakup perairan pesisir Timur Afrika, Samudera Hindia, kawasan pesisir Australia, kepulauan Samudera Pasifik, hingga dilaporkan merambah ke perairan Mediterania (Guiry & Guiry, 2018).

4.1.8 Spesimen 8



Gambar 4.8 Perbandingan Morfologi *Sargassum aquifolium*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (Al-Yamani et al., 2014).

Klasifikasi dari *Sargassum aquifolium* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2024):

Kingdom	: Chromista
Division	: Ochrophyta
Class	: Phaeophyceae
Order	: Fucales

Family : Sargassaceae

Genus : *Sargassum*

Species : *Sargassum aquifolium*

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 8 merupakan makroalga cokelat (Divisi Ochrophyta) yang memiliki habitus talus tingkat tinggi dengan diferensiasi organ yang sangat jelas. Struktur talus spesimen ini terdiri atas bagian menyerupai batang utama (*stipe*), helaian menyerupai daun (*blade/leaf-like*), dan dilengkapi dengan kantung udara (*pneumatocyst*). Helaian daun berbentuk oval tanpa percabangan dengan tepi yang bergerigi. Kantung udara berbentuk lonjong dengan ujung meruncing, bertangkai ramping, dan tidak memiliki sisa bilah daun di tepinya. Selain itu, ditemukan pula organ reproduksi (*receptacle*) berbentuk lonjong seperti tongkol tak bercabang dengan tekstur permukaan kasar bergerigi yang tumbuh di bagian ketiak cabang.

Karakteristik makroskopis berupa talus berdiferensiasi kompleks tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Sargassaceae. Secara taksonomi diagnostik, Board of Botanic Gardens and State Herbarium (2025) menyatakan bahwa famili ini dicirikan oleh struktur batang utama silindris hingga pipih yang menopang cabang menyerupai daun, sistem pelekatan *holdfast discoid-conical*, serta keberadaan kantung udara. Spesimen ini diklasifikasikan ke dalam genus *Sargassum* karena memiliki karakter mutlak berupa *pneumatocyst* dan *receptacle* yang muncul secara independen pada ketiak cabang daun, dan bukan merupakan modifikasi dari ranting (*ramuli*) biasa (Santiañez & Trono, 2013). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Sargassum aquifolium*. Menurut Shams et al. (2015), karakter

kunci lapangan yang memastikan identitas *S. aquifolium* adalah helaian daunnya yang bergerigi tajam (*serrate*), dikombinasikan dengan bentuk kantung udara meruncing (*mucronate*) dan tidak bersayap (*wingless*), serta *receptacle* bersisik/bergerigi pada permukaannya.

Secara ekologis, *Sargassum aquifolium* dikenal sebagai spesies pembentuk kanopi (*canopy-forming*) yang menyediakan habitat krusial bagi berbagai biota laut berkat keberadaan kantung udaranya yang membuat talusnya mampu mengapung tegak di kolom air (Guiry & Guiry, 2024). Spesies ini beradaptasi secara luar biasa terhadap tekanan hidrodinamis, sehingga banyak ditemukan menempel kuat secara epilitik pada substrat batu dan hamparan karang di zona intertidal hingga subtidal dangkal yang terus-menerus terpapar hempasan ombak sedang hingga kuat (Guiry & Guiry, 2024). Toleransinya yang tangguh terhadap dinamika perairan pesisir mendukung persebarannya yang sangat luas, mencakup wilayah pesisir Benua Afrika, Kepulauan Samudera Hindia, Timur Tengah, pesisir India, Asia Tenggara, Asia Timur, perairan Australia, Selandia Baru, hingga jajaran Kepulauan Samudera Pasifik (Guiry & Guiry, 2024).

4.1.9 Spesimen 9



Gambar 4.9 Perbandingan Morfologi *Turbinaria ornata*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumen Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Turbinaria ornata* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2022):

Kingdom	: Chromista
Division	: Ochrophyta
Class	: Phaeophyceae
Order	: Fucales
Family	: Sargassaceae
Genus	: <i>Turbinaria</i>
Species	: <i>Turbinaria ornata</i>

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 9 (alga cokelat/Ochrophyta) memiliki habitus talus berwarna cokelat gelap dengan diferensiasi organ yang kompleks menyerupai akar, batang tegak (*stipe*), dan helaian daun (*blade*). Pola pertumbuhan talus bersifat monopodial dengan helaian daun yang sangat khas termodifikasi menyerupai corong terbalik. Permukaan atas

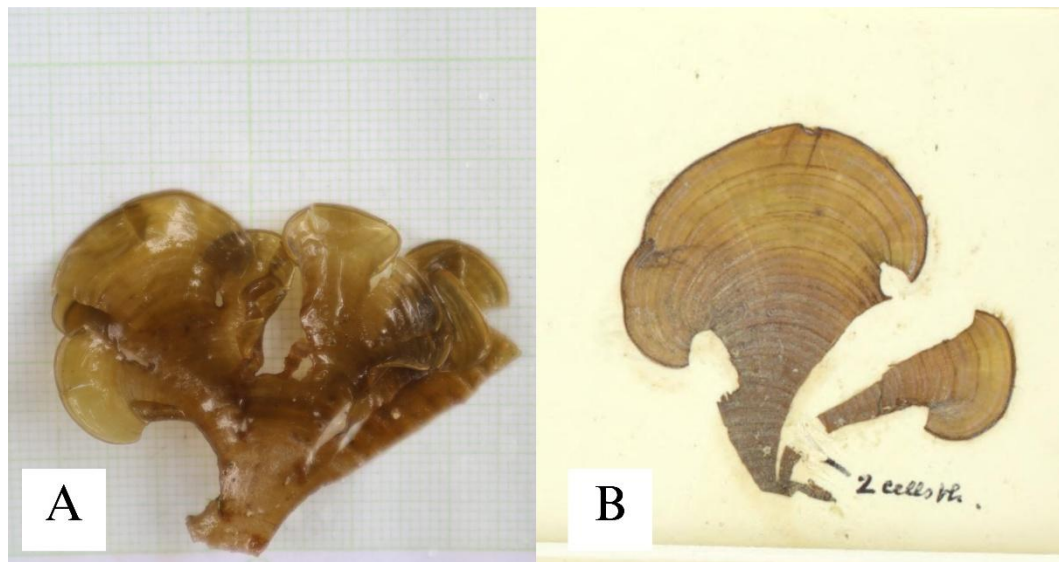
daun tersebut rata (*flattened*), membentuk dua bilah menyerupai bibir, dan tidak menunjukkan adanya kantung udara (*pneumatocyst*) eksternal yang terpisah. Tepi daun spesimen ini dikelilingi oleh duri tajam yang tersusun rapat. Selain itu, ditemukan pula struktur reproduksi (*receptacle*) berupa benjolan bulat tanpa tangkai yang menempel kuat di ketiak cabang lateral daunnya.

Karakteristik makroskopis berupa talus kompleks berdiferensiasi dan keberadaan *receptacle* di ketiak cabang tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Sargassaceae (Board of Botanic Gardens and State Herbarium, 2025). Spesimen ini kemudian diklasifikasikan secara mutlak ke dalam genus *Turbinaria* karena memiliki karakter diagnostik utama berupa helaian daun yang termodifikasi menjadi bentuk corong terbalik, di mana organ kantung udaranya tidak tumbuh independen melainkan terintegrasi ke dalam struktur internal daun itu sendiri (Handayani, 2018). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Turbinaria ornata*. Menurut Riry et al. (2022), karakter kunci lapangan yang memastikan identitas spesies ini adalah struktur daun permukaan rata yang dikelilingi pola duri spesifik berupa "dua baris ganda"—yakni satu baris duri menghadap ke pusat corong dan satu baris lainnya menghadap ke luar sebagai tepi daun (*margin*)—di mana rongga daun tersebut memegang fungsi ganda sebagai struktur fotosintetik sekaligus penyimpan udara.

Secara ekologis, *Turbinaria ornata* dikenal sebagai makroalga bentik bertekstur kaku dan sangat liat yang memberikannya daya tahan tinggi terhadap tekanan fisik dan dinamika gelombang yang kuat di lautan. Modifikasi *blade*-nya yang berfungsi ganda menyimpan rongga udara secara internal sangat

menguntungkan alga ini untuk mempertahankan talusnya tetap tegak di kolom air dan memaksimalkan penerimaan cahaya matahari. Spesies ini umumnya ditemukan tumbuh secara epilitik dengan melekat sangat kuat pada substrat batu masif maupun hamparan karang (Handayani, 2018). Tingkat adaptasi mekanis dan ekologis yang tinggi ini mendukung luasnya distribusi geografis spesies ini di seluruh dunia, mencakup wilayah Amerika Selatan (Cile), Benua Afrika, Kepulauan Samudera Hindia, kawasan Timur Tengah, Asia Selatan, Asia Tenggara, Asia Timur, perairan Australia, hingga kepulauan Samudera Pasifik (Guiry & Guiry, 2022).

4.1.10 Spesimen 10



Gambar 4.10 Perbandingan Morfologi *Padina australis*. (A) Spesimen pengamatan (Dokumentasi Pribadi, 2025); (B) Spesimen literatur (University of Michigan Herbarium, 2016).

Klasifikasi dari *Padina australis* adalah sebagai berikut (Guiry & Guiry, 2022):

Kingdom	: Chromista
Division	: Ochrophyta
Class	: Phaeophyceae
Order	: Dictyotales

Family : Dictyotaceae

Genus : *Padina*

Species : *Padina australis*

Pengamatan makroskopis di lapangan menunjukkan bahwa Spesimen 10 (alga cokelat/Ochrophyta) memiliki habitus berupa lembaran tipis pipih (*foliose*) berwarna cokelat cerah kekuningan. Morfologi talusnya melebar menyerupai bentuk kipas atau setengah lingkaran (*flabellate*). Spesimen ini memiliki ciri fisik yang sangat khas berupa bagian tepi talus yang melengkung atau menggulung ke arah dalam. Pada permukaan talusnya, terlihat jelas adanya pola garis-garis gelap yang tersusun secara konsentris mengikuti lengkungan bentuk talus, serta terdapat lapisan endapan kapur (kalsifikasi) yang sangat tipis sehingga tidak menutupi warna asli talusnya.

