

Classification and Mapping of Mangrove Biodiversity as a Bioindicator of Environmental Degradation

Harry Irawan Johari^{1*}

¹Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Muhamamdiyah Mataram, Kota Mataram, Indonesia;

Article History

Received : October 02th, 2025

Revised : October 25th, 2025

Accepted : November 01th, 2025

*Corresponding Author: **Harry Irawan Johari**, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Muhamamdiyah Mataram, Kota Mataram, Indonesia;
Email: harryijohari@gmail.com

Abstract: Mangrove ecosystems function as buffers against coastal abrasion, blue-carbon sinks, and habitats for coastal biota; their structural condition can be read as a bioindicator of environmental degradation. This study portrays the condition of mangroves in Lembar, West Lombok by analyzing station-level summaries (Stations I–III) using a descriptive–comparative approach to the number (Σ) of units per stratum (trees–poles–seedlings), aggregate basal area (units following the summary sheet), and species composition. The data were processed directly from the worksheet (February 2025) without normalization to m²/ha or calculation of diversity indices due to the absence of plot area and per-individual data. The results show Station II had the highest counts of trees (91) and poles (49) with seedlings (26); Station I was slightly lower (trees 90; poles 46; seedlings 31); and Station III was the lowest (trees 25; poles 22; seedlings 14). The aggregate basal-area pattern per stratum is consistent and confirms the dominance of stand structure at Station II. The composition of five species is consistent across all stations *Avicennia marina*, *Rhizophora stylosa*, *R. mucronata*, *R. apiculata*, and *Sonneratia alba* indicating a functioning microhabitat gradient. The discussion interprets structural indicators (Σ and basal area) as simple bioindicators: Station II reflects a lower risk of degradation, Station I an intermediate risk, and Station III a higher risk. Stand structure and species composition are effective operational bioindicators for setting management priorities—Station III as a target for intervention (pressure reduction/rehabilitation), Station II to be maintained through protection and monitoring, and Station I to be managed adaptively; going forward, normalizing basal area to m²/ha, computing H' / J' , and measuring pressure parameters are needed to strengthen comparability.

Keywords: Basal area, environmental bioindicators, mangroves, stand structure.

Pendahuluan

Ekosistem mangrove memiliki peran ekologis dan sosial-ekonomi yang krusial di wilayah pesisir (Trialfhianty et al., 2022). Akar tunjangnya menahan abrasi, menstabilkan sedimen, dan mengurangi intrusi air laut (Kazemi et al., 2021; Bhagarathi & Phillip, 2024). Kanopi dan jaring makanannya menjadi habitat penting bagi ikan, krustasea, burung, dan mikroorganisme (Arceo-Carranza et al., 2021). Selain itu, mangrove menyimpan

karbon dalam jumlah signifikan, sehingga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim (Sidik et al., 2018; Uddin et al., 2023). Nilai-nilai ini menjadikan mangrove indikator alami yang sensitif terhadap gangguan lingkungan (Kauffman et al., 2020).

Tekanan terhadap kawasan mangrove meningkat akibat konversi lahan, penambangan, reklamasi, polusi, serta dinamika pasang surut dan perubahan iklim (Ningsih et al., 2022). Dampak kumulatifnya terlihat pada penurunan luas tutupan, fragmentasi habitat, serta menurunnya fungsi ekosistem (de Lacerda et

al., 2021; Goldberg et al., 2020). Perubahan komposisi jenis, misalnya dominansi spesies yang lebih toleran sering kali menandai stres lingkungan yang tidak langsung terlihat (Chowdhury et al., 2019; Hughes et al., 2018). Karena respons mangrove cenderung sistemik, ia dapat berfungsi sebagai “bioindikator” yang memantulkan kondisi kesehatan lingkungan pesisir.

Sebagai bioindikator, keanekaragaman mangrove dapat dibaca melalui beberapa dimensi: struktur (tinggi, diameter, kerapatan, penutupan tajuk), komposisi komunitas (proporsi spesies sensitif vs. toleran), dan sinyal fisiologis (kondisi daun, pigmentasi) (Bakhtiyari et al., 2019; Torres et al., 2019). Variasi spasial dan temporal dari parameter ini menyiratkan gradien tekanan, dari area relatif sehat hingga zona terdampak berat (Maina et al., 2021; B. Zhang et al., 2024). Dengan memadukan metrik tersebut, peneliti dapat menyusun skor atau indeks untuk menilai tingkat kerusakan lingkungan secara lebih objektif dan terukur.

