PROSIDING SEMINAR NASIONAL **Volume 3, November 2026, hal. 57–62**
SAINS DAN TERAPAN (SEMNAS-SINTA) IX Tahun 2026

Analisis Keanekaragaman Makroalga di Kawasan Pantai Tongkaina sebagai Bioindikator Kualitas Perairan terhadap Aktivitas Pariwisata

Cornelia Sarah Berlian Sakura Ticoalu*, Grasia Debora Maripigi, Milanti Putri Tolana, Mutmaina Bolota, Zefanya Kaporoh
Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

*Corresponding author: corneliaticoalu102@student.unsrat.ac.id

ABSTRAK. Kawasan pesisir Pantai Tongkaina, Kota Manado, mengalami perkembangan pariwisata yang berpotensi menekan kualitas perairan. Makroalga bersifat bentik dan menetap sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator, tetapi informasi struktur komunitasnya terkait aktivitas pariwisata di lokasi ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis makroalga, menganalisis struktur komunitasnya, dan membandingkannya dengan parameter lingkungan pada dua stasiun. Data dikumpulkan pada 3 Oktober 2026 dengan transek kuadrat 1 × 1 m di Stasiun 1 (tekanan antropogenik) dan Stasiun 2 (referensi) yang ditentukan secara purposive. Suhu, salinitas, pH, dan tipe substrat diukur secara in situ. Struktur komunitas dianalisis dengan indeks Shannon-Wiener (H′), keseragaman (E), dan dominansi Simpson (C). Ditemukan lima taksa dari tiga divisi, yaitu *Halimeda opuntia*, *Padina* sp., *Sargassum* sp., *Gelidium* sp., dan *Gracilaria edulis*. Stasiun 1 hanya dihuni *Padina* sp. (3 individu; H′ = 0,000; C = 1,000), sedangkan Stasiun 2 dihuni empat jenis (6 individu; H′ = 1,330; E = 0,959; C = 0,278). Suhu, salinitas, dan pH berbeda tipis di antara kedua stasiun dan berada dalam kisaran acuan, sedangkan substratnya berbeda. Perbedaan komunitas ini konsisten dengan dugaan adanya tekanan antropogenik, tetapi tidak dapat dipisahkan dari pengaruh substrat dan ukuran sampel yang sangat kecil. Makroalga pada tahap ini baru dapat dipandang sebagai indikator awal perbedaan kondisi habitat, belum sebagai indikator kualitas perairan.

Kata Kunci: *makroalga; keanekaragaman; bioindikator; kualitas perairan; Pantai Tongkaina*

PENDAHULUAN

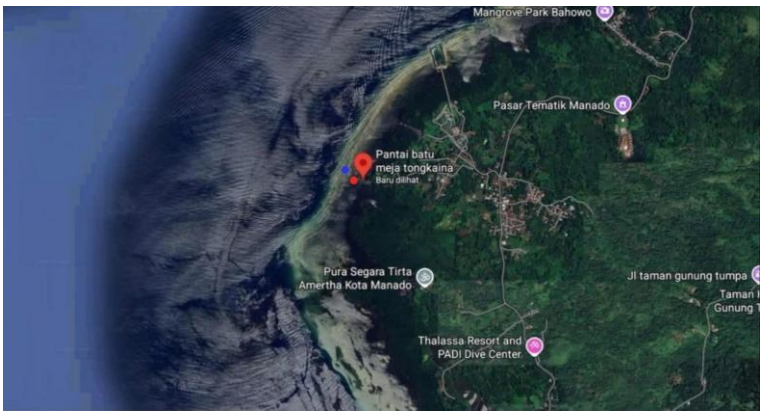
Wilayah pesisir memiliki produktivitas biologis tinggi, tetapi rentan terhadap tekanan antropogenik. Kelurahan Tongkaina di Kecamatan Bunaken, Kota Manado, berkembang sebagai destinasi wisata sekaligus kawasan penyangga Taman Nasional Bunaken. Peningkatan kunjungan wisata, pemukiman, dan lalu lintas perahu berpotensi menurunkan kualitas perairan melalui masukan limbah organik, nutrien, dan sampah.