Karakteristik makroskopis berupa talus pipih berkapur tanpa diferensiasi struktur yang kompleks (seperti ketiadaan akar/batang/daun sejati) tersebut mengonfirmasi bahwa spesimen ini tergolong ke dalam famili Dictyotaceae (De Clerck et al., 2006). Spesimen ini kemudian diklasifikasikan secara mutlak ke dalam genus *Padina* karena memiliki karakter diagnostik spesifik berupa habitus talus *flabellate* dengan tepi menggulung, serta keberadaan garis rambut (*hair lines*) mikroskopis yang tersusun secara konsentris berseling dengan lapisan kalsifikasi di permukaannya (Nguyen et al., 2024). Untuk penentuan tingkat spesies, kombinasi morfologi spesimen ini menunjukkan kesesuaian dengan *Padina australis*. Menurut Geraldino et al. (2005), karakter kunci lapangan yang secara tegas membedakan *Padina australis* dari kerabat satu genusnya adalah intensitas kalsifikasinya yang paling rendah, sehingga warna cokelat kekuningan alami dari kloroplas talusnya

tampil jauh lebih dominan dibandingkan dengan warna putih kusam dari endapan kapurnya.

Secara ekologis, *Padina australis* merupakan makroalga bentik yang sangat toleran terhadap fluktuasi intensitas cahaya matahari di perairan dangkal. Lapisan kalsifikasi tipis pada permukaannya berfungsi ganda sebagai mekanisme adaptasi untuk memantulkan radiasi sinar ultraviolet berlebih sekaligus sebagai pelindung fisik dari hewan herbivora laut. Spesies ini umumnya ditemukan menempel kuat membentuk koloni pada substrat bebatuan masif maupun hamparan pecahan karang (Geraldino et al., 2005). Ketahanan ekologisnya yang mumpuni di perairan beriklim hangat menjadikan spesies ini memiliki wilayah distribusi yang sangat luas, mencakup perairan Afrika Barat, pesisir Samudera Hindia, kawasan Asia Timur, perairan Asia Tenggara, jajaran Kepulauan Pasifik, hingga mencapai pesisir benua Australia (Geraldino et al., 2005).

4.2 Struktur Komunitas Makroalga

4.2.1 Distribusi Makroalga

Data distribusi makroalga pada Tabel 4.1 memaparkan adanya variasi komposisi dan kelimpahan spesies antar tiap stasiun pengamatan. Di Stasiun 1, komposisi makroalga didominasi oleh spesies *Cladophora coelothrix* dengan jumlah 67 dari total 82 individu yang ditemukan. Tingginya kelimpahan ini mengindikasikan bahwa *Cladophora coelothrix* memiliki tingkat toleransi yang baik terhadap fluktuasi lingkungan di Stasiun 1, di mana lokasi tersebut merupakan area muara Sungai Bang yang menerima endapan sedimen dan limpasan massa air tawar dari arah daratan (Amrie, 2021). Kondisi dominansi ini sejalan dengan pernyataan Michalak & Messyasz (2020), yang menjelaskan bahwa genus *Cladophora* merupakan alga pembentuk hamparan (*turf algae*) yang bersifat

oportunistik. Pertumbuhan kelompok alga ini dapat meningkat secara drastis (*blooming algae*) sebagai respons fisiologis terhadap tingginya akumulasi nutrisi (nitrogen dan fosfor) akibat masukan limbah di perairan. Pola ekologis ini tervalidasi oleh temuan Ghazali et al. (2025) pada ekosistem Delta Muara Sungai Rambang, yang membuktikan bahwa perairan muara dengan tekanan nutrisi dan turbiditas tinggi cenderung didominasi oleh makroalga oportunistik dari divisi Chlorophyta seperti *Ulva intestinalis* dan *Cladophora* sp.. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa perairan dengan beban eutrofikasi memicu penurunan nilai keanekaragaman yang diikuti oleh monopoli ruang dari taksa yang paling toleran. Sebagai akibat dari dominansi tersebut, hanya sedikit spesies lain yang dijumpai di Stasiun 1, seperti *Padina australis* dan *Ulva lactuca*.

Berbeda dengan kondisi di Stasiun 1, profil distribusi pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 menunjukkan struktur komunitas yang lebih seimbang dan beragam. Pada kedua stasiun tersebut, 10 spesies makroalga yang menjadi target pengamatan ditemukan keberadaannya secara menyeluruh tanpa adanya satu taksa yang mendominasi dengan proporsi yang ekstrem. Profil sebaran yang merata ini sangat representatif dan berkesesuaian dengan kondisi ekosistem pesisir normal yang minim tekanan lingkungan. Sebagai pembandingan, penelitian Arianti et al. (2024) di kawasan Pantai Sire yang tergolong stabil juga menunjukkan pola keragaman serupa, di mana berbagai spesies penyusun komunitas terdistribusi secara proporsional mengisi relung ekologis tanpa adanya ledakan populasi (*blooming*) dari alga oportunistik. Spesies *Cladophora coelothrix* sendiri sejatinya tetap ditemukan pertumbuhannya di Stasiun 2 (14 individu) dan Stasiun 3 (18 individu)

Pantai Tamban Indah. Namun, pertumbuhannya sangat terbatas dan tidak menunjukkan sifat oportunistik layaknya di area muara.

Terbatasnya populasi *Cladophora* di Stasiun 2 dan 3 sangat dipengaruhi oleh adanya kompetisi interspesifik dalam memperebutkan ruang perlekatan (substrat) dan intensitas cahaya matahari. Pada perairan yang lebih stabil dan minim pencemaran seperti Stasiun 2 dan 3, struktur relung ekologisnya banyak diisi oleh makroalga berukuran besar yang mampu membentuk kanopi (*canopy-forming macroalgae*), seperti *Sargassum aquifolium* dan *Turbinaria ornata*. Menurut Nguyen et al., (2024), postur talus yang tinggi serta struktur percabangan yang rimbun dari famili Sargassaceae ini menghasilkan efek naungan (*shading effect*) yang membatasi penetrasi cahaya matahari ke bagian dasar perairan. Kondisi keterbatasan cahaya inilah yang secara alami menekan laju pertumbuhan makroalga tipe hamparan (*turf*) berukuran kecil seperti *Cladophora*.

Tabel 4.1 Sebaran makroalga pada lokasi penelitian

Kelas	Spesies	Stasiun			Jumlah
		I	II	III	
Chlorophyceae	<i>Ulva lactuca</i>	3	22	31	56
	<i>Cladophora coelothrix</i>	67	14	18	99
	<i>Boergesenia forbesii</i>	0	10	20	30
	<i>Halimeda opuntia</i>	0	14	22	36
Rhodophyceae	<i>Palmaria palmata</i>	0	4	33	37
	<i>Sarconema filiforme</i>	0	7	31	38
	<i>Acanthophora dendroides</i>	0	13	26	39
Phaeophyceae	<i>Sargassum aquifolium</i>	0	22	21	43
	<i>Padina australis</i>	12	20	10	42
	<i>Turbinaria ornata</i>	0	14	21	35
Jumlah		82	140	233	455

4.2.2 Analisis Indeks Ekologis Komunitas Makroalga

Hasil analisis struktur komunitas yang tercantum dalam Tabel 4.2 menunjukkan bahwa Stasiun 1 memiliki profil indeks ekologis yang paling rendah jika dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3. Nilai Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H') di Stasiun 1 terukur sebesar 0,57, yang secara ekologis dikategorikan sebagai keanekaragaman rendah ($H' < 1$). Rendahnya nilai keanekaragaman ini berbanding lurus dengan nilai Indeks Kemerataan (J') yang hanya sebesar 0,52, serta Indeks Kekayaan Jenis (DMg) sebesar 0,45. Sebaliknya, nilai Indeks Dominansi (D) di Stasiun 1 menempati angka tertinggi dibandingkan stasiun lainnya, yaitu mencapai 0,69.

Secara ekologis, pola indeks di Stasiun 1 mengindikasikan bahwa ekosistem pesisir tersebut sedang mengalami tekanan lingkungan yang signifikan. Tingginya nilai dominansi dan rendahnya angka kemerataan mencerminkan adanya ketimpangan proporsi jumlah individu di alam, di mana ruang ekologis dimonopoli oleh populasi *Cladophora coelothrix* akibat gempuran eutrofikasi muara. Pola degradasi ekosistem di area muara ini sejalan dengan penelitian Ghazali et al. (2025) di kawasan Delta Muara Sungai Rambang. Dalam penelitian tersebut, stasiun yang berbatasan langsung dengan muara sungai terbukti memiliki profil ekologis yang paling tertekan, dengan rincian angka Indeks Keanekaragaman (H') terendah yakni 1,9; Indeks Keseragaman (E) terendah sebesar 0,63; dan Indeks Dominansi (D) tertinggi mencapai 0,22. Jika disandingkan, tingkat tekanan ekosistem di Stasiun 1 Pantai Tamban Indah justru tergolong lebih ekstrem dibandingkan Delta Rambang, yang dibuktikan dengan angka dominansi (D) yang jauh melampaui angka tersebut (0,69) dan nilai keanekaragaman yang merosot di bawah angka 1,00.

Berbanding terbalik dengan Stasiun 1, perhitungan indeks ekologis pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 merepresentasikan kondisi ekosistem yang jauh lebih seimbang dan stabil. Nilai keanekaragaman (H') pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 secara berturut-turut adalah 2,21 dan 2,26, yang masuk ke dalam kategori sedang. Kestabilan ini didukung secara kuat oleh nilai Indeks Kemerataan (J') yang sangat tinggi, yaitu 0,96 di Stasiun 2 dan 0,98 di Stasiun 3. Tingginya pemerataan ini, yang nyaris menyentuh nilai maksimal 1, membuktikan bahwa jumlah individu terdistribusi secara proporsional di antara spesies yang menyusun komunitas tersebut tanpa adanya persaingan ruang yang saling mematikan. Hal ini turut divalidasi oleh rendahnya angka Indeks Dominansi (D) di kedua stasiun tersebut, yakni hanya sebesar 0,12 dan 0,11. Ketiadaan spesies yang memonopoli menunjukkan bahwa relung ekologis pada Stasiun 2 dan 3 masih terisi secara optimal.