Perkembangan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) membuka kesempatan untuk memantau mangrove secara efisien pada skala bentang alam. Citra satelit resolusi menengah hingga tinggi dan wahana nirawak (drone/UAV) memungkinkan pemetaan periodik dengan cakupan luas dan biaya relatif terkendali. Indeks vegetasi (seperti NDVI, EVI, dan NDWI), fitur tekstur, serta informasi topografi dan hidrodinamika dapat digunakan sebagai penjelas dalam model klasifikasi. Hasilnya adalah peta tematik yang menggambarkan sebaran dan kondisi mangrove secara konsisten lintas waktu.

Teknik *machine learning* misalnya *Random Forest*, *Support Vector Machine*, *Gradient Boosting*, hingga pendekatan *deep learning* banyak dimanfaatkan untuk membedakan mangrove dari penutup lahan lain dan mengestimasi parameter struktur. Integrasi data lapangan (*ground truth*) dengan fitur spektral dan tekstural meningkatkan akurasi model sekaligus meminimalkan bias. Validasi silang dan metrik kinerja (akurasi, kappa, F1-score) membantu menakar reliabilitas peta yang dihasilkan. Dengan demikian, klasifikasi tidak hanya deskriptif tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan.

Walaupun demikian, beberapa tantangan metodologis masih harus diantisipasi. Heterogenitas spektral antar-spesies dan fase pertumbuhan bisa menurunkan performa model. Tutupan awan, bayangan, dan variabilitas pasang surut memengaruhi kualitas citra, terutama di wilayah tropis lembap (Zhu & Helmer, 2018). Keterbatasan data lapangan yang terstandarisasi untuk kalibrasi-validasi sering menjadi kendala utama. Selain itu, menghubungkan metrik penginderaan jauh dengan ambang bioindikasi yang relevan secara ekologis dan manajerial masih membutuhkan kerangka konseptual yang kuat.

Kesenjangan tersebut menegaskan perlunya pendekatan terpadu: menggabungkan klasifikasi tutupan mangrove, pemodelan keanekaragaman (struktur dan komposisi), serta perumusan indeks bioindikator yang operasional. Pendekatan ini idealnya menyertakan skema penilaian berbasis ambang (*threshold*) yang dikaitkan dengan tingkat tekanan, misalnya polusi, sedimentasi berlebih, atau konversi lahan sehingga peta yang dihasilkan tidak berhenti pada visualisasi, melainkan langsung berguna untuk diagnosa kondisi ekosistem (Mahmud et al., 2022; Nuyts et al., 2024).

Sisi tata kelola, informasi spasial yang akurat sangat dibutuhkan untuk prioritas konservasi dan restorasi (Gilby et al., 2021). Pemerintah daerah, pengelola kawasan, dan komunitas pesisir memerlukan dasar ilmiah untuk menetapkan zona perlindungan, jalur rehabilitasi, dan rencana adaptasi. Peta klasifikasi dan indeks bioindikator yang konsisten lintas waktu dapat menjadi dasar pemantauan rutin, evaluasi efektivitas intervensi, serta pelaporan kinerja lingkungan (T. Q. Zhang et al., 2018). Dengan kata lain, hasil ilmiah harus diterjemahkan menjadi instrumen keputusan.

Dalam konteks Indonesia, dengan garis pantai sangat panjang dan keragaman hayati tinggi membangun sistem pemantauan mangrove yang andal menjadi urgensi strategis (Nurhidayah et al., 2022). Perbedaan kondisi geomorfologi, pasang surut, dan tekanan antropogenik antardaerah menuntut pendekatan yang fleksibel namun tetap terstandarisasi. Ketersediaan metodologi klasifikasi yang transparan, data latih yang

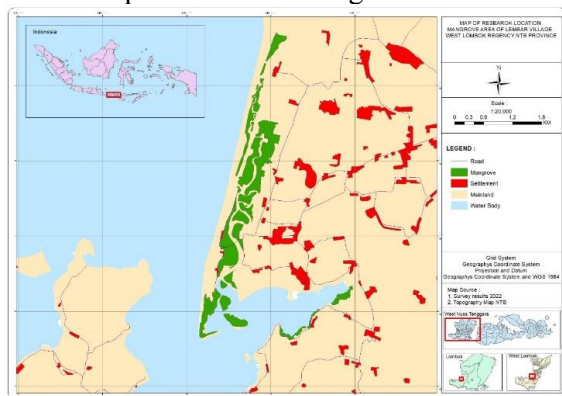
memadai, serta protokol validasi yang jelas akan mempercepat adopsi di berbagai tingkat pemangku kepentingan.

Berdasarkan urgensi dan peluang tersebut, penelitian mengenai klasifikasi dan pemetaan keanekaragaman mangrove sebagai bioindikator kerusakan lingkungan menjadi relevan dan diperlukan. Studi ini diharapkan menghasilkan peta tematik berkualitas, indeks bioindikator yang terukur, serta panduan praktik untuk pemantauan berkelanjutan. Pada akhirnya, luaran penelitian tidak hanya memperkaya pengetahuan ilmiah, tetapi juga memperkuat landasan kebijakan dan aksi pemulihan di kawasan pesisir yang rentan.