Kualitas perairan umumnya dinilai melalui pengukuran parameter fisika dan kimia yang hanya menggambarkan kondisi sesaat. Pendekatan biologis dengan organisme bioindikator melengkapinya karena organisme merespons kondisi lingkungan secara terus-menerus. Makroalga dari divisi Chlorophyta, Phaeophyta, dan Rhodophyta bersifat bentik dan menetap sehingga keberadaan dan struktur komunitasnya dipengaruhi oleh suhu, salinitas, substrat, dan ketersediaan nutrien (Odum 1996). Kelimpahan berlebih alga oportunistik seperti *Ulva* dilaporkan menjadi penanda eutrofikasi (Teichberg *et al.,* 2010).

Inventarisasi makroalga di perairan pesisir Tongkaina telah dilakukan untuk mengetahui komposisi taksonominya (Kepel *et al.,* 2018), tetapi kajian struktur komunitas makroalga yang dikaitkan dengan aktivitas pariwisata di lokasi ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan (1) mengidentifikasi jenis dan komposisi makroalga, (2) menganalisis struktur komunitasnya dengan indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi, serta (3) mengevaluasi keterkaitannya dengan parameter lingkungan dan aktivitas pariwisata pada dua stasiun yang berbeda tingkat tekanan antropogeniknya. Hipotesis kerjanya adalah komunitas makroalga di kawasan dengan tekanan antropogenik lebih sederhana daripada di kawasan referensi.

METODE

Penelitian dilakukan pada 3 Oktober 2026 di zona intertidal Pantai Tongkaina, Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Sulawesi Utara (**Gambar 1**). Pengambilan data berlangsung pukul 07.00–12.00 WITA, menyesuaikan prakiraan pasang surut agar zona intertidal terpapar. Dua stasiun ditentukan secara purposive. Stasiun 1 (1°33′25″ LU; 124°49′00″ BT) berada pada zona yang bersinggungan dengan infrastruktur pariwisata, tambat perahu motor, dan limpasan aktivitas domestik sehingga mewakili kawasan dengan tekanan antropogenik. Stasiun 2 (1°33′50″ LU; 124°48′40″ BT) berada pada zona yang terpisah dari keramaian dan alur pelayaran sehingga berfungsi sebagai kawasan referensi.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Pantai Tongkaina, Kecamatan Bunaken, Kota Manado (titik merah: Stasiun 1; titik biru: Stasiun 2). Sumber: Google Maps.

Pada setiap stasiun ditarik tiga transek garis sepanjang 20 m tegak lurus garis pantai ke arah laut dengan jarak antartransek 30 m. Kuadrat 1 × 1 m diletakkan pada titik 0, 5, 10, 15, dan 20 m sepanjang transek sehingga diperoleh 15 kuadrat per stasiun dan 30 kuadrat seluruhnya. Makroalga pada setiap kuadrat diidentifikasi sampai taksa terendah yang memungkinkan dan jumlah individunya dihitung; satu individu didefinisikan sebagai satu tegakan atau talus yang berdiri sendiri. Jenis yang belum dikenali di lapangan dikumpulkan, diberi label (stasiun, transek, kuadrat), disimpan dalam kantong plastik di dalam cool box, lalu diidentifikasi di laboratorium berdasarkan morfologi (warna, bentuk talus, pola percabangan, tekstur, dan holdfast) dengan acuan Atmadja *et al.* (1996). Aplikasi Google Lens hanya digunakan sebagai panduan awal. Setiap jenis dikelompokkan ke dalam Chlorophyta, Phaeophyta, atau Rhodophyta.

Suhu air diukur dengan termometer digital, pH dengan kertas indikator universal, dan salinitas dengan *seawater hydrometer*, semuanya secara *in situ* pada setiap stasiun. Tipe substrat ditentukan melalui pengamatan visual. Setiap parameter diukur satu kali per stasiun sehingga nilainya merupakan nilai sesaat.

Struktur komunitas dianalisis dengan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener, keseragaman, dan dominansi Simpson (Odum 1996):

$$H' = -\Sigma\, p_i \ln p_i \qquad E = H' / \ln S \qquad C = \Sigma\, p_i^2$$

dengan $p_i = n_i/N$, n_i jumlah individu jenis ke-i, N total individu, dan S jumlah jenis. H′ dikategorikan rendah (< 1), sedang (1–3), dan tinggi (> 3). Nilai E berkisar 0–1 dan tidak dapat dihitung bila S = 1. Nilai C yang mendekati 1 menunjukkan dominansi kuat oleh satu atau beberapa jenis. Indeks dan parameter lingkungan dibandingkan secara deskriptif antara kedua stasiun tanpa uji statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis Makroalga

Pada 30 kuadrat ditemukan sembilan individu makroalga yang termasuk lima taksa dari tiga divisi (**Tabel 1**): satu Chlorophyta (*Halimeda opuntia*), dua Phaeophyta (*Padina* sp. dan *Sargassum* sp.), dan dua Rhodophyta (*Gelidium* sp. dan *Gracilaria edulis*). Stasiun 1 hanya dihuni *Padina* sp., sedangkan keempat jenis lainnya hanya ditemukan di Stasiun 2, sehingga tidak ada jenis yang sama pada kedua stasiun.