Untuk menguji tingkat stabilitas tersebut, hasil perhitungan Stasiun 2 dan 3 dikomparasikan dengan profil komunitas makroalga di perairan normal yang minim aktivitas antropogenik. Berdasarkan penelitian Arianti et al. (2024) di kawasan pesisir Pantai Sire yang relatif stabil, ekosistem makroalga di wilayah tersebut mencatatkan Indeks Keanekaragaman (H') sebesar 2,47; Indeks Kemerataan (J') sebesar 0,91; dan Indeks Dominansi (D) di angka 0,11. Hasil komparasi ini menunjukkan kemiripan pola dan kedekatan nominal yang sangat identik dengan kondisi di Stasiun 2 dan Stasiun 3 Pantai Tamban Indah (H' : 2,21–2,26; J' : 0,96–0,98; D : 0,11–0,12). Kesesuaian empiris ini menjadi bukti yang kuat bahwa meskipun berada di satu garis pantai yang sama dengan muara yang tercemar,

Stasiun 2 dan Stasiun 3 masih memiliki daya dukung lingkungan yang optimal dalam mempertahankan tatanan alamiah vegetasi lautnya.

Adapun terkait Indeks Kekayaan Jenis Margalef (DMg), hasil analisis menunjukkan bahwa rentang nilai di ketiga stasiun (0,45 di Stasiun 1; 1,82 di Stasiun 2; dan 1,65 di Stasiun 3) seluruhnya menetap pada kategori rendah (DMg < 3,5). Rendahnya indeks kekayaan ini pada dasarnya merupakan cerminan dari karakteristik ekstrem zona intertidal itu sendiri. Paparan mekanis berupa hempasan gelombang laut dan tekanan fisiologis berupa fluktuasi kekeringan (desikasi) saat air laut surut secara selektif membatasi jumlah variasi taksa baru yang mampu beradaptasi. Meskipun variasi spesies penyusunnya tidak membludak, proporsi pemerataan (J') yang sangat tinggi dan dominansi (D) yang sangat rendah tetap menjadikan Stasiun 2 dan 3 sebagai parameter utama yang merepresentasikan ekosistem pesisir sehat.

Tabel 4.2 Hasil Analisis indeks ekologis komunitas makroalga di lokasi penelitian

Indeks Ekologis	Simbol	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Keanekaragaman Shannon-Wiener	H'	0,57*	2,21*	2,26*
Kemerataan Pielou	J'	0,52	0,96	0,98
Dominansi Simpson	D	0,69*	0,12*	0,11*
Kekayaan Margalef	DM_g	0,45	1,82	1,65

Keterangan: (*)Terdapat adanya nilai perbedaan nyata pada indeks Keanekaragaman (H') secara statistik ($p < 0,05$) antara Stasiun 1 dan Stasiun 2, serta Stasiun 1 dan Stasiun 3
 (*) Terdapat adanya nilai perbedaan nyata pada indeks Dominansi (D) secara statistik ($p < 0,05$) antara Stasiun 1 dan Stasiun 2, serta Stasiun 1 dan Stasiun 3

Untuk membuktikan signifikansi perbedaan struktur komunitas antarstasiun, dilakukan pengujian statistik menggunakan *Diversity t-test* pada aplikasi Past4. Hasil uji komparasi mengonfirmasi bahwa Stasiun 1 memiliki perbedaan yang sangat signifikan dibandingkan kedua stasiun lainnya. Perbandingan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H') antara Stasiun 1 dan Stasiun 2 menghasilkan nilai t hitung sebesar -16,939 dengan p -value sebesar $2,62 \times 10^{-32}$ ($p < 0,05$), sedangkan perbandingan dengan Stasiun 3 menghasilkan nilai t hitung sebesar -18,319 dengan p -value sebesar $3,21 \times 10^{-32}$ ($p < 0,05$). Hasil serupa juga terlihat secara mutlak pada pengujian Indeks Dominansi Simpson (D), di mana Stasiun 1 berbeda nyata terhadap Stasiun 2 ($t = 9,578$; p -value = $3,94 \times 10^{-15}$) maupun terhadap Stasiun 3 ($t = 9,767$; p -value = $1,97 \times 10^{-15}$). Nilai signifikansi yang mendekati nol ini memberikan bukti statistik bahwa tekanan lingkungan berupa fluktuasi salinitas dan tingginya pencemaran nitrat di area muara (Stasiun 1) secara nyata telah menurunkan tingkat keanekaragaman makroalga dan memicu dominansi *Cladophora coelothrix* jika dibandingkan dengan ekosistem pesisir di Stasiun 2 dan Stasiun 3 yang jauh lebih stabil.

Sebaliknya, pengujian komparasi *Diversity t-test* antara Stasiun 2 dan Stasiun 3 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (non-signifikan). Perbandingan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H') pada kedua stasiun tersebut menghasilkan nilai t hitung sebesar -1,145 dengan p -value sebesar 0,253 ($p > 0,05$). Pengujian Indeks Dominansi Simpson (D) juga menghasilkan nilai t hitung sebesar 1,071 dengan p -value sebesar 0,284 ($p > 0,05$). Angka signifikansi yang berada di atas ambang batas 0,05 ini membuktikan secara statistik bahwa struktur komunitas makroalga di Stasiun 2 dan Stasiun 3 memiliki tingkat

kestabilan yang identik atau setara. Hal ini mengonfirmasi bahwa ekosistem yang minim paparan limpasan dari muara memiliki daya dukung lingkungan yang sama baiknya dalam menopang pertumbuhan makroalga kanopi secara optimal tanpa memicu monopoli dari spesies oportunistis tertentu.

4.3 Korelasi Parameter Lingkungan terhadap Struktur Komunitas Makroalga

4.3.1 Profil Parameter Lingkungan

Hasil pengukuran parameter lingkungan pada lokasi penelitian sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.3 menunjukkan adanya dinamika yang kompleks antara parameter fisik yang stabil dan parameter kimiawi yang mengalami fluktuasi ekstrem akibat tekanan antropogenik. Berdasarkan data, parameter derajat keasaman (pH) dan oksigen terlarut (DO) menunjukkan nilai yang sangat seragam dan berada pada kondisi optimal di seluruh area penelitian. Nilai pH perairan Pantai Tamban Indah berkisar pada rentang basa yang sempit, yakni antara 7,93 hingga 8,00. Angka ini masuk ke dalam kategori ideal dan memenuhi standar Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut berdasarkan Lampiran VIII Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021, yaitu pada kisaran 7,0 hingga 8,5. Konsistensi nilai pH ini membuktikan berjalannya mekanisme alami lautan dalam menjaga kondisi alkali melalui sistem penyangga (*buffer*) karbonat dengan sangat baik (Millero, 2013). Tingkat kelayakan fisik perairan ini didukung oleh tingginya kadar oksigen terlarut (DO) yang stabil di angka 7,08 hingga 7,44 mg/L. Angka tersebut melampaui batas minimal baku mutu yang ditetapkan (yakni > 5 mg/L). Sebagai perbandingan, penelitian Ghazali et al. (2025) di Delta Muara Sungai Rambang mencatat rentang pH yang serupa (7,84–8,03). Namun, kadar DO pada ekosistem tersebut berada di bawah ambang batas baku mutu yaitu 4,28–4,92 ppm.

Perbedaan karakteristik ekologis antartitik di Pantai Tamban Indah mulai terlihat secara signifikan pada parameter *Total Dissolved Solids* (TDS). Stasiun 1 terukur memiliki nilai TDS terendah, yaitu 35.380 mg/L, dibandingkan dengan Stasiun 2 (38.320 mg/L) dan Stasiun 3 (39.080 mg/L). Mengacu pada konsep oseanografi kimiawi menurut Millero (2013), nilai TDS sangat linier dengan tingkat salinitas air laut karena 99% materi terlarutnya direpresentasikan oleh ion-ion garam anorganik. Rendahnya nilai TDS di Stasiun 1 ini merupakan fenomena hidrologis yang wajar karena stasiun tersebut merepresentasikan area muara yang menerima debit limpasan air tawar dari Sungai Bang sehingga dapat mengencerkan konsentrasi ion terlarut, kemudian salinitas lokalnya menurun dibandingkan stasiun lain yang lebih terpapar massa air laut lepas (Castro & Huber, 2024).

Meskipun secara fisik perairan tampak mendukung, limpasan dari arah daratan membawa dampak kimiawi yang sangat merusak (eutrofikasi), khususnya berupa akumulasi senyawa nitrat dan fosfat yang melampaui daya dukung perairan. Berdasarkan regulasi PP No. 22 Tahun 2021, batas kelayakan kadar nitrat bagi biota laut adalah 0,05 mg/L dan fosfat sebesar 0,015 mg/L. Akan tetapi, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa perairan Pantai Tamban Indah berada dalam fase pencemaran nutrien tingkat berat. Kadar nitrat di seluruh garis pantai terukur sangat tinggi, dengan titik puncak berada di area muara atau Stasiun 1 (2,570 mg/L), diikuti Stasiun 3 (2,158 mg/L), dan Stasiun 2 (2,127 mg/L). Beban nitrat di Stasiun 1 yang mencapai 50 kali lipat di atas ambang batas normal ini mengonfirmasi bahwa aliran Sungai Bang menjadi jalur masuk utama bagi akumulasi limbah domestik dan residu pupuk dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Bang. Di sisi lain, akumulasi fosfat tertinggi justru berpusat di Stasiun 3 (0,2107 mg/L), dan merata di Stasiun 1 (0,1802

mg/L) serta Stasiun 2 (0,1738 mg/L). Mengingat ketiadaan aliran buangan air permukaan secara langsung di Stasiun 3, tingginya beban fosfat di titik ini sangat dipengaruhi oleh hidrodinamika pesisir. Residu pupuk fosfor dari sistem irigasi yang bermuara di Sungai Bang (Stasiun 1) terbawa oleh pola arus susur pantai (*longshore current*). Fosfat memiliki karakteristik kimiawi yang mudah terikat pada partikel sedimen tersuspensi, sehingga senyawanya cenderung terakumulasi dan mengendap di Stasiun 3 seiring dengan pergerakan arus (Millero, 2013). Selain itu, rembesan air tanah bawah permukaan (*submarine groundwater discharge*) dari hamparan persawahan di sekitar Stasiun 3 juga berpotensi memberikan suplai fosfat tambahan ke perairan tersebut (Moore, 2010).