Bahan dan Metode

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di pesisir Lembar, Kabupaten Lombok Barat (NTB), wilayah teluk dengan mosaik mangrove alami dan area terdegradasi di sekitar permukiman, tambak, dan pelabuhan. Kondisi geomorfologi teluk serta dinamika pasang-surut menjadi faktor kunci dalam penempatan transek dan akses ke plot. Survei lapangan dilaksanakan pada Februari 2025 (musim hujan). Penetapan jadwal pengambilan data mempertimbangkan pasang rendah agar parameter vegetasi dan dokumentasi kondisi substrat dapat diobservasi dengan baik.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Sumber Data dan Unit Analisis.

Penelitian menggunakan rekapitulasi data per stasiun (Stasiun I–III) pada ekosistem mangrove Lembar, Lombok Barat. Data yang tersedia mencakup jumlah unit (Σ) untuk tiga jenis tegakan (pohon, tiang, semai), Basal Area agregat, serta penutupan relatif lintas spesies pada

masing-masing jenis. Seluruh analisis dilakukan pada tingkat stasiun, tanpa menggunakan data per individu/plot.

Variabel dan Indikator.

Variabel utama meliputi Σ unit per jenis, Basal Area agregat per jenis, serta penutupan relatif agregat. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menggambarkan struktur tegakan dan kepadatan relatif kanopi. Normalisasi Basal Area ke m^2/ha tidak dilakukan karena informasi luas plot tidak tercantum pada rekap.

Prosedur Analisis.

Analisis bersifat deskriptif-komparatif. Pertama, disajikan Σ unit per jenis untuk memotret proporsi pohon, tiang, dan semai pada tiap stasiun. Kedua, dibandingkan Basal Area agregat antarstasiun untuk menilai besaran penampang batang yang mewakili struktur tegakan. Ketiga, dirangkum penutupan relatif agregat sebagai indikator tambahan kepadatan tajuk. Mengingat format data rekap dan jumlah stasiun yang terbatas, uji statistik inferensial tidak dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Kondisi struktur tegakan pada lokasi penelitian, pada Tabel 1 merangkum jumlah (Σ) unit pada tiga jenis, yaitu pohon, tiang, dan semai di Stasiun I–III. Angka pada tabel merupakan rekap lapangan per stasiun, sehingga langsung memperlihatkan perbandingan kepadatan relatif komponen dewasa (pohon–tiang) dan potensi regenerasi (semai) di setiap lokasi.

Tabel 1. Jumlah (Σ) unit per stasiun

Stasiun	Σ Pohon	Σ Tiang	Σ Semai
Stasiun I	90	46	31
Stasiun II	91	49	26
Stasiun III	25	22	14

Komposisi jenis yang tercatat konsisten pada ketiga stasiun, yaitu ditemukan jenis mangrove berupa *Avicennia marina*, *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Sonneratia alba*. Kehadiran kelima jenis ini menggambarkan mosaik habitat mangrove setempat dari zona lebih terbuka yang khas *Avicennia*, area berlumpur dengan

genangan yang mendukung Rhizophora, hingga tepian perairan dangkal yang umum ditempati Sonneratia.

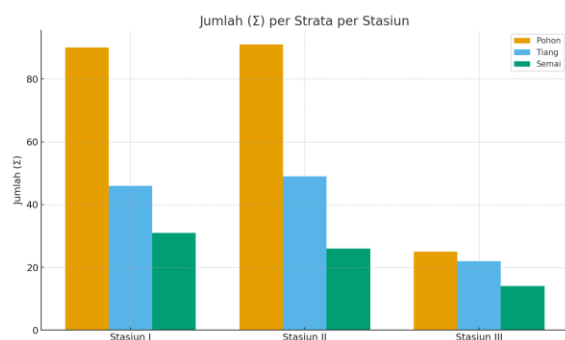
Ringkasan Struktur Tegakan per Stasiun

Pengamatan dibagi ke tiga stasiun. Secara umum, Stasiun II memiliki jumlah unit tertinggi pada jenis pohon dan tiang, Stasiun I berada di urutan berikutnya, sedangkan Stasiun III menunjukkan jumlah unit paling rendah di seluruh jenis. Rangkuman angka kunci disajikan di bawah.

