

## Evaluasi Kesehatan Ekosistem Mangrove Menggunakan Indeks MHI (*Mangrove Health Indeks*) serta Identifikasi Spesies Dominan di Pesisir Tuban dan Lamongan

Luhur Moekti Prayogo<sup>1\*</sup>, Achmad Sudianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, <sup>2</sup>Program Studi Ilmu Perikanan

Universitas PGRI Ronggolawe Tuban

Jl Manunggal No. 61 Gedongombo Semanding Tuban 62381 Jawa Timur

\*E-mail Korespondensi : [luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id](mailto:luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i3.30475>

Submitted June 14<sup>th</sup> 2025, Accepted October 31<sup>st</sup> 2025, Published December 7<sup>th</sup> 2025

### Abstrak

Ekosistem mangrove memegang peran vital dalam perlindungan garis pantai, penyerapan karbon, serta penopang keanekaragaman hayati pesisir. Namun, berbagai tekanan seperti konversi lahan, abrasi, dan aktivitas manusia menyebabkan degradasi pada ekosistem ini. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kondisi kesehatan mangrove di Kabupaten Tuban dan Lamongan melalui pendekatan integratif berbasis *Mangrove Health Index* (MHI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari citra Sentinel-2A, dan data lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total luas mangrove kedua wilayah mencapai 178,88 hektar, dengan dominasi kerapatan sedang (56,47%) dan kerapatan tinggi (80,37%) yang menggambarkan kondisi vegetasi relatif sehat. Kabupaten Lamongan mencatat keanekaragaman spesies lebih tinggi (10 jenis) dibanding Tuban (7 jenis). Jenis yang ditemukan antara lain *Rhizophora mucronata*, *R. apiculata*, *R. stylosa*, *Avicennia marina*, *A. officinalis*, *A. alba*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Aegiceras corniculatum*, dan *Sonneratia alba*. Analisis NDVI menunjukkan korelasi positif terhadap MHI, dengan wilayah Lamongan bagian timur dan Tuban bagian tengah sebagai zona mangrove sehat. Temuan ini memperkuat relevansi penggunaan data penginderaan jauh dalam pemetaan ekosistem pesisir, namun tetap membutuhkan validasi lapangan untuk akurasi ekologis. Studi ini merekomendasikan integrasi pendekatan spasial dengan kebijakan rehabilitasi berbasis masyarakat guna memperkuat keberlanjutan pengelolaan mangrove.

**Kata Kunci:** mangrove, keanekaragaman spesies, NDVI, MHI, penginderaan jauh

### Abstract

Mangrove ecosystems play a vital role in protecting coastlines, sequestering carbon, and sustaining coastal biodiversity. However, various pressures such as land conversion, abrasion, and human activities are causing degradation in these ecosystems. This study aims to assess the health condition of mangroves in Tuban and Lamongan Regencies through an integrative approach based on Mangrove Health Index (MHI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Sentinel-2A images, and field data. The results of the study showed that the total area of mangroves in the two regions reached 178.88 hectares, with the dominance of medium density (56.47%) and high density (80.37%) which described relatively healthy vegetation conditions. Lamongan Regency recorded higher species diversity (10 types) than Tuban (7 types). The species found include *Rhizophora mucronata*, *R. apiculata*, *R. stylosa*, *Avicennia marina*, *A. officinalis*, *A. alba*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Aegiceras corniculatum*, and *Sonneratia alba*. NDVI analysis showed a positive correlation with MHI, with the eastern Lamongan area and central Tuban as healthy mangrove zones. These findings reinforce the relevance of the use of remote sensing data in coastal ecosystem mapping, but still require field validation for ecological accuracy. This study recommends the integration of spatial approaches with community-based rehabilitation policies to strengthen the sustainability of mangrove management.