Pola pencemaran di Pantai Tamban Indah memiliki kemiripan yang sangat identik dengan ekosistem perairan tertekan pada kawasan Delta Muara Sungai Rambang. Ghazali et al. (2025) melaporkan bahwa aktivitas antropogenik dan buangan limbah di kawasan tersebut memicu lonjakan parameter nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada rentang 1,58–2,26 ppm dan fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) pada rentang 0,15–0,18 ppm. Angka tersebut membuktikan bahwa tingkat eutrofikasi di Pantai Tamban Indah (Nitrat: 2,127–2,570 mg/L; Fosfat: 0,1738–0,2107 mg/L) sama parahnya, bahkan cenderung lebih tinggi dibandingkan ekosistem delta di wilayah lain.

Kondisi eutrofikasi akut ini menghasilkan seleksi alam yang sangat keras dan mengubah struktur komunitas makroalga secara fundamental. Di Stasiun 1 Pantai Tamban Indah, kombinasi antara menurunnya salinitas (TDS) akibat air tawar dan meroketnya kadar nitrat bertindak sebagai cekaman ekologis ganda (*ecological stressors*). Kondisi ini secara biologis memicu ledakan populasi (*blooming*) spesies makroalga oportunistik *Cladophora coelothrix*. Fenomena ini

sangat identik dengan respons biologis pada perairan eutrofik Delta Rambang, di mana tingginya nitrogen dan fosfat memicu monopoli ruang mutlak oleh alga hijau oportunistik sejenis, yaitu *Ulva intestinalis* dan *Cladophora* sp.. Hal ini menjelaskan penyebab rendahnya keanekaragaman dan tingginya dominansi di area muara. Sebaliknya, meskipun Stasiun 2 dan 3 di Pantai Tamban Indah turut menerima paparan nitrat dan fosfat yang melampaui baku mutu, parameter TDS (salinitas) yang jauh lebih tinggi dan stabil memungkinkan regulasi osmotik sel berjalan normal. Kondisi TDS yang terjaga ini memfasilitasi spesies pembentuk kanopi bertalus besar (seperti *Sargassum* dan *Turbinaria*) untuk terus bertahan hidup, berkompetisi, dan mencegah makroalga oportunistik untuk memonopoli luasan ekosistem.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran parameter lingkungan di Pantai Tamban Indah

Parameter	Satuan	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Baku Mutu*
pH	-	8,00	7,93	7,98	7,0-8,5
DO	mg/L	7,08	7,44	7,19	>5
TDS	mg/L	35.380	38.320	39.080	-**
Nitrat	mg/L	2,570	2,127	2,158	0,05
Fosfat	mg/L	0,1802	0,1738	0,2107	0,015

4.3.2 Analisis Korelasi Parameter Lingkungan terhadap Struktur Komunitas Makroalga

Hasil ekstraksi PCA menunjukkan bahwa total keragaman data secara mutlak (100%) dapat dijelaskan hanya melalui dua sumbu komponen utama, yakni PC1 (*Principal Component 1*) dan PC2 (*Principal Component 2*). Komponen utama

pertama (PC1) memegang peran paling dominan dengan menjelaskan 80,882% dari total variansi data, disusul oleh sumbu komponen kedua (PC2) yang menjelaskan sisa variansi sebesar 19,118%. Nilai *eigenvalue* PC1 yang sangat tinggi (7,27) menegaskan bahwa sumbu ini merupakan determinan utama yang mengontrol dinamika ekosistem di lokasi penelitian. Tingkat representasi variansi kumulatif yang mencapai 100% ini membuktikan bahwa reduksi dimensi data berjalan sangat sempurna, sehingga visualisasi *biplot* yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi ekologis di alam tanpa ada satu pun informasi variabel yang terbuang (Jolliffe, 2002).

Tabel 4.4 Ringkasan nilai *eigenvalue* dan kontribusi variansi seluruh *Principal Components* (PC)

	PC <i>Eigenvalue</i>	% <i>Variance</i>
1	7.27938	80.882
2	1.72062	19.118

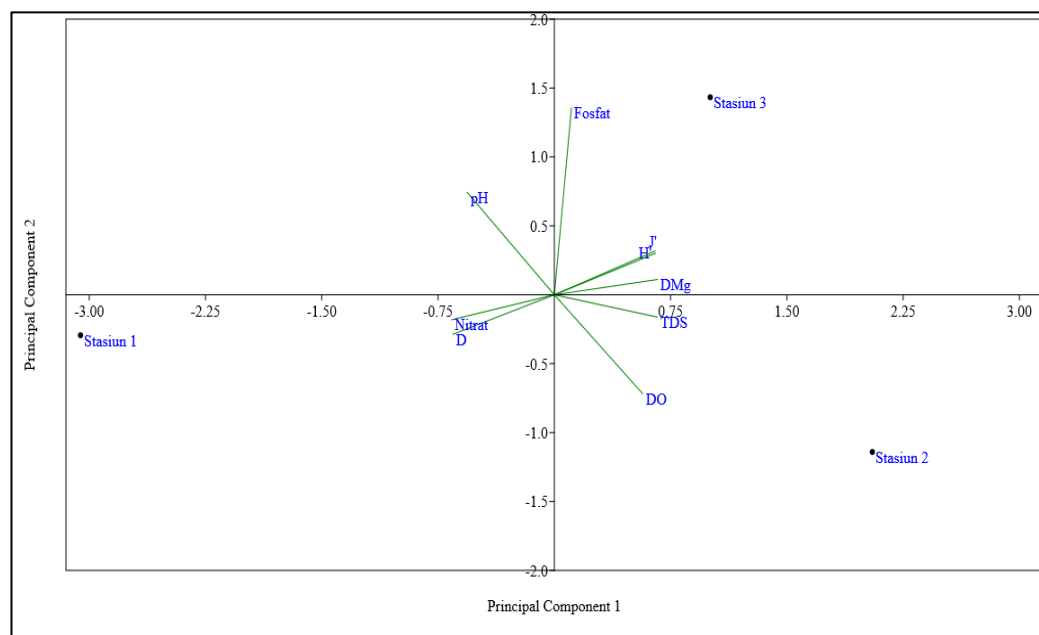
Interpretasi interaksi keruangan antara stasiun pengamatan dengan parameter lingkungan dan indeks ekologis divisualisasikan melalui grafik *biplot* PCA pada Gambar 4.11. Arah vektor yang saling berhimpitan atau membentuk sudut lancip mengindikasikan adanya korelasi positif yang kuat, sementara vektor yang saling bertolak belakang (membentuk sudut $\sim 180^\circ$) menandakan korelasi linier negatif. Kedekatan titik koordinat stasiun terhadap garis vektor tertentu menunjukkan bahwa stasiun tersebut sangat dicirikan oleh variabel yang bersangkutan. Perlu digarisbawahi bahwa peletakan titik stasiun maupun garis vektor pada kuadran bernilai positif ataupun negatif tidak merepresentasikan kualitas ekologis yang "baik" atau "buruk". Tanda plus dan minus pada sumbu komponen utama tersebut semata-mata merupakan koordinat spasial matematika

yang berfungsi murni sebagai penunjuk arah vektor untuk memisahkan dan mengelompokkan (*clustering*) karakteristik keragaman antardata.

Grafik *biplot* PCA mendemonstrasikan adanya pemisahan (*clustering*) yang sangat tegas antara area muara (Stasiun 1) dengan area pesisir (Stasiun 2 dan 3) di sepanjang sumbu horizontal PC1. Stasiun 2 dan Stasiun 3 ditarik kuat ke arah kuadran positif PC1. Pada area positif ini, terbentuk pengelompokan vektor parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) yang searah dan berhimpitan erat dengan vektor Indeks Kekayaan DMg, Keanekaragaman H', dan Kemerataan J'. Ini membuktikan bahwa stabilitas salinitas (yang direpresentasikan oleh tingginya TDS) merupakan penyokong abiotik paling utama yang menjamin tingginya keanekaragaman dan keseimbangan proporsi makroalga di Stasiun 2 dan 3.

Sebaliknya, Stasiun 1 terisolasi secara ekstrem di ujung kuadran negatif PC1. Posisi Stasiun 1 ini ditarik oleh vektor parameter Nitrat yang posisinya berhimpitan sempurna dan searah dengan vektor Indeks Dominansi D. Interaksi vektor ini menjadi bukti empiris yang mengunci argumen bahwa lonjakan kadar nitrat dari aliran Sungai Bang bertindak secara mutlak sebagai pemicu (katalisator) tingginya angka dominansi di area muara. Tingginya nitrat menekan keanekaragaman spesies lain, dan secara eksklusif hanya memberikan ruang bagi meledaknya makroalga oportunistik *Cladophora coelothrix*. Validasi statistik ini mengonfirmasi pola eutrofikasi pesisir yang dilaporkan oleh Ghazali et al. (2025), di mana beban senyawa nitrogen dari aktivitas antropogenik secara linier berkorelasi dengan dominansi spesies makroalga yang paling toleran dan degradasi struktur komunitas di kawasan muara sungai.

Sementara itu, sumbu vertikal PC2 (19,118%) berfungsi spesifik dalam memisahkan karakteristik Stasiun 3 dari Stasiun 2. Stasiun 3 secara mencolok tertarik ke arah atas (kuadran positif PC2), yang dikontrol secara tunggal oleh tarikan vektor parameter Fosfat dengan nilai *loading* sangat tinggi. Arah vektor fosfat yang tegak lurus dan terpisah dari kelompok vektor nitrat ini menjelaskan fenomena hidrologis pesisir yang spesifik. Meskipun nitrat bersumber dari muara (Stasiun 1), tingginya residu fosfat secara spasial mengendap dan terakumulasi di Stasiun 3. Fakta statistik ini memvalidasi argumen oseanografis sebelumnya, di mana fosfat yang bersifat reaktif terhadap partikel sedimen terbawa oleh dinamika arus pesisir dan rembesan air tanah (*submarine groundwater discharge*) dari hamparan persawahan di sekitarnya, sehingga menumpuk secara spesifik di koordinat Stasiun 3.