1. Stasiun I: Pohon = 90, Tiang = 46, Semai = 31; Basal Area (agregat): Pohon ≈ 583.33 , Tiang ≈ 584.78 , Semai ≈ 367.74 .
2. Stasiun II: Pohon = 91, Tiang = 49, Semai = 26; Basal Area (agregat): Pohon ≈ 600.24 , Tiang ≈ 590.70 , Semai ≈ 387.61 .
3. Stasiun III: Pohon = 25, Tiang = 22, Semai = 14; Basal Area (agregat): Pohon ≈ 584.00 , Tiang ≈ 586.36 , Semai ≈ 371.43 .

Pola Jumlah Individu antar- stasiun

Stasiun I dan II, jumlah unit jenis pohon (≥ 90) dan tiang (≥ 46) relatif tinggi, sementara jenis semai berada pada kisaran 26–31. Pola ini menunjukkan struktur tegakan dengan komponen dewasa yang kuat disertai keberadaan regenerasi. Sebaliknya, Stasiun III menampilkan jumlah unit yang lebih rendah pada ketiga jenis (pohon 25; tiang 22; semai 14), yang merepresentasikan tegakan dengan kepadatan terukur lebih kecil dibanding dua stasiun lainnya.

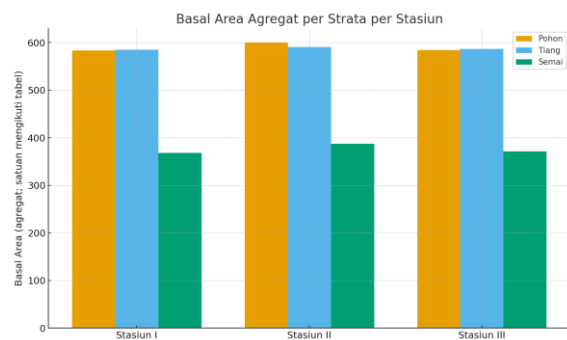


Gambar 2. Jumlah Individu antar stasiun

Secara komparatif, Stasiun II mencatat jumlah pohon dan tiang tertinggi (pohon 91; tiang 49), diikuti Stasiun I (pohon 90; tiang 46). Stasiun III konsisten paling rendah pada seluruh jenis. Perbedaan ini penting karena menunjukkan variasi struktur tegakan antar-lokasi pengamatan.

Basal Area Agregat

Nilai Basal Area (agregat, sesuai tabel rekap) untuk jenis pohon dan tiang berada pada kisaran yang serupa di ketiga stasiun (≈ 583 – 600 untuk pohon; ≈ 585 – 591 untuk tiang). Stasiun II menunjukkan nilai agregat pohon tertinggi (≈ 600.24), diikuti Stasiun III (≈ 584.00) dan Stasiun I (≈ 583.33). Untuk jenis tiang, Stasiun II juga relatif tinggi (≈ 590.70), dengan Stasiun III (≈ 586.36) dan Stasiun I (≈ 584.78) berada di rentang yang berdekatan. Jenis semai, kisaran agregat berada di ≈ 368 – 388 dengan nilai tertinggi di Stasiun II (≈ 387.61).



Gambar 3. Basar Agregat per stasiun

Konsistensi kisaran Basal Area agregat pada jenis pohon, meskipun jumlah unit di Stasiun III lebih rendah menunjukkan bahwa nilai agregat pada lembar rekap tidak secara langsung sebanding dengan jumlah unit antar-stasiun. Hal ini wajar pada data rekap, karena perhitungan agregat dapat dipengaruhi bobot per spesies/kelas ukuran yang berbeda atau skema perhitungan pada lembar kerja. Hasil ini tetap informatif untuk membandingkan urutan besaran relatif antar-stasiun pada tiap jenis.

Perbandingan antar stasiun

1. Jumlah unit: Stasiun II $\geq$ Stasiun I $\gg$ Stasiun III untuk pohon dan tiang; semai tertinggi di Stasiun I (31) sedikit di atas Stasiun II (26), sedangkan Stasiun III paling rendah (14).
2. Basal Area agregat (pohon): Stasiun II tertinggi (≈ 600.24), diikuti Stasiun III (≈ 584.00) dan Stasiun I (≈ 583.33).
3. Basal Area agregat (tiang): Stasiun II (≈ 590.70) $>$ Stasiun III (≈ 586.36) $>$ Stasiun I (≈ 584.78).
4. Basal Area agregat (semai): Stasiun II tertinggi (≈ 387.61), diikuti Stasiun III (≈ 371.43) dan Stasiun I (≈ 367.74).

Secara ringkas, Stasiun II konsisten menempati posisi tertinggi pada sebagian besar metrik yang direkap, Stasiun I berada di posisi menengah, dan Stasiun III cenderung paling rendah dari sisi jumlah unit namun memiliki nilai Basal Area agregat pada pohon/tiang yang tetap berada di kisaran yang sebanding dengan dua stasiun lainnya. Parameter struktur yang disajikan yakni jumlah (Σ) per strata dan Basal Area agregat digunakan sebagai bioindikator sederhana kondisi ekosistem. Dalam kerangka ini, nilai tinggi pada strata pohon–tiang serta kehadiran semai merefleksikan kondisi yang relatif kurang terdegradasi, sedangkan penurunan konsisten pada semua strata mengindikasikan tekanan/kerusakan yang lebih tinggi.