**Key words:** mangroves, species diversity, NDVI, MHI, remote sensing

## PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir, baik dari aspek ekologis, ekonomi, maupun sosial (Maryani *et al.*, 2025; Zega *et al.*, 2024). Mangrove berfungsi sebagai pelindung alami dari abrasi pantai, penahan gelombang laut, serta penyerap karbon yang sangat efektif dalam mitigasi perubahan iklim (Mile *et al.*, 2025). Selain itu, hutan mangrove juga menjadi habitat penting bagi berbagai biota laut dan darat, serta penyangga produktivitas perikanan tradisional dan mata pencaharian masyarakat pesisir (Utomo *et al.*, 2024). Dalam konteks Indonesia sebagai negara kepulauan tropis, mangrove tidak hanya menjadi aset ekosistem, tetapi juga sumber daya strategis yang harus dijaga dan dikelola secara berkelanjutan.

Namun demikian, kondisi ekosistem mangrove di berbagai wilayah Indonesia menunjukkan gejala degradasi yang serius. Ekosistem mangrove di Indonesia mengalami degradasi serius akibat abrasi, penurunan tanah, alih fungsi lahan, pencemaran, hingga penebangan liar. Di Semarang, regenerasi terhambat (stasiun MA 4 tanpa semai) dan kerapatan di Indramayu hanya 380–1080 ind/ha (kategori rusak) wilayah (Pamungkas *et al.*, 2023). Di Alor, luas mangrove sangat kecil (9,16 km<sup>2</sup>/0,31% lahan), indeks keanekaragaman <3,2 menandakan kondisi tertekan, serta dominasi satu jenis mangrove wilayah (Koda, 2021). Data ini menunjukkan penurunan luas, regenerasi, dan kualitas ekologis mangrove di berbagai wilayah (Koda, 2021; Pamungkas *et al.*, 2023). Salah satu kawasan yang mengalami tekanan cukup tinggi adalah wilayah pesisir utara Jawa Timur, khususnya di Kabupaten Tuban dan Lamongan. Dua wilayah ini merupakan sentra kegiatan ekonomi pesisir yang padat, dengan intensitas konversi lahan mangrove menjadi tambak, lahan pertanian, permukiman, hingga kawasan industri yang terus meningkat dari tahun ke tahun (Rudianto *et al.*, 2022; Wardhani, 2020). Kondisi ini diperburuk oleh kurangnya pengelolaan berbasis data dan lemahnya implementasi kebijakan konservasi, sehingga upaya perlindungan dan rehabilitasi mangrove kerap tidak efektif atau bersifat sporadis.

Pentingnya menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove di wilayah ini tidak hanya menyangkut aspek lingkungan, tetapi juga menyentuh dimensi sosial-ekonomi masyarakat pesisir (Prayogi *et al.*, 2025). Dalam banyak kasus, kerusakan mangrove menyebabkan menurunnya hasil tangkapan nelayan, meningkatnya risiko banjir rob, dan memburuknya kualitas lingkungan hidup (Hidayah & Rachman, 2023). Oleh karena itu, pengelolaan mangrove yang berbasis data ilmiah dan berorientasi pada kesehatan ekosistem menjadi kebutuhan yang mendesak. Dalam konteks inilah, dibutuhkan suatu instrumen evaluasi yang mampu memberikan gambaran objektif dan menyeluruh mengenai kondisi hutan mangrove secara kuantitatif dan kualitatif.