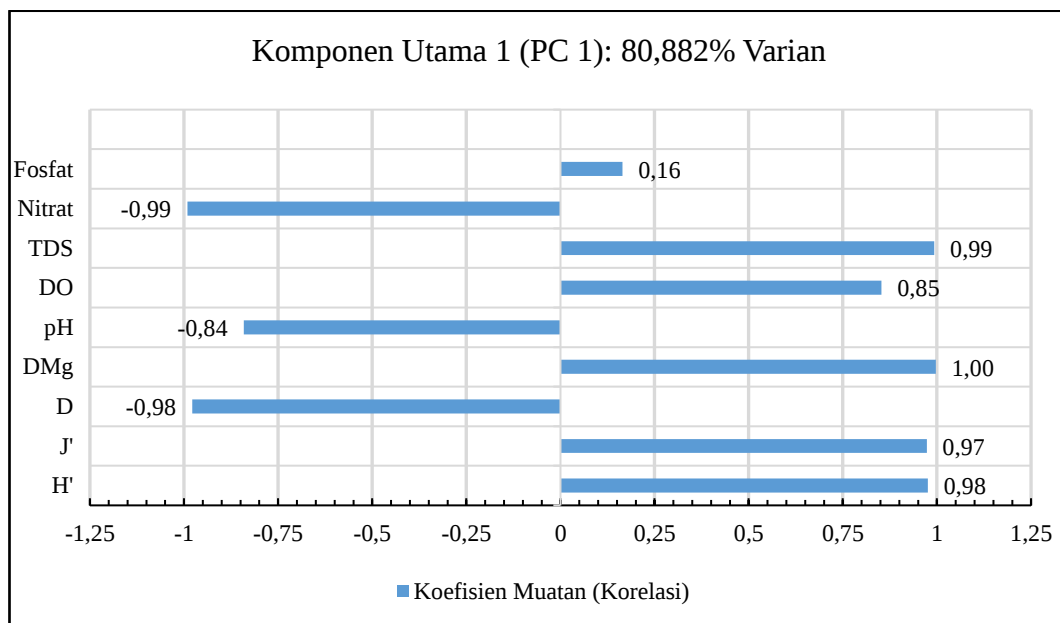
Gambar 4.11 Biplot analisis komponen utama: hubungan indeks ekologis makroalga dengan parameter lingkungan di Pantai Tamban Indah.

Sumbu PC1 yang secara rinci diterangkan dalam Gambar 4.12 menanggung porsi terbesar dari keragaman data (80,88%). Sumbu PC1 dalam hal ini berperan

sebagai representasi dari gradien kualitas ekosistem pesisir. Grafik *loadings* pada PC1 membelah variabel ke dalam dua kutub dengan kontras (positif dan negatif), yang secara ekologis merepresentasikan persaingan antara parameter penyokong keanekaragaman dan parameter pemicu eutrofikasi.

Pada kutub positif PC1, parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) memberikan kontribusi bobot yang nyaris sempurna (0,99). Tingginya bobot TDS ini diikuti secara linier oleh parameter penyokong stabilitas lainnya, yaitu Oksigen Terlarut/DO (0,85). Stabilitas fisikokimia inilah yang menjadi fondasi bagi kokohnya struktur komunitas makroalga, terbukti dari nilai *loading* indeks ekologis yang ikut meroket tinggi di kutub positif yang sama, yaitu Indeks Kekayaan DMg (1), Indeks Keanekaragaman H' (0,98), dan Indeks Kemerataan J' (0,97). Konfigurasi grafik ini mengonfirmasi bahwa ekosistem dengan salinitas yang stabil dan DO yang memadai merupakan prasyarat mutlak bagi terciptanya komunitas makroalga yang beragam dan merata.

Sebaliknya, pada kutub negatif PC1, parameter Nitrat muncul sebagai faktor penekan ekologis (*ecological stressor*) yang paling dominan dengan bobot ekstrem (-0,99). Lonjakan kontribusi nitrat ini berbanding lurus dengan tingginya bobot Indeks Dominansi D (-0,98) dan tarikan derajat keasaman/pH (-0,84). Keberadaan Nitrat dan Indeks Dominansi (D) di kutub negatif yang berlawanan arah secara diametral dengan kutub Keanekaragaman (H') dan TDS ini menjadi bukti visual matematis yang tidak terbantahkan: gempuran limbah nitrat dari muara sungai secara langsung menghancurkan keseimbangan ekosistem dan memicu monopoli ruang oleh satu spesies oportunistik.

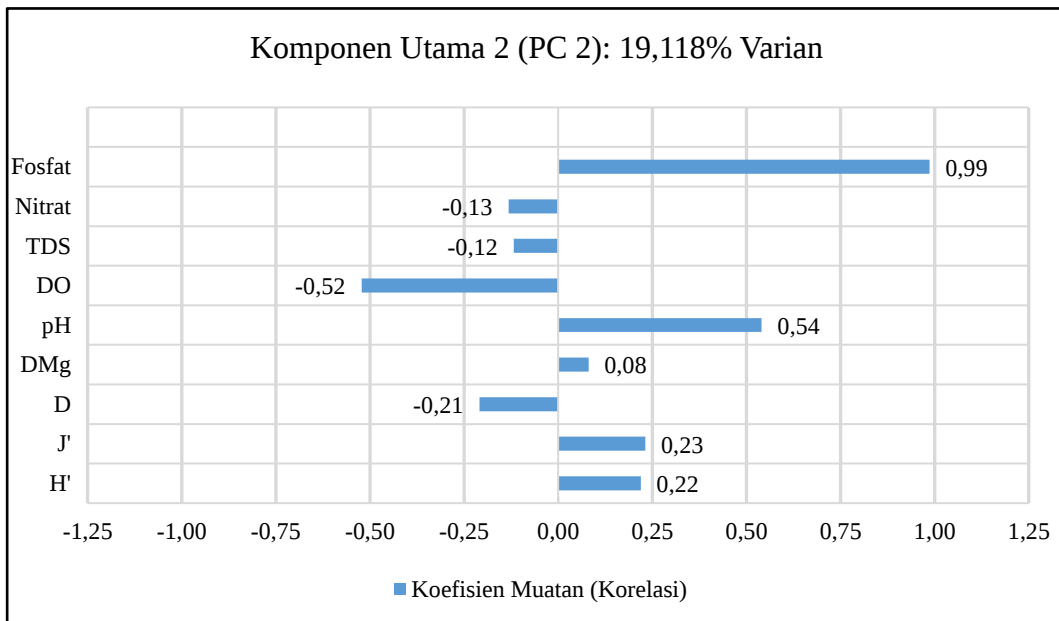


Gambar 4.12 Bobot kontribusi (*Loading Factors*) variabel terhadap *Principal Component 1* (PC 1)

Data bobot kontribusi yang tertera pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa PC2 didominasi oleh variabel kimiawi dengan koefisien positif yang sangat kuat pada variabel kadar nitrat (0,95) dan pH (0,89). Di sisi lain, parameter kadar fosfat (-0,64) memberikan kontribusi negatif yang signifikan pada sumbu PC2. Secara keseluruhan, sumbu PC2 cenderung menjelaskan terkait dinamika parameter kimiawi mengingat pada sumbu ini, variabel-variabel ekologis cenderung menunjukkan nilai koefisien kontribusi yang rendah.

Tingginya koefisien kadar nitrat dan pH yang searah pada area positif PC2 menunjukkan adanya hubungan korelasi yang erat antara ketersediaan nitrogen (nitrat) dengan tingkat keasaman perairan. Secara ekologis, fenomena ini mengindikasikan bahwa fluktuasi nitrat di lokasi penelitian selaras dengan perubahan nilai pH. Hal ini sesuai dengan menurut Oktaviani et al. (2015) yang menyatakan bahwa air sungai yang membawa nitrogen (amonia) akan bertemu dengan air laut sehingga menyebabkan *carbonate buffering* yang menjaga pH air

tetap tinggi (basa). Tingkat keasaman tersebut akan mengaktifkan agen nitrifikasi untuk mengkonversi amonia menjadi nitrat sehingga kadar nitrat di perairan akan meningkat. Proses tersebut menjelaskan mengapa pH berkorelasi positif dengan kadar nitrat.



Gambar 4.13 Bobot kontribusi (*Loading Factors*) variabel terhadap *Principal Component 2* (PC 2)

4.4 Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur komunitas makroalga di Pantai Tamban Indah dipengaruhi oleh parameter lingkungannya. Ekosistem pesisir yang lebih stabil seperti pada Stasiun 2 dan 3 didukung oleh kadar TDS yang optimal dan menghasilkan tingkat keanekaragaman yang lebih tinggi. Sebaliknya, tekanan lingkungan berupa rendahnya TDS, tingginya kadar fosfat, serta tingginya kadar nitrat seperti yang terjadi pada Stasiun 1 menciptakan dominansi dari spesies oportunistik *Cladophora coelothrix* dan menurunkan tingkat keanekaragaman. Fakta ekologis yang telah dipaparkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa Allah SWT telah menetapkan segala sesuatu yang ada di alam semesta dengan

sistem keseimbangan, presisi, dan penuh dengan ketelitian. Dalam hal ini, setiap perubahan pada komponen abiotik (parameter lingkungan) akan direspon oleh komponen biotik (struktur komunitas makroalga) melalui mekanisme adaptasi. Keteraturan dan ketetapan dalam penciptaan ini sebagaimana telah dijelaskan oleh firman Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah Al-Furqan ayat 2:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ﴿٢﴾

Artinya: “yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan (Nya), dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya.” [QS. Al-Furqan (25): 2]

Berdasarkan Zubdatut Tafsir Min Fathil Qadir dalam TafsirWeb (t.t.-b), frasa *qadarahu taqdira* bermakna bahwa Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu dengan ukuran, sistem, dan keseimbangan dengan penuh kepresisian agar dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Dalam konteks penelitian ini, parameter pH, DO, TDS, kadar fosfat, dan kadar nitrat adalah “ukuran” yang telah ditetapkan sebagaimana yang dimaksud dalam ayat tersebut. Ketika fosfat dan nitrat mengalami lonjakan, ekosistem akan merespon dengan mekanisme alami berupa dominansi spesies *Cladophora coelothrix* sebagai bentuk ketetapan dan regulasi ekosistem yang dirancang oleh Allah untuk menyerap lonjakan nutrisi berlebih tersebut.