Pembahasan

Pola Jumlah Individu antar-Stasiun (Σ per Strata)

Temuan menunjukkan Stasiun II memiliki Σ tertinggi pada pohon (91) dan tiang (49), diikuti Stasiun I (pohon 90; tiang 46), sedangkan Stasiun III terendah di semua strata (25; 22; 14 untuk pohon; tiang; semai). Pola ini mencerminkan stabilitas struktur yang lebih baik di Stasiun II karena komponen dewasa kuat dan regenerasi tetap hadir, suatu ciri umum tegakan mangrove yang relatif sehat (Susilowati et al., 2020; Fijanry Tammu et al., 2025). Sebaliknya, penurunan serempak pada seluruh strata di Stasiun III menyerupai kondisi pascagangguan/tekanan tinggi di pesisir, selaras dengan indikasi degradasi pada ekosistem mangrove yang dilaporkan di kawasan bertekanan antropogenik (Chowdhury et al., 2019; Hughes et al., 2018).

Perbandingan dengan studi terdahulu. Secara umum, literatur menyebut kepadatan strata dewasa + keberadaan semai sebagai sinyal kesehatan tegakan dan ketahanan jangka panjang (Maina et al., 2021). Penempatan Stasiun II sebagai kondisi relatif baik, Stasiun I menengah, dan Stasiun III berisiko konsisten dengan kerangka respons ekosistem mangrove terhadap tekanan manusia (Goldberg et al., 2020).

Basal Area Agregat antar-Stasiun

Walaupun Σ individu Stasiun III lebih rendah, Basal Area (BA) agregat pada pohon (~584) dan tiang (~586) berada pada kisaran yang sebanding dengan Stasiun I–II (~583–600

untuk pohon; ~585–591 untuk tiang). Hal ini menandakan kehadiran batang berukuran sedang–besar yang masih menopang fungsi tajuk dan stok karbon (Kauffman et al., 2020; Sidik et al., 2018; Uddin et al., 2023). Fenomena “densitas turun, ukuran batang relatif bertahan” lazim pada lokasi yang mengalami gangguan selektif atau pemulihan parsial, sebagaimana dicatat dalam literatur kehutanan (Lindenmayer & Laurance, 2017; Jactel et al., 2017). Implikasi ilmiah. BA agregat yang relatif tinggi di Stasiun II menegaskan posisi stasiun ini sebagai penopang stok karbon dan penutup tajuk yang baik. Untuk meningkatkan komparabilitas lintas lokasi, BA idealnya dinormalisasi ke m^2/ha pada penelitian lanjutan sebagaimana praktik umum dalam ekologi tegakan (lihat panduan dan praktik yang dirujuk di literatur Indonesia dan global).

Komposisi Jenis dan Gradien Mikrohabitat

Konsistensi lima jenis—*Avicennia marina*, *Rhizophora stylosa*, *R. mucronata*, *R. apiculata*, *Sonneratia alba*—di seluruh stasiun menegaskan gradien mikrohabitat masih berfungsi: *Avicennia* lazim di zona lebih terbuka/toleran salinitas, *Rhizophora* mendominasi substrat berlumpur ber-genangan, *Sonneratia* umum di tepian perairan (Ashraf et al., 2023; Ozturk et al., 2023; Haseeba et al., 2025). Kestabilan komposisi lintas stasiun ini menjadi modal pemulihan alami pada lokasi bertekanan sedang, sesuai bukti di pesisir tropis (Maina et al., 2021).

Sintesis: Indikator Struktur & Kerangka Penilaian

Menggabungkan Σ per strata dan BA agregat memberikan bioindikator operasional kondisi ekosistem pada skala stasiun. Dalam kerangka Pressure–State–Response (PSR) dan prinsip indikator lingkungan, pola struktur dapat dipetakan terhadap tekanan (mis. kedekatan permukiman/dermaga), keadaan (Σ & BA), dan respons (regenerasi/semai) (Zhang T.Q. et al., 2018; Zhang B. et al., 2024). Sintesis ini mengafirmasi klasifikasi praktis: Stasiun II (risiko rendah), Stasiun I (menengah), Stasiun III (lebih tinggi). Perbandingan dengan literatur. Pendekatan indikator struktur + komposisi telah luas digunakan untuk diagnostik ekosistem dan prioritas pengelolaan mangrove (Bakhtiyari et al., 2019) serta untuk perencanaan konservasi sistematis (Gilby et al., 2021).