Tabel 1. Komposisi dan jumlah individu makroalga pada kedua stasiun

Jenis	Divisi	Stasiun 1	Stasiun 2	Total
Halimeda opuntia	Chlorophyta	0	2	2
Padina sp.	Phaeophyta	3	0	3
Sargassum sp.	Phaeophyta	0	1	1
Gelidium sp.	Rhodophyta	0	2	2
Gracilaria edulis	Rhodophyta	0	1	1
Jumlah individu (N)		3	6	9
Jumlah jenis (S)		1	4	5

Angka menunjukkan jumlah individu; 0 = tidak ditemukan.

Struktur Komunitas Makroalga

Struktur komunitas berbeda tegas antarstasiun (**Tabel 2**). Stasiun 1 memiliki H′ = 0,000 (kategori rendah) dan C = 1,000, sedangkan E tidak dapat dihitung karena S = 1 sehingga ln S=0. Stasiun 2 memiliki H′ = 1,330 (kategori sedang), E = 0,959, dan C = 0,278. Nilai E yang mendekati 1 dan C yang mendekati 0 menunjukkan individu terbagi relatif merata tanpa jenis yang mendominasi. Data gabungan menghasilkan H′ = 1,523, E = 0,946, dan C = 0,235. Ketiga indeks dihitung dari data yang sama dan saling berkaitan secara matematis sehingga tidak dapat dibaca sebagai tiga bukti ekologis yang terpisah. Nilai H′ = 0 dan C = 1 di Stasiun 1 adalah konsekuensi dari hanya adanya satu jenis. Jumlah individu juga sangat sedikit (3 dan 6 individu) sehingga selisih satu individu dapat mengubah nilai indeks cukup besar. Karena itu, E yang tinggi dan kategori H′ sedang di Stasiun 2 lebih mencerminkan ukuran sampel yang kecil daripada kestabilan komunitas.

Tabel 2. Indeks struktur komunitas makroalga di Pantai Tongkaina

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Gabungan
Jumlah jenis (S)	1	4	5
Jumlah individu (N)	3	6	9
Keanekaragaman (H′)	0,000	1,330	1,523
Kategori H′	Rendah	Sedang	Sedang
Keseragaman (E)	Tidak dapat dihitung	0,959	0,946
Dominansi (C)	1,000	0,278	0,235

Parameter Lingkungan

Suhu air, salinitas, dan pH di kedua stasiun berada dalam atau pada batas kisaran acuan (**Tabel 3**), sedangkan tipe substrat berbeda. Suhu Stasiun 2 hanya 1,1°C lebih tinggi, tetapi komunitasnya justru lebih beragam sehingga suhu tidak tampak sebagai faktor pembeda. Respons makroalga terhadap suhu juga bersifat spesifik jenis; misalnya pertumbuhan optimal *Halimeda macroloba* terjadi pada 28°C dan fotosintesisnya menurun pada 31°C (Zhang *et al.,* 2025). Salinitas Stasiun 1 tepat pada batas bawah kisaran 30–34‰ (Fitrihastuti *et al.,* 2023).

Penurunan fotosintesis bersih lebih dari 50% pada lima jenis makroalga intertidal dilaporkan terjadi pada salinitas 5 PSU (Chen *et al.,* 2023), jauh di bawah nilai terukur di kedua

stasiun, sehingga cekaman hiposalin berat tidak terindikasi.

Tabel 3. Parameter lingkungan di Pantai Tongkaina

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Acuan
Suhu air (°C)	28,6	29,7	28–31
Salinitas (‰)	30,0	31,0	30–34
pH	≈ 7	≈ 7	7,0–8,5
Tipe substrat	r berlumpur dan karang mati	ıtuan dan pecahan karang (*rubble*)	Substrat keras

Acuan suhu: kisaran pertumbuhan baik *Ulva lactuca* sehingga hanya sebagai acuan umum (Fitrihastuti *et al.* 2023). Acuan salinitas: kisaran umum untuk pertumbuhan makroalga (Fitrihastuti *et al.* 2023). Acuan pH: baku mutu air laut untuk biota laut (Menteri Negara Lingkungan Hidup 2004).