Penelitian ini telah memaparkan bahwa berdasarkan nilai Keanekaragaman (H') dan Kemerataan (J'), Stasiun 2 dan 3 memiliki komunitas makroalga yang lebih optimal dibandingkan Stasiun 1 yang memiliki angka dominansi tinggi (D). Hal ini menjadi pedoman ilmiah bagi manusia untuk menentukan zona ekonomi yang aman

untuk dimanfaatkan secara berkelanjutan, baik untuk riset maupun sumber daya, yaitu pada stasiun 2 dan 3. Sebaliknya, data dominansi (D) yang tinggi dan pemerataan (J') rendah di Stasiun 1 mengedukasi masyarakat mengenai dampak dari tekanan lingkungan yang berasal dari ulah manusia itu sendiri. Oleh karena itu, indeks ekologis ini bermanfaat sebagai instrumen mitigasi bagi masyarakat untuk mencegah terjadinya eksploitasi sumber daya secara berlebihan dan memanifestasikan fungsi sains untuk kesejahteraan manusia. Kesadaran manusia dalam memetakan dan mengelola potensi sumber daya alam secara terukur ini pada hakikatnya merupakan bentuk tanggung jawab dan rasa syukur, mengingat peruntukan alam bagi kesejahteraan manusia telah ditegaskan oleh Allah SWT dalam Surah Luqman ayat 20:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعَمَهُ ظَهْرَهُ
وَبَاطِنَهُ وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُّنِيرٍ ﴿٢٠﴾

Artinya: “Tidakkah kamu perhatikan sesungguhnya Allah telah menundukkan untuk (kepentingan)mu apa yang di langit dan apa yang di bumi dan menyempurnakan untukmu nikmat-Nya lahir dan batin. Dan di antara manusia ada yang membantah tentang (keesaan) Allah tanpa ilmu pengetahuan atau petunjuk dan tanpa Kitab yang memberi penerangan.”
[QS. Luqman (31): 20]

Menurut Tafsir Al-Muyassar dalam TafsirWeb (t.t.-c), ayat di atas menyiratkan bahwa berbagai kekayaan hayati yang terhampar di bumi merupakan bentuk nikmat Allah SWT yang telah ditundukkan untuk kesejahteraan manusia, termasuk makroalga yang telah dipaparkan dalam penelitian ini. Di hadapan kekayaan alam yang telah Allah siapkan untuk manusia di muka bumi, Allah juga mengaruniai manusia dengan akal untuk menyingkap manfaat tersembunyi dan kemampuan mengelola kekayaan alam yang telah diberikan Allah SWT. Dengan

demikian, penelitian ini merupakan manifestasi dari upaya manusia untuk mengungkap potensi karunia Allah berupa data inventarisasi makroalga yang kelak dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia.

Selain untuk kesejahteraan manusia, hasil penelitian ini memiliki manfaat bagi ekosistem itu sendiri. Temuan tingginya nilai Kemerataan (J') makroalga di Stasiun 2 dan 3 merepresentasikan kondisi ekosistem pesisir yang masih mempertahankan tatanan alamnya yang seimbang. Sebaliknya, lonjakan Indeks Dominansi (D) di Stasiun 1 merupakan indikator biologis yang merekam adanya degradasi atau tekanan lingkungan akibat masuknya polutan. Upaya deteksi melalui indeks ekologis ini bertujuan sebagai peringatan kepada manusia untuk mencegah terjadinya kerusakan ekosistem yang lebih masif dan tidak dapat dipulihkan (*irreversible*). Hal ini sejalan dengan perintah tegas Allah SWT dalam Surah Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.” [QS. Al-A'raf (7): 56]

Berdasarkan Zubdatut Tafsir Min Fathil Qadir dalam TafsirWeb (t.t.-a), kalimat “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi” menggambarkan larangan yang diberikan oleh Allah SWT untuk berbuat maksiat, membunuh manusia, menghancurkan rumah-rumah, membunuh hewan-hewan, menebang pohon-pohon, dan mengeringkan sungai-sungai. Tafsir tersebut secara spesifik melarang manusia untuk merusak keseimbangan alam. Penelitian ini dilaksanakan

berdasarkan semangat pelestarian alam yang telah tertuang dalam ayat di atas. Indikasi adanya tekanan ekologis di Stasiun 1 yang ditandai dengan tingginya dominansi *Cladophora coelothrix* akibat fluktuasi nitrat dan fosfat dari muara sungai merupakan suatu peringatan alami. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat menjadi bukti empiris untuk menguatkan urgensi dilakukannya upaya konservasi ekosistem guna mencegah kerusakan lebih lanjut dan menjaga keseimbangan ekosistem sejalan dengan perintah Allah dalam Surah Al-A'raf ayat 56.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi jenis makroalga di zona intertidal Pantai Tamban Indah terdiri atas 10 spesies yang tergolong ke dalam kelas Chlorophyceae (*Ulva lactuca*, *Cladophora coelothrix*, *Boergesenia forbesii*, *Halimeda opuntia*), kelas Rhodophyceae (*Palmaria palmata*, *Acanthophora dendroides*, *Sarconema filiforme*), dan kelas Phaeophyceae dari filum Ochrophyta (*Sargassum aquifolium*, *Turbinaria ornata*, *Padina australis*). Secara umum, karakteristik morfologi makroalga tersebut bervariasi dan hidup melekat pada tipe substrat berbatu dan pasir.
2. Struktur komunitas makroalga di Stasiun 1 terindikasi mengalami tekanan lingkungan yang berat, ditandai dengan nilai Indeks Keanekaragaman yang tergolong rendah ($H' = 0,57$) dan Indeks Dominansi yang sangat tinggi ($D = 0,69$). Berbanding terbalik dengan kondisi tersebut, Stasiun 2 dan Stasiun 3 merepresentasikan ekosistem pesisir yang stabil dan seimbang, yang dibuktikan dengan nilai keanekaragaman kategori sedang ($H' = 2,21$ dan $2,26$), tingkat pemerataan spesies yang sangat tinggi ($J' = 0,96$ dan $0,98$), serta ketiadaan spesies yang memonopoli area ($D = 0,11$ dan $0,12$).
3. Perairan Pantai Tamban Indah mengalami tekanan eutrofikasi akibat paparan residu nitrat dan fosfat yang secara ekstrem melampaui standar baku mutu. Berdasarkan analisis *Principal Component Analysis* (PCA), tingginya paparan pencemaran Nitrat ($2,570 \text{ mg/L}$) berkorelasi negatif terhadap keanekaragaman dan bertindak sebagai penekan ekologis yang memicu tingginya dominansi

Cladophora coelothrix di Stasiun 1. Sementara itu, parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) berkorelasi linier positif sebagai penyokong utama tingginya keanekaragaman dan pemerataan di Stasiun 2 dan 3, meskipun Stasiun 3 secara spesifik turut menerima beban akumulasi Fosfat (0,2107 mg/L) akibat dinamika arus pesisir dan rembesan air tanah (*submarine groundwater discharge*).

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat dan Pengelola Kawasan

Hasil analisis indeks ekologis penelitian ini disarankan untuk digunakan sebagai acuan dasar dalam pengelolaan kawasan Pantai Tamban Indah. Terkait adanya indikasi penurunan kualitas lingkungan akibat nutrien (kadar nitrat dan fosfat) yang melampaui standar baku mutu di semua lokasi stasiun, disarankan kepada pihak terkait untuk melakukan upaya mitigasi berupa pengawasan dan pengendalian pembuangan limbah dari arah daratan. Selanjutnya, perairan di Stasiun 2 dan Stasiun 3 yang terbukti memiliki ekosistem makroalga lebih stabil dibandingkan dengan Stasiun 1 disarankan untuk dipertahankan fungsinya sebagai zona konservasi maupun area pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

Bagi penelitian selanjutnya yang akan mengkaji topik serupa, disarankan untuk melakukan penambahan pengukuran parameter lingkungan fisik dan kimia, seperti tipe substrat, laju sedimentasi, tingkat kecerahan, dan kecepatan arus laut guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai faktor pembatas pertumbuhan makroalga. Selain itu, disarankan untuk memperpanjang interval waktu pengulangan pengambilan sampel di lapangan agar data yang diperoleh

dapat lebih merepresentasikan dinamika suksesi dan fluktuasi struktur komunitas makroalga.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Yamani, F. Y., Polikarpov, I., Al-Ghunaim, A., & Mikhaylova, T. (2014). Field guide of marine macroalgae (Chlorophyta, Rhodophyta, Phaeophyceae) of Kuwait. *Kuwait Institute for Scientific Research (Publisher)*.
- Amrie, S. (2021). *Kajian Pengendalian Banjir Akibat Perubahan Tata Guna Lahan di Muara Sungai Bang Kabupaten Malang* [Thesis, Universitas Brawijaya]. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/201681/3/SYAIFUL%20AMRIE.pdf>
- Analdi, A. F., Dewi, A. P. W. K., & Wijayanti, N. P. P. (2025). Keanekaragaman Makroalga di Perairan Pantai Geger, Bali. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 19(1), 24-32.
- Andawayanti, U. (2013). *Pengembangan Koefisien Limpasan Permukaan Guna Memprediksi Pola Penyebaran Sedimen Ke Muara Sungai (Studi Kasus Sungai Bang Kabupaten Malang)* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- An-Nawawi, Y. S. (2012). *Syarah Shahih Muslim* (W. P. Mustaqim, Penerjemah). Jakarta: Darus Sunnah.
- Arianti, A., Pazila, B. D. A. P., Ramdhiani, A., Kurniawan, A., Kholidah, B. M., Royani, B. N., ... & Ghazali, M. (2024). Diversity of macroalgae in Sire Beach, North Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2b), 315-326.
- Awaluddin, K. (2013). *Pengaruh Derajat Keasaman (Ph) Air Laut yang Berbeda Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan Halimeda sp* (Doctoral dissertation, University of Hasanuddin).
- Aziz, L., & Chasani, A. R. (2020). Perbandingan Struktur Dan Komposisi Makroalga Di Pantai Drini Dan Pantai Krakal. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 13(2), 75-86.
- Bakti, N. S., Rukminasari, N., Yaqin, K., Nane, L., & Yusuf, M. Y. (2022). Density of caelcareous macroalgae Halimeda sp. and Padina sp. around the water of Kodingareng Lompo Island, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Tomini Journal of Aquatic Science*, 3(2), 85-90.
- Board of Botanic Gardens and State Herbarium. (2025). *Sargassaceae*. FloraSA. Adelaide: Government of South Australia. Diakses pada 1 April 2026, dari <https://flora.sa.gov.au/taxon/885-sargassaceae>
- Bowles, A. M., Williamson, C. J., Williams, T. A., Lenton, T. M., & Donoghue, P. C. (2023). The origin and early evolution of plants. *Trends in Plant Science*, 28(3), 312-329.
- Castro, P. & Huber, M. 2024. *Marine Biology Twelfth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Cremen, M. C. M., Huisman, J. M., Marcelino, V. R., & Verbruggen, H. (2016). Taxonomic revision of Halimeda (Bryopsidales, Chlorophyta) in south-western Australia. *Australian Systematic Botany*, 29(1), 41-54.