Implikasi Manajemen & Tindak Lanjut Temuan

Stasiun III – Prioritas Intervensi

Pengurangan tekanan lokal (akses, sampah, aktivitas tambak tak berizin), rehabilitasi berbasis jenis lokal (*Rhizophora* sp., *Avicennia marina*), dan perlindungan sisa pohon besar (penjaga BA dan tajuk). Prioritisasi berbasis indikator/PSR dan tata kelola adaptif (Zhang B. et al., 2024; Gilby et al., 2021; Trialfhianty et al., 2022).

1. Stasiun II – Proteksi & Monitoring. Zona perlindungan setempat, monitoring BA/ha dan regenerasi musiman, serta larangan gangguan selektif pada batang besar (Kauffman et al., 2020).
2. Stasiun I – Pengelolaan Adaptif. Penataan akses, maintenance bibit alami, dan pengendalian gangguan ringan.
3. Pemantauan Spasial-Temporal berbasis Penginderaan Jauh. Seri waktu satelit/UAV untuk memantau trenutupan & struktur (NDVI/EVI/NDWI, tekstur), serta klasifikasi fenologi untuk membedakan mangrove vs non-mangrove (Mahmud et al., 2022; Maimaitijiang et al., 2020). Mitigasi awan/bayangan dengan metode penyaringan otomatis dan/atau pemanfaatan parameter topografi (Zhu & Helmer, 2018). Petakan hambatan pasang (tidal restrictions) untuk peluang restorasi karbon biru (Nuyts et al., 2024).
4. Kuantifikasi Tekanan & Hubungan Tekanan-Respons. Ukur TSS, salinitas, logam jejak pada air/sedimen, dan jarak ke sumber gangguan untuk memodelkan hubungan tekanan struktur/komposisi (Arnan et al., 2018).

Keterbatasan dan Agenda Riset Lanjutan

- 1) Data rekap per stasiun tanpa informasi luas plot membatasi normalisasi BA ke m²/ha dan komparabilitas lintas lokasi.
- 2) Tidak tersedia data per individu/plot, sehingga indeks keanekaragaman (Shannon-Wiener H' , Pielou J') belum dapat dihitung secara ketat; padahal indeks tersebut lazim untuk menilai evenness/dominansi (Wale & Yesuf, 2022; da Rosa et al., 2025).

- 3) Jumlah stasiun terbatas dan satu periode pengamatan (Februari 2025) menghambat inferensi statistik dan tren musiman.
- 4) Parameter tekanan (fisik-kimia) belum diukur sehingga kausalitas tekanan-respons masih bersifat inferensial.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan perbedaan struktur tegakan antarstasiun: Stasiun II memiliki kepadatan tertinggi pada pohon dan tiang, Stasiun I berada pada tingkat menengah dengan regenerasi semai relatif lebih tinggi, sedangkan Stasiun III terendah pada seluruh strata. Basal Area agregat pada pohon dan tiang berada pada kisaran serupa antarstasiun, menandakan keberadaan komponen tegakan dewasa yang tetap bermakna meski jumlah individu berbeda. Komposisi spesies konsisten di semua stasiun (*Avicennia marina*, *Rhizophora stylosa*, *R. mucronata*, *R. apiculata*, dan *Sonneratia alba*), mencerminkan gradien mikrohabitat yang masih berfungsi. Secara keseluruhan, indikator struktur (Σ pohon–tiang–semai dan BA agregat) serta komposisi jenis efektif sebagai bioindikator kondisi ekosistem pada lokasi studi; Stasiun II merefleksikan kondisi relatif lebih baik, Stasiun I menengah, dan Stasiun III lebih berisiko.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada warga Desa Lembar, Kabupaten Lombok Barat, atas dukungan, keramahan, dan pendampingan selama kegiatan penelitian. Bantuan dalam akses lokasi, informasi kondisi lapangan, serta partisipasi aktif masyarakat setempat sangat berarti bagi kelancaran pengambilan data dan pemahaman konteks ekologi pesisir di Lembar. Tanpa keterlibatan dan kepercayaan dari warga Desa Lembar, penelitian ini tidak akan terselesaikan dengan baik.