Salah satu pendekatan ilmiah yang dapat digunakan untuk menilai kondisi kesehatan ekosistem mangrove secara holistik adalah Mangrove Health Index (MHI) (Dharmawan, 2021; M. K. Wardhani, 2023). MHI memiliki kelebihan dibandingkan metode penilaian lainnya karena bersifat integratif dan holistik, menggabungkan berbagai parameter biofisik (seperti kerapatan pohon, regenerasi alami, kondisi substrat) dan ekologis (keanekaragaman spesies, kualitas air, hingga keberadaan spesies indikator) sehingga mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang status kesehatan ekosistem mangrove, bukan hanya aspek tunggal seperti tutupan kanopi atau kerapatan vegetasi saja (Dharmawan, 2021). Indeks ini mengintegrasikan berbagai parameter biofisik dan ekologis untuk menghasilkan skor atau nilai yang mencerminkan status kesehatan suatu kawasan mangrove (Sugiana *et al.*, 2022). Parameter yang diukur dapat mencakup kepadatan pohon, tingkat regenerasi alami, keanekaragaman spesies, kondisi substrat tanah, kualitas air, dan keberadaan spesies indikator (Rahman *et al.*, 2025). Dengan menggunakan MHI, pengelola kawasan pesisir dapat melakukan penilaian secara periodik dan komparatif antar lokasi, serta menetapkan prioritas dalam program restorasi dan konservasi.

Di Indonesia, pendekatan MHI masih belum banyak diterapkan secara sistematis, apalagi dengan penyesuaian terhadap karakteristik lokal. Kebanyakan studi atau program rehabilitasi mangrove masih berfokus pada luasan area yang ditanam atau angka keberhasilan penanaman awal, tanpa melihat lebih jauh aspek keberlanjutan dan fungsionalitas ekosistem tersebut dalam jangka panjang. Selain itu, informasi tentang spesies mangrove dominan yang mampu bertahan di tengah tekanan antropogenik sangat diperlukan untuk merancang program rehabilitasi yang adaptif terhadap kondisi setempat (Putera *et al.*, 2025).

Wilayah pesisir Tuban dan Lamongan memiliki kekayaan spesies mangrove yang beragam, dengan arus yang tidak terlalu besar (Tezar *et al.*, 2023). Namun dalam beberapa tahun terakhir spesies mangrove wilayah tersebut mengalami penurunan baik dari segi jumlah spesies maupun kualitas vegetasi. Beberapa spesies dominan seperti *Rhizophora apiculata*, *Avicennia marina*, dan *Sonneratia alba* masih dapat ditemukan, tetapi dalam kondisi yang tidak seragam dan seringkali terfragmentasi (Dwiprananto, 2008; Joesidawati, 2017). Identifikasi spesies dominan dan hubungannya dengan nilai kesehatan ekosistem akan menjadi indikator penting dalam memahami dinamika ekologi mangrove di wilayah ini.