- D'Archino, R., & Piazzzi, L. (2021). Macroalgal assemblages as indicators of the ecological status of marine coastal systems: A review. *Ecological indicators*, 129, 107835.
- De Clerck, O., Leliaert, F., Verbruggen, H., Lane, C. E., De Paula, J. C., Payo, D. A., & Coppejans, E. (2006). A revised classification of the dictyoteae (dictyotales, phaeophyceae) based on rbcL and 26S ribosomal dna sequence analyses 1. *Journal of phycology*, 42(6), 1271-1288.
- El-Manawy, I. M., & Shafik, M. A. (2008). Morphological characterization of Halimeda (Lamouroux) from different biotopes on the Red Sea coral reefs of Egypt. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3, 532-538.
- Fachrul, M. F. (2007). *Metode Sampling Bioekologi*. Bumi Aksara.
- Ganesan, M., Meena, R., Siddhanta, A. K., Selvaraj, K., & Chithra, K. (2015). Culture of the red alga *Sarconema filiforme* in open waters and hybrid carrageenan from the cultivated seaweeds. *Journal of applied phycology*, 27(4), 1549-1559.
- Garcia-Soto, G., & Lopez-Bautista, J. (2019). *Acanthophora dendroides* Harvey (Rhodomelaceae), a new record for the Atlantic and Pacific oceans. *Check List*, 15(3), 509-514.
- Geraldino, P. J. L., Liao, L. M., & Boo, S. M. (2005). Morphological study of the marine algal genus *Padina* (Dictyotales, Phaeophyceae) from southern Philippines: 3 species new to Philippines. *Algae*, 20(2), 99-112.
- Gestinari, L. M. D., Pereira, S. B., & Yoneshigue-Valentin, Y. (2010). Distribution of *Cladophora* species (Cladophorales, Chlorophyta) along the Brazilian coast. *Phytotaxa*, 14, 22-42.
- Ghazali, M., Artiningrum, N. T., Setyaningrum, T. W., Nurhayati, N., & Murdiah, M. (2025). Diversity and Composition of Macroalgae in the Rambang Delta, East Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(4b), 429-437.
- Guiry, M. D. (1974). A preliminary consideration of the taxonomic position of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Stackhouse= *Rhodymenia palmata* (Linnaeus) Greville. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 54(3), 509-528.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2018. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; diakses pada 10 April 2026.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2022. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; diakses pada 10 April 2026.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; diakses pada 10 April 2026.

- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2024. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; diakses pada 10 April 2026.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2026. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; diakses pada 10 April 2026.
- Handayani, S., Widhiono, I. M. A. M., & Widyartini, D. S. (2023). Macroalgae diversity and its relationship with environmental conditions in polluted waters of Seribu Islands, Jakarta Bay, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(11), 6279-6286.
- Handayani, T. (2018). Mengenal Makroalga Turbinaria dan Pemanfaatannya. *Oseana*, 43(4).
- Hernández-Casas, C. M., Pineda-Mendoza, R. M., Mendoza-González, Á. C., Zúñiga, G., & Mateo-Cid, L. E. (2025). Morphology and Reproduction of *Acanthophora spicifera* (Ceramiales: Rhodophyta). *Phycology*, 5(3), 45.
- Ira, I., Rahmadani, R., & Irawati, N. 2018. Komposisi Jenis Makroalga di Perairan Pulau Hari Sulawesi Tenggara (Spesies Composition of Makroalga in Hari Island, South East Sulawesi). *Jurnal Biologi Tropis*, 18(2), 141-148.
- Jha, B., Reddy, C. R. K., Thakur, M. C., & Rao, M. U. 2009. *Seaweeds of India: The Diversity and Distribution of Seaweeds of Gujarat Coast* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis, Second Edition*. New York: Springer New York.
- Kazbar, A., Cogne, G., Urbain, B., Marec, H., Le-Gouic, B., Tallec, J., ... & Pruvost, J. (2019). Effect of dissolved oxygen concentration on microalgal culture in photobioreactors. *Algal Research*, 39, 101432.
- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., Pipinis, E., & Radoglou, K. (2024). Using biodiversity indices effectively: considerations for forest management. *Ecologies*, 5(1), 42-51.
- Lee, R. E. (2008). *Phycology: Fourth Edition*. Cambridge University Press.
- Leliaert, F., De Clerck, O., Verbruggen, H., Boedeker, C., & Coppejans, E. (2007). Molecular phylogeny of the Siphonocladales (Chlorophyta: Cladophorophyceae). *Molecular phylogenetics and evolution*, 44(3), 1237-1256.
- Lucini, F. A., Morone, F., Tomassone, M. S., & Makse, H. A. (2020). Diversity increases the stability of ecosystems. *PloS one*, 15(4), e0228692.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Manly, B. F., & Alberto, J. A. N. (2015). *Introduction to ecological sampling*. CRC Press.

- Michalak, I., & Messyas, B. (2020). Concise review of *Cladophora* spp.: macroalgae of commercial interest. *Journal of Applied phycology*, 33(1), 133-166.
- Millero, F. J. (2013). *Chemical oceanography* (Vol. 30). CRC press.
- Moore, W. S. (2010). *The Effect of Submarine Groundwater Discharge on the Ocean*. Annual Review of Marine Science, 2, 59-88.
- Nguyen, L. M., Akita, S., Van Cao, L., Nguyen, A. T. M., Van Pham, Q., Vu, H. M., ... & Vieira, C. (2024). Concise review of the brown algal genus *Padina* (Dictyotaceae): knowledge in biodiversity, biogeography, potential and scope future research for Vietnam. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 24(4), 399-418.
- Oktaviani, A., Yusuf, M., & Maslukah, L. (2015). Sebaran Konsentrasi Nitrat dan Fosfat di Perairan Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang. *Journal of Oceanography*, 4(1), 85-92.
- Øverland, M., Mydland, L. T., & Skrede, A. 2019. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), 13-24.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Peng, J., Kumar, K., Gross, M., Kunetz, T., & Wen, Z. (2020). Removal of total dissolved solids from wastewater using a revolving algal biofilm reactor. *Water Environment Research*, 92(5), 766-778.
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1(1), 177-188.
- Perisha, B., Widyartini, D. S., Piranti, A. S., Susanto, A. B., & Anggiani, M. 2022. Peranan Makroalga bagi Ekosistem dan Responnya terhadap Perubahan Iklim. *Oseana*, 47 (1), 29–38.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. 2021. Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12-22.
- Rindi, F., & Cinelli, F. (2000). Phenology and small-scale distribution of some rhodomelacean red algae on a western Mediterranean rocky shore. *European journal of phycology*, 35(2), 115-125.
- Riry, M., Sinay, H., & Karuwal, R. L. (2022). Morphological characterization of brown algae *Turbinaria* sp from the coastal water of Aboru Village Central Maluku. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(2), 449-454.
- Rukminasari, N., Nadiarti, N., & Awaluddin, K. 2014. Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 24(1).

- Santiañez, W. J. E., & Trono, G. C., Jr. (2013). Taxonomy of the genus *Sargassum* (Fucales, Phaeophyceae) from Alabat Island, Quezon, northeastern Philippines. *Science Diliman*, 25(1), 27-50.
- Selim, K. A., Ermilova, E., & Forchhammer, K. (2020). From cyanobacteria to Archaeplastida: new evolutionary insights into PII signalling in the plant kingdom. *New Phytologist*, 227(3), 722-731.
- Shams, M., Afsharzadeh, S., & Balali, G. (2015). Taxonomic study of six *Sargassum* species (Sargassaceae, Fucales) with compressed primary branches in the Persian Gulf and Oman Sea including *S. binderi* Sonder a new record species for algal flora, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 26(1), 7-16.
- Sharmila, V. G., M, D. K., Pugazhendhi, A., Bajhaiya, A. K., Gugulothu, P., & J, R. B. (2021). Biofuel Production from Macroalgae: Present Scenario and Future Scope. *Bioengineered*, 12(2), 9216–9238.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 1*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 4*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 15*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 11*. Jakarta: Lentera Hati.
- Silaban, R., & Kadmaer, E. M. Y. (2019). Pengaruh Paramater Lingkungan Terhadap Kepadatan Makroalga di Pesisir Kei Kecil, Maluku Tenggara. *JURNAL KELAUTAN NASIONAL Упрединели: Agency for Marine and Fisheries Research and Development*, 15(1).
- Sinyo, Y., & Somadayo, N. (2013). Studi Keanekaragaman Jenis Makroalga di Perairan Pantai Pulau Dofamuel Sidangoli Kecamatan Jailolo Selatan Kabupaten Halmahera Barat. *Jurnal Bioedukasi*, 1(2), 120-130.
- TafsirWeb. (t.t.-a). Surat Al-A'raf Ayat 56. TafsirWeb. Diakses pada 5 Juni 2026, dari <https://tafsirweb.com/2539-surat-al-araf-ayat-56.html>
- TafsirWeb. (t.t.-b). Surat Al-Furqan Ayat 2. TafsirWeb. Diakses pada 5 Juni 2026, dari <https://tafsirweb.com/6249-surat-al-furqan-ayat-2.html>
- TafsirWeb. (t.t.-c). Surat Luqman Ayat 20. TafsirWeb. Diakses pada 5 Juni 2026, dari <https://tafsirweb.com/7438-surat-luqman-ayat-20.html>
- Tahiluddin, A. B. (2023). Effects of phosphorus availability on macroalgae: A review. *Journal of Biometry Studies*, 3(1), 22-26.
- Tu, N. V., Trang L. T., & Thao, T. T. P. (2021). Diversity and distribution of the brown macroalgae (Phaeophyceae Kjellman, 1891) in cham islands, Quang Nam province, Vietnam. *Academia Journal of Biology*, 43(3), 37-45.