Referensi

Arceo-Carranza, D., Chiappa-Carrara, X., Chávez López, R., & Yáñez Arenas, C. (2021). Mangroves as Feeding and Breeding Grounds. In *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*

- (pp. 63–95). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2494-0_3
- Arnan, X., Leal, I. R., Tabarelli, M., Andrade, J. F., Barros, M. F., Câmara, T., Jamelli, D., Knoechelmann, C. M., Menezes, T. G. C., Menezes, A. G. S., Oliveira, F. M. P., de Paula, A. S., Pereira, S. C., Rito, K. F., Sfair, J. C., Siqueira, F. F. S., Souza, D. G., Specht, M. J., Vieira, L. A., ... Andersen, A. N. (2018). A framework for deriving measures of chronic anthropogenic disturbance: Surrogate, direct, single and multi-metric indices in Brazilian Caatinga. *Ecological Indicators*, 94, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.001>
- Ashraf, M., Muhammad, F., Hidayat, J. W., Yaseen, M., Ayyaz, M., Ahmed, W., Anwar, M. S., & Ahmed, K. (2023). Comparison of salinity tolerance between *Avicenna marina* and *Rhizophora mucronata* Karachi coast, Pakistan. *Journal of Bioresources and Environmental Sciences*, 2(3), 89–99. <https://doi.org/10.14710/jbes.2023.19306>
- Bakhtiyari, M., Lee, S. Y., & Warnken, J. (2019). Seeing the forest as well as the trees: An expert opinion approach to identifying holistic condition indicators for mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 222, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.003>
- Cahya Ningsih, A. P., Deanova, A. K., Priatiawati, C. M., Ulumuddin, Y. I., Kusumawati, L., & Setyawan, A. D. (2022). Review: Causes and impacts of anthropogenic activities on mangrove deforestation and degradation in Indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 12(1). <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w120102>
- Chowdhury, R., Sutradhar, T., Begam, M. M., Mukherjee, C., Chatterjee, K., Basak, S. K., & Ray, K. (2019). Effects of nutrient limitation, salinity increase, and associated stressors on mangrove forest cover, structure, and zonation across Indian Sundarbans. *Hydrobiologia*, 842(1), 191–217. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04036-9>
- da Rosa, G. B., Follmann, D. N., Lúcio, A. D., Jacques, R. J. S., Portela, V. O., & Marchioro, V. S. (2025). Evaluation of soil fauna diversity in maize crops using Shannon, Margalef, and Pielou indices. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 47(1). <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v47i1.69432>
- de Lacerda, L. D., Ward, R. D., Godoy, M. D. P., Meireles, A. J. de A., Borges, R., & Ferreira, A. C. (2021). 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of northeast brazil. In *Frontiers in Forests and Global Change* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
- Deng, J., Cullen, J. L. T., Xue, Y., Zhou, F., & Shi, B. (2023). Spatial-temporal analysis of coal fire risk identification and suppression assessment with satellite time series mapping 2013-2020 in Midong coalfield, Xinjiang, China. *International Journal of Remote Sensing*, 44(7), 2236–2272. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2197133>
- Fijanry Tammu, Irwanto Irwanto, & Yulianus D Komul. (2025). Vegetation Analysis of Beach Forest in Kamarian Village, Kairatu District, Western Seram Regency, Maluku. *International Journal of Applied and Advanced Multidisciplinary Research*, 3(5), 297–318. <https://doi.org/10.59890/ijaamr.v3i5.11>
- Gilby, B. L., Olds, A. D., Brown, C. J., Connolly, R. M., Henderson, C. J., Maxwell, P. S., & Schlacher, T. A. (2021). Applying systematic conservation planning to improve the allocation of restoration actions at multiple spatial scales. *Restoration Ecology*, 29(5). <https://doi.org/10.1111/rec.13403>
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*, 26(10), 5844–5855. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>
- Haseeba, K. P., Aboobacker, V. M., Vethamony, P., & Al-Khayat, J. A. (2025). Significance of *Avicennia Marina* in the Arabian Gulf Environment: A Review. *Wetlands*, 45(1).