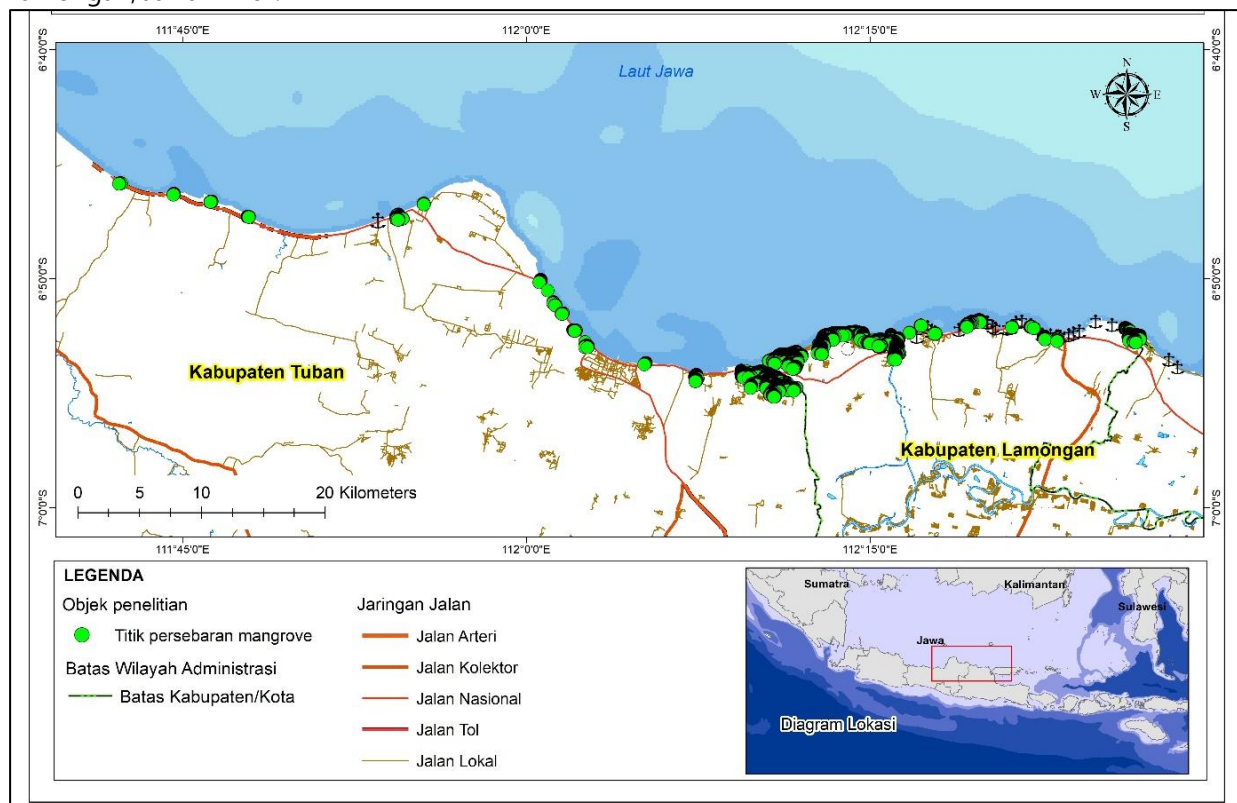
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur dan menggambarkan kondisi kesehatan ekosistem mangrove secara komprehensif melalui pendekatan Mangrove Health Index (MHI) serta mengidentifikasi spesies mangrove dominan di wilayah pesisir Kabupaten Tuban dan Lamongan, Jawa Timur, selama periode

Mei hingga Juli 2025. Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya memperoleh data ilmiah yang akurat terkait status kesehatan mangrove sebagai dasar dalam upaya konservasi, restorasi, dan pengelolaan berkelanjutan, mengingat ekosistem mangrove di kawasan tersebut berperan penting sebagai pelindung pantai, penyedia jasa ekosistem, serta penopang kehidupan sosial-ekonomi masyarakat pesisir namun menghadapi ancaman degradasi akibat tekanan antropogenik dan alami.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan Pemilihan Sampel

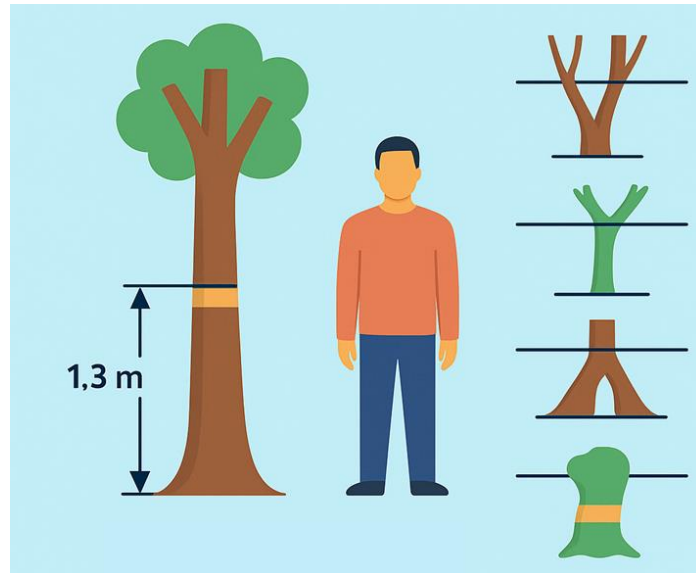
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan kombinasi metode survei lapangan dan analisis geospasial. Lokasi penelitian ditetapkan secara purposif pada kawasan pesisir yang memiliki tutupan mangrove aktif di Tuban dan Lamongan. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan keberadaan vegetasi mangrove, baik yang tumbuh secara alami maupun hasil dari program rehabilitasi. Pemilihan lokasi juga mempertimbangkan kemudahan akses untuk kegiatan survei lapangan. Lokasi penelitian mencakup area dengan berbagai tingkat tekanan antropogenik, seperti konversi lahan mangrove menjadi tambak atau permukiman. Gambar 1 menunjukkan Peta Lokasi Penelitian Mangrove di Kabupaten Tuban dan Lamongan, Jawa Timur.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian di Wilayah Kabupaten Tuban dan Lamongan