- Ulfah, S., Agustina, E., & Hidayat, M. (2017). Struktur Komunitas Makroalga Ekosistem Terumbu Karang Perairan Pantai Air Berudangn Kabupaten Aceh Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan* 5(1).
- Umen, J. G. (2014). Green algae and the origins of multicellularity in the plant kingdom. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 6(11), a016170.
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Acanthophora dendroides* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-640214/mich-a-640214>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Boergesenia forbesii* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-678957/mich-a-678957>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Cladophora coelothrix* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-622244/mich-a-622244>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Halimeda opuntia* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-621568/mich-a-621568>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Padina australis* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-636981/mich-a-636981>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Palmaria palmata* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-665593/mich-a-665593>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Sarconema filiforme* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-621272/mich-a-621272>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Turbinaria ornata* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari <https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-630281/mich-a-630281>
- University of Michigan Herbarium. (2016). *Ulva lactuca* [Herbarium specimen]. University of Michigan Library Digital Collections. Diakses pada 26 April 2026, dari https://quod.lib.umich.edu/h/herb00ic/x-724069/mich-a-724069_e

- Utami, I., & Putra, I. L. I. 2020. *Ekologi Kuantitatif: Metode Sampling dan Analisis Data Lapangan*. Penerbit K-Media.
- Vironita, F., Rispiningtati, R., & Marsudi, S. (2010). Analisis Stabilitas Penyumbatan Muara Sungai Akibat Fenomena Gelombang, Pasang Surut, Aliran Sungai dan Pola Pergerakan Sedimen pada Muara Sungai Bang, Kabupaten Malang. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 1(2).
- Yaakob, M. A., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A., Aswathnarayana Gokare, R., & Ambati, R. R. (2021). Influence of nitrogen and phosphorus on microalgal growth, biomass, lipid, and fatty acid production: an overview. *Cells*, 10(2), 393.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji t-diversity pada aplikasi Past4

Diversity t tests			
Shannon index			
Stasiun 1		Stasiun 2	
H _s	0,56734	H _s	2,2109
Variance:	0,0081041	Variance:	0,0013113
t	-16,939		
df:	109,01		
p(same):	2,6276E-32		
Simpson index			
D _s	0,69036	D _s	0,11684
Variance:	0,0035364	Variance:	4,8586E-05
t	9,5787		
df:	84,259		
p(same):	3,9499E-15		
Close Copy Print Help			

Stasiun 1 terhadap Stasiun 2

Diversity t tests			
Shannon index			
Stasiun 1		Stasiun 3	
H _s	0,56734	H _s	2,2586
Variance:	0,0081041	Variance:	0,00041925
t	-18,319		
df:	90,618		
p(same):	3,2132E-32		
Simpson index			
D _s	0,69036	D _s	0,10825
Variance:	0,0035364	Variance:	1,5545E-05
t	9,7672		
df:	82,722		
p(same):	1,9774E-15		
Close Copy Print Help			

Stasiun 1 terhadap Stasiun 3

Diversity t tests			
Shannon index			
Stasiun 2		Stasiun 3	
H _s	2,2109	H _s	2,2586
Variance:	0,0013113	Variance:	0,00041925
t	-1,1451		
df:	229,72		
p(same):	0,25336		
Simpson index			
D _s	0,11684	D _s	0,10825
Variance:	4,8586E-05	Variance:	1,5545E-05
t	1,0717		
df:	229,78		
p(same):	0,28496		
Close Copy Print Help			

Stasiun 2 terhadap Stasiun 3

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



Pengambilan data sebaran makroalga & pencatatan data



Penarikan transek



Pengambilan foto spesimen



Pengambilan sampel air

Lampiran 3. Surat Izin Penelitian



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
 Jalan Gajayana 50 Malang 65144 Telepon/Faksimile (0341) 558933
 Website: <http://saintek.uin-malang.ac.id>, email: saintek@uin-malang.ac.id

Nomor : B-16.O/FST.01/TL.00/01/2025
 Lampiran : -
 Hal : Permohonan Penelitian

Yth. Pimpinan Gunung Pithing Mangrove Conservation
 Dusun Tamban, Desa Tambakrejo, Kec. Sumbermanjing Wetan, Kabupaten
 Malang, Jawa Timur 65176

Dengan hormat,
 Sehubungan dengan penelitian mahasiswa Jurusan Biologi Fakultas Sains
 dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang atas nama:

Nama : Maulana Rizki Akbar
 NIM : 210602110042
 Judul : Keanekaragaman Makroalga di Pantai Tamban Indah
 Penelitian : Kabupaten Malang
 Dosen :
 Pembimbing : Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.

Maka kami mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan izin pada mahasiswa
 tersebut untuk melakukan penelitian di Gunung Pithing Mangrove
 Conservation dengan waktu pelaksanaan pada tanggal 02 Februari 2025
 sampai dengan 05 Maret 2025.

Demikian permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan
 terimakasih.

Malang, 31 Januari 2025
 a.n Dekan

Scan QRCode ini



untuk verifikasi surat



Wakil Dekan Bidang Akademik,

Dr. Anton Prasetyo, M.Si
 NIP. 19770925 200604 1 003

Lampiran 4. Hasil Uji Parameter Lingkungan



LABORATORIUM LINGKUNGAN
 Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
 Desa Lengkong Kec. Mojoanyar - Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
 Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
 E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 37795 S/LL MLG/VIII/2025

Lokasi Pengambilan Contoh Uji : Stasiun 1
Sampling Location
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT 1
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 07 - 22 Agustus 2025
Testing Date(s)

Halaman 2 dari 2
 Page 2 of 2

HASIL ANALISA
Result of Analysis



No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	8.00	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Salinitas	‰	146.0	-	Q/LKA/05 (Konduktometri)	Analisa di Lab
3	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	7.08	-	SM APHA 23 rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.1802	-	SNI 6989-31:2021	
5	Nitrat (NO3-)	mg/L	2.570	-	Q/LKA/65 (Spektrofotometri)	
6	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	35380	-	SM APHA 23 rd Ed., 2540 C, 2017	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan Threshold Value fully adopted from : -

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar halaman yang lainnya
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 First page at this certificate or report is can't separately from all pages

Stasiun 1



LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
 Desa Lengkong Kec. Mojoanyar - Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
 Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
 E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 37794 S/LL MLG/VIII/2025

Lokasi Pengambilan Contoh Uji : Stasiun 2
Sampling Location
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT 1
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 07 - 22 Agustus 2025
Testing Date(s)

Halaman 2 dari 2
 Page 2 of 2

HASIL ANALISA

Result of Analysis



No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.93	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Salinitas	‰	169.5	-	Q/LKA/05 (Konduktometri)	Analisa di Lab
3	Oksigen terlarut (DO)	mg O ₂ /L	7.44	-	SM APHA 23 rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
4	Phospat Total (PO ₄)	mg/L	0.1738	-	SNI 6989-31:2021	
5	Nitrat (NO ₃ -)	mg/L	2.127	-	Q/LKA/65 (Spektrofotometri)	
6	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	39320	-	SM APHA 23 rd Ed., 2540 C, 2017	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar halaman yang lainnya
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 First page at this certificate or report is can't separately from all pages

Stasiun 2



LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar - Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 37793 S/LL MLG/VIII/2025

Lokasi Pengambilan Contoh Uji : Stasiun 3
Sampling Location : -
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method : -
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT 1
Place of Analysis : -
Tanggal Analisa : 07 - 22 Agustus 2025
Testing Date(s) : -

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

HASIL ANALISA Result of Analysis



No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.98	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Salinitas	‰	163.5	-	Q/LKA/05 (Konduktometri)	Analisa di Lab
3	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	7.19	-	SM APHA 23 rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.2107	-	SNI 6989-31:2021	
5	Nitrat (NO3-)	mg/L	2.158	-	Q/LKA/65 (Spektrofotometri)	
6	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	38080	-	SM APHA 23 rd Ed., 2540 C, 2017	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

: -

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar halaman yang lainnya
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation
This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation
First page at this certificate or report is can't separately from all pages

Stasiun 3



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama
No
Judul

: Maulana Rizki Akbar

: 210602110042

: Analisis Struktur Komunitas Makroalga dan Korelasinya dengan Parameter Lingkungan di Pantai Tamban Indah Kabupaten Malang.

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc	15%	



Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi

Prof. Dr. Hj. Retno Susilowati, M.Si

NIP. 19741018 200312 2 002



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 210602110042
Nama : MAULANA RIZKI AKBAR
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : BIOLOGI
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Estimasi Kuantitatif Penyimpanan Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove: Studi Kasus di Pesisir Pantai Modangan, Kabupaten Malang, Jawa Timur

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	18 November 2024	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Melakukan bimbingan terkait latar belakang dan pola penulisannya	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	20 November 2024	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Melakukan beberapa koreksi terkait penulisan di BAB 1	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	06 Desember 2024	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Melakukan bimbingan penulisan BAB 1 dan mendiskusikan BAB 3 terkait metode penelitian	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	10 Desember 2024	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Melakukan koreksi terhadap penulisan BAB 2 dan penulisan waktu pengambilan data	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	11 Desember 2024	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Melakukan bimbingan terkait metode pengambilan data dan analisis data	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	11 Desember 2024	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Bimbingan terkait dengan pola penulisan integrasi sains dan islam pada BAB 2	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
7	13 Februari 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Perbaikan draft skripsi pasca seminar proposal penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	15 April 2026	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Mendiskusikan terkait integrasi sains dan islam pada topik tinjauan makroalga berdasarkan prespektif Al-Quran	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	28 April 2026	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Pengoreksian penulisan integrasi sains dan islam pada BAB II	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	15 Mei 2026	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Mendiskusikan topik integrasi sains dan islam pada BAB IV terkait hasil penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	02 Juni 2026	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Mengoreksi penulisan integrasi sains dan islam pada BAB IV terkait hasil penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
12	02 Juni 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Mendiskusikan hasil penelitian serta penulisannya pada BAB IV	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
13	04 Juni 2026	Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd	Finalisasi penulisan topik integrasi sains dan islam pada BAB IV	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
14	04 Juni 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Pengoreksian penulisan BAB IV terkait hasil dan pembahasan serta BAB V mengenai kesimpulan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
15	05 Juni 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Finalisasi perbaikan draft skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd



Malang, _____
Dosen Pembimbing 1

Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.