- <https://doi.org/10.1007/s13157-025-01899-8>
- Hughes, A. R., Cebrian, J., Heck, K., Goff, J., Hanley, T. C., Scheffell, W., & Zerebecki, R. A. (2018). Effects of oil exposure, plant species composition, and plant genotypic diversity on salt marsh and mangrove assemblages. *Ecosphere*, 9(4). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2207>
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagnéyrol, B., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J. R., Koricheva, J., Meurisse, N., & Brockerhoff, E. G. (2017). Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. In *Current Forestry Reports* (Vol. 3, Issue 3, pp. 223–243). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1>
- Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. B., Schile-Beers, L. M., Bernardino, A. F., Bhomia, R. K., Donato, D. C., Feller, I. C., Ferreira, T. O., Jesus Garcia, M. del C., MacKenzie, R. A., Megonigal, J. P., Murdiyarso, D., Simpson, L., & Hernández Trejo, H. (2020). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monographs*, 90(2). <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>
- Kazemi, A., Castillo, L., & Curet, O. M. (2021). Mangrove roots model suggest an optimal porosity to prevent erosion. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88119-5>
- Lakshnarayan Kumar Bhagarathi, & Phillip N. B. DaSilva. (2024). Impacts and implications of anthropogenic activities on mangrove forests: A review. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 11(1), 040–059. <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.11.1.0074>
- Lindenmayer, D. B., & Laurance, W. F. (2017). The ecology, distribution, conservation and management of large old trees. *Biological Reviews*, 92(3), 1434–1458. <https://doi.org/10.1111/brv.12290>
- Mahmud, S., Redowan, M., Ahmed, R., Khan, A. A., & Rahman, M. M. (2022). Phenology-based classification of Sentinel-2 data to detect coastal mangroves. *Geocarto International*, 37(26), 14335–14354. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2087754>
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Daloye, A. M., Erkbol, H., & Fritschi, F. B. (2020). Crop monitoring using satellite/UAV data fusion and machine learning. *Remote Sensing*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/RS12091357>
- Maina, J. M., Bosire, J. O., Kairo, J. G., Bandeira, S. O., Mangora, M. M., Macamo, C., Ralison, H., & Majambo, G. (2021). Identifying global and local drivers of change in mangrove cover and the implications for management. *Global Ecology and Biogeography*, 30(10), 2057–2069. <https://doi.org/10.1111/geb.13368>
- Nurhidayah, L., Davies, P., Alam, S., Saintilan, N., & Triyanti, A. (2022). Responding to sea level rise: challenges and opportunities to govern coastal adaptation strategies in Indonesia. *Maritime Studies*, 21(3), 339–352. <https://doi.org/10.1007/s40152-022-00274-1>
- Nuyts, S., Wartman, M., Macreadie, P. I., & Costa, M. D. P. (2024). Mapping tidal restrictions to support blue carbon restoration. *Science of the Total Environment*, 949. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175085>
- Ozturk, M., Altay, V., Nazish, M., Ahmad, M., & Zafar, M. (2023). Halophyte Plant Diversity and Public Health. In *Halophyte Plant Diversity and Public Health*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21944-3>
- Sidik, F., Supriyanto, B., Krisnawati, H., & Muttaqin, M. Z. (2018). Mangrove conservation for climate change mitigation in Indonesia. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* (Vol. 9, Issue 5). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/wcc.529>
- Susilowati, A., Elfiati, D., Rachmat, H. H., Yulita, K. S., Hadi, A. N., Kusuma, Y. S., & Batu, S. A. L. (2020). Vegetation structure and floristic composition of tree species in the habitat of scaphium macropodum in Gunung Leuser National

- Park, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(7), 3025–3033. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210720>
- Torres, G. G., Figueroa-Galvis, I., Muñoz-García, A., Polanía, J., & Vanegas, J. (2019). Potential bacterial bioindicators of urban pollution in mangroves. *Environmental Pollution*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113293>
- Trialfhianty, T. I., Muharram, F. W., Suadi, Quinn, C. H., & Beger, M. (2022). Spatial multi-criteria analysis to capture socio-economic factors in mangrove conservation. *Marine Policy*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105094>
- Uddin, M. M., Abdul Aziz, A., & Lovelock, C. E. (2023). Importance of mangrove plantations for climate change mitigation in Bangladesh. *Global Change Biology*, 29(12), 3331–3346. <https://doi.org/10.1111/gcb.16674>
- Vu, A. D., Nguyen, K. V., Bui, B. Q., & Kamel, N. (2025). A Comprehensive Survey of Super-Resolution Remote Sensing Image Datasets: Evolution, Challenges, and Future Directions. In *IEEE Access*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3599535>
- Wale, M., & Yesuf, S. (2022). Abundance and diversity of soil arthropods in disturbed and undisturbed ecosystem in Western Amhara, Ethiopia. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(1), 767–781. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00600-w>
- Xu, M., Huang, X., Li, J., Qi, S., Zhang, Y., & Zhang, X. (2025). Assessing the ecological risk and its driving forces on Islands using the Pressure-State-Response model. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08963-7>
- Zhang, B., Zhang, L., Chen, B., Deng, L., Fu, B., Yan, M., & Ji, C. (2024). Assessment of mangrove health based on pressure–state–response framework in Guangxi Beibu Gulf, China. *Ecological Indicators*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112685>
- Zhang, T. Q., Zheng, Z. M., Lal, R., Lin, Z. Q., Sharpley, A. N., Shober, A. L., Smith, D., Tan, C. S., & Van Cappellen, P. (2018). Environmental Indicator Principium with Case References to Agricultural Soil, Water, and Air Quality and Model-Derived Indicators. *Journal of Environmental Quality*, 47(2), 191–202. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.10.0398>
- Zhu, X., & Helmer, E. H. (2018). An automatic method for screening clouds and cloud shadows in optical satellite image time series in cloudy regions. *Remote Sensing of Environment*, 214, 135–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.024>