Nilai pH sekitar 7 di kedua stasiun berada pada batas bawah baku mutu air laut untuk biota laut (Menteri Negara Lingkungan Hidup 2004). Makroalga berkapur obligat dilaporkan menurun kelimpahannya pada CO_2 tinggi (pH rendah) (Cornwall *et al.,* 2017). Namun, karena pH kedua stasiun sama, parameter ini tidak dapat menjelaskan tidak ditemukannya *Halimeda opuntia* di Stasiun 1. Pengukuran dengan kertas indikator juga berketelitian kasar dan hanya menggambarkan kondisi sesaat.

Substrat dan Penyaringan Habitat

Temuan yang paling menonjol adalah tidak adanya jenis yang sama pada kedua stasiun. Bila tekanan pariwisata hanya menyingkirkan jenis yang sensitif, komunitas Stasiun 1 seharusnya merupakan bagian dari komunitas Stasiun 2. Pola yang diperoleh lebih sesuai dengan penyaringan habitat (*habitat filtering*), yaitu kondisi setempat menyeleksi jenis yang mampu melekat dan bertahan. Makroalga melekat pada substrat dengan *holdfast* sehingga substrat keras menentukan peluang kolonisasi. Stasiun 2 bersubstrat batuan dan pecahan karang yang menyediakan banyak titik perlekatan, sedangkan Stasiun 1 didominasi pasir berlumpur dengan karang mati yang tersebar. Keterbatasan substrat keras ini dapat menjelaskan tidak ditemukannya *Sargassum* sp. yang bertalus besar dan tegak serta kedua Rhodophyta di Stasiun 1, sedangkan *Padina* sp. tampaknya memanfaatkan sisa substrat keras yang ada. Pola ini sejalan dengan laporan bahwa dominansi pasir dan lumpur yang disertai kekeruhan tinggi dapat menghambat pertumbuhan makroalga (Fitrihastuti *et al.,* 2023). Toleransi *Padina* sp. terhadap sedimentasi tidak diukur dalam penelitian ini sehingga masih perlu diuji.

Ketiadaan Ulva dan Sumber Tekanan

Ulva tidak tercatat pada kedua stasiun. Kelimpahan berlebih *Ulva* umumnya dipakai sebagai penanda eutrofikasi (Teichberg *et al.,* 2010), sehingga data ini tidak menunjukkan bukti biologis eutrofikasi berbasis ledakan alga oportunistik. Kondisi Stasiun 1 lebih tepat disebut penyederhanaan komunitas, yang mungkin dipicu gangguan fisik seperti tambat perahu, pengadukan sedimen oleh baling-baling, dan injakan pengunjung, selain penurunan kualitas air. Karena nutrien (nitrat dan fosfat), kekeruhan, dan intensitas kunjungan tidak diukur, mekanisme yang dominan belum dapat dipastikan.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Lima taksa yang ditemukan jauh lebih sedikit daripada 15 jenis (7 Chlorophyta, 4 Phaeophyta, dan 4 Rhodophyta) yang dilaporkan Kepel *et al.* (2018) di perairan pesisir Tongkaina. Selisih ini lebih mungkin mencerminkan perbedaan upaya sampling daripada penurunan kualitas lingkungan. Kepel *et al.* (2018) memakai survei jelajah yang menjangkau area luas dan beragam mikrohabitat, sedangkan penelitian ini hanya memakai 30 kuadrat 1 × 1 m pada satu hari. Hanya sembilan individu tercatat pada 30 kuadrat, yang menunjukkan kerapatan rendah dan berarti daftar jenis kemungkinan belum mewakili seluruh komunitas lokal.

Keterkaitan dengan Aktivitas Pariwisata

Dari empat parameter, hanya substrat yang berbeda antarstasiun. Kedua stasiun dipilih pada zona intertidal, tetapi substratnya ternyata berbeda sehingga pengaruh pariwisata dan substrat tumpang tindih (*confounded*). Substrat sendiri dapat dipengaruhi aktivitas manusia, misalnya melalui sedimentasi di sekitar tambatan perahu, tetapi rantai sebab-akibat ini baru hipotesis karena sedimentasi dan kekeruhan tidak diukur. Pola yang diperoleh konsisten dengan dugaan bahwa tekanan antropogenik menyederhanakan komunitas makroalga, namun belum membuktikannya. Dua titik pengamatan pada satu hari tanpa ulangan stasiun tidak cukup untuk memisahkan perbedaan spasial dari pengaruh gradien tekanan. Pada resolusi data ini, makroalga baru dapat dipakai sebagai indikator awal perbedaan kondisi habitat antarlokasi, belum sebagai indikator kualitas perairan. Keterbatasan lain adalah persentase tutupan tidak dianalisis sehingga jenis berkoloni mungkin kurang terwakili, dan perbedaan antarstasiun tidak diuji secara statistik.