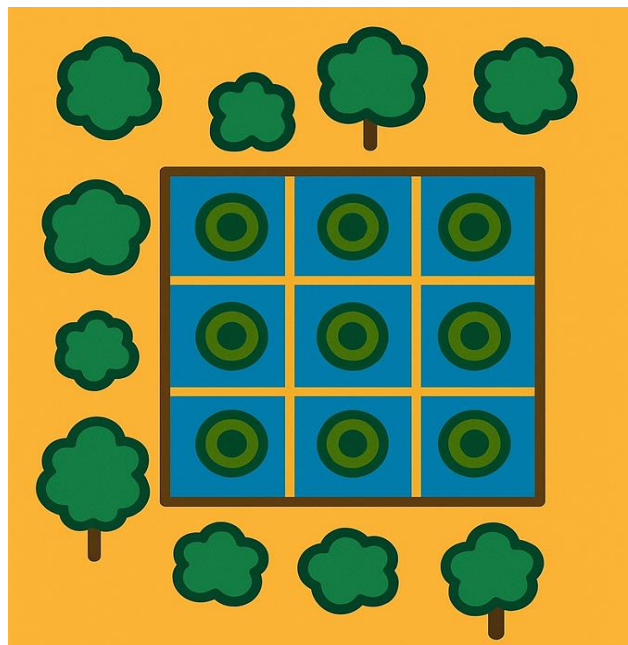
### Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilaksanakan melalui tiga pendekatan utama yang saling melengkapi guna memperoleh informasi komprehensif mengenai kondisi kesehatan ekosistem mangrove di wilayah pesisir Tuban dan Lamongan. Pendekatan pertama adalah survei vegetasi mangrove yang bertujuan untuk mengidentifikasi spesies yang mendominasi di setiap lokasi pengamatan serta mengukur berbagai parameter struktural vegetasi. Dalam kegiatan ini, dilakukan pencatatan jenis spesies pada setiap plot pengamatan, pengukuran diameter batang pada tinggi dada (DBH) (Gambar 2), serta tinggi total pohon dan tinggi bebas cabang. Selain itu, dicatat pula kerapatan pohon dewasa dan anakan guna mengevaluasi struktur populasi dan regenerasi (Dharmawan, 2021; Sugiana *et al.*, 2022).



**Gambar 2.** Ilustrasi Pengambilan Diameter Batang Mangrove Berbagai Bentuk Pohon  
Sumber: Penulis

Kemudian untuk mengukur tutupan kanopi, digunakan kamera handphone bagian depan yang diarahkan tegak lurus ke atas, dengan titik pengambilan foto di antara pepohonan dan menghindari sorotan langsung matahari serta pengambilan berganda. Foto-foto ini kemudian dianalisis menggunakan metode *Hemispherical Photography* dengan memisahkan warna pixel langit (putih) dan vegetasi (hitam) dalam citra biner. Persentase tutupan kanopi dihitung berdasarkan proporsi pixel vegetasi, dan dikategorikan sesuai standar (Kementerian Lingkungan Hidup dalam Peraturan Menteri No. 201 Tahun 2004 (2004) menjadi jarang (<50%), sedang (50–<75%), dan padat (>75%). Gambar 3 menunjukkan ilustrasi Pengambilan foto metode *Hemispherical Photography*.



**Gambar 3.** Ilustrasi pengambilan foto metode *Hemispherical Photography*  
Sumber: Penulis

Pendekatan kedua melibatkan pengukuran parameter ekologis sebagai pendukung utama dalam penilaian indeks kesehatan mangrove. Parameter yang dikumpulkan meliputi pH tanah, salinitas, jenis

substrat tanah (liat, lumpur, atau pasir), serta tingkat regenerasi alami yang dihitung berdasarkan jumlah semai dan sapihan per meter persegi (Akamaking *et al.*, 2022). Parameter-parameter ini mencerminkan kualitas habitat dan tingkat keberlanjutan ekosistem mangrove dalam konteks biofisik (Prasetyo *et al.*, 2023).

Selanjutnya, pendekatan ketiga menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) untuk memperoleh data spasial yang dapat menggambarkan kondisi dan dinamika tutupan mangrove secara makro (Hidayah *et al.*, 2025). Citra satelit Sentinel-2a digunakan untuk menghitung nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yang memberikan indikasi tutupan vegetasi dan tingkat kehijauan (Aryal *et al.*, 2022). Hasilnya diintegrasikan dengan data lapangan menggunakan perangkat lunak QGIS dan ArcGIS untuk menghasilkan peta distribusi yang akurat (Beselly *et al.*, 2021; Gundlach *et al.*, 2022; Sunkur *et al.*, 2024).

## Analisis Data

Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif dan spasial. Pertama, perhitungan nilai MHI dilakukan dengan menjumlahkan skor dari berbagai parameter kunci yang mencerminkan kondisi ekologis mangrove, yaitu keanekaragaman spesies, kepadatan pohon, kualitas substrat tanah dan air. Nilai NDVI dari hasil penginderaan jauh diberi bobot dan klasifikasi skor berdasarkan kondisi yang diamati (Tinggi, Sedang dan Rendah) (Kementerian Lingkungan Hidup dalam Peraturan Menteri No. 201 Tahun 2004). Analisis berikutnya dilakukan untuk menentukan spesies mangrove dominan di setiap lokasi pengamatan (Lelewa *et al.*, 2023).

Selain itu, dilakukan analisis spasial menggunakan perangkat lunak SIG untuk menghasilkan visualisasi berupa peta distribusi mangrove di wilayah studi. Peta ini memberikan gambaran spasial mengenai kondisi kesehatan dan luasan mangrove secara keseluruhan. Persamaan umum *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Untuk citra Sentinel-2A, band yang digunakan adalah:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

- NIR (Near Infrared) = Band 8 (B8, resolusi 10 m, panjang gelombang ~842 nm)
- Merah (Red) = Band 4 (B4, resolusi 10 m, panjang gelombang ~665 nm)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Deskripsi Umum Wilayah Studi

Wilayah pesisir Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan merupakan bagian dari pesisir utara Jawa Timur yang memiliki ekosistem mangrove cukup signifikan dalam mendukung keseimbangan lingkungan dan perekonomian masyarakat pesisir. Secara geografis, wilayah ini berada pada koordinat 6°50' - 7°10' Lintang Selatan dan 111°30' - 112°30' Bujur Timur. Ekosistem mangrove di kawasan ini tersebar di beberapa titik sepanjang pesisir, dengan tingkat kepadatan dan keragaman jenis yang bervariasi. Data penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini meliputi citra satelit Sentinel-2a yang diproses untuk memperoleh informasi spasial terkait tutupan mangrove. Analisis dilakukan pada citra dengan tingkat awan rendah dan resolusi spasial optimal untuk identifikasi vegetasi. Selain itu, data pengamatan lapangan diperoleh dari survei yang dilakukan pada bulan Mei hingga Juli 2025 dengan metode purposive sampling di titik-titik yang merepresentasikan kondisi mangrove yang beragam. Gambar 4 menunjukkan sampel lokasi penelitian di Kabupaten Tuban dan Lamongan.