KESIMPULAN

Ditemukan lima taksa makroalga dari tiga divisi di Pantai Tongkaina, yaitu *Halimeda opuntia*, *Padina* sp., *Sargassum* sp., *Gelidium* sp., dan *Gracilaria edulis*. Stasiun 1 hanya dihuni *Padina* sp. ($H' = 0{,}000$; $C = 1{,}000$), sedangkan Stasiun 2 dihuni empat jenis ($H' = 1{,}330$; $E = 0{,}959$; $C = 0{,}278$), tanpa jenis yang sama pada kedua stasiun. Suhu, salinitas, dan pH berbeda tipis dan berada dalam kisaran acuan, sedangkan substrat berbeda. Komunitas yang lebih sederhana di Stasiun 1 sejalan dengan dugaan adanya tekanan antropogenik, tetapi pengaruh pariwisata tidak dapat dipisahkan dari pengaruh substrat dan sampel yang sangat kecil (3 dan 6 individu). Makroalga pada tahap ini baru dapat dipandang sebagai indikator awal perbedaan kondisi habitat, belum sebagai indikator kualitas perairan. Penelitian lanjutan sebaiknya menambah stasiun ulangan di sepanjang gradien jarak dari tambatan perahu pada tipe substrat yang sama, memperbanyak kuadrat dan waktu pengamatan, mencatat persentase tutupan, mengukur kekeruhan, sedimentasi, nitrat, dan fosfat, serta memakai pH meter, sehingga perbedaan antarstasiun dapat diuji secara statistik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Drs. Parluhutan Siahaan, M.Si. selaku dosen pembimbing atas bimbingan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Atmadja, W. S., Kadi, A., Sulistijo, & Satari, R. (1996). *Pengenalan jenis-jenis rumput laut Indonesia*. Jakarta: Puslitbang Oseanologi–LIPI.

Chen, J., Ji, D., Xu, Y., Chen, C., Wang, W., Xie, C., & Xu, K. (2023). Effect of hyposaline stress on the release of dissolved organic carbon from five common macroalgal species. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 1106703.

Cornwall, C. E., Revill, A. T., Hall-Spencer, J. M., Milazzo, M., Raven, J. A., & Hurd, C. L. (2017). Inorganic carbon physiology underpins macroalgal responses to elevated CO_2. *Scientific Reports*, *7*, 46297.

Fitrihastuti, A. N., Auliadani, N. M., Mudrikah, S., Wulandari, M. T., Sayidinar, A., Khairunnisa, A. D., Angellya, B. F., Utami, L. W., & Untari, L. F. (2023). Kemelimpahan makroalgae di zona intertidal Pantai Nglolang, Gunungkidul, Yogyakarta. *Berkala Ilmiah Biologi*, *14*(2), 16–23.

Kepel, R. C., Mantiri, D. M. H., & Nasprianto. (2018). Biodiversitas makroalga di perairan pesisir Tongkaina, Kota Manado. *Jurnal Ilmiah Platax*, *6*(1), 160–173.

Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2004). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*. Jakarta.

Odum, E. P. (1996). *Dasar-dasar ekologi* (T. Samingan, Penerj.; Edisi ke-3). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Teichberg, M., Fox, S. E., Olsen, Y. S., Valiela, I., Martinetto, P., Iribarne, O., Muto, E. Y., Petti, M. A. V., Corbisier, T. N., Soto-Jiménez, M., Páez-Osuna, F., Castro, P., Freitas, H.,

Zitelli, A., Cardinaletti, M., & Tagliapietra, D. (2010). Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biology*, *16*(9), 2624–2637.

Zhang, H., Wang, Y., Zhang, L., Wang, Z., Zhu, Z., & Long, L. (2025). Protein and metabolite acclimations to temperature variability in a calcareous green macroalga *Halimeda macroloba*. *Frontiers in Marine Science*, *12*, 1543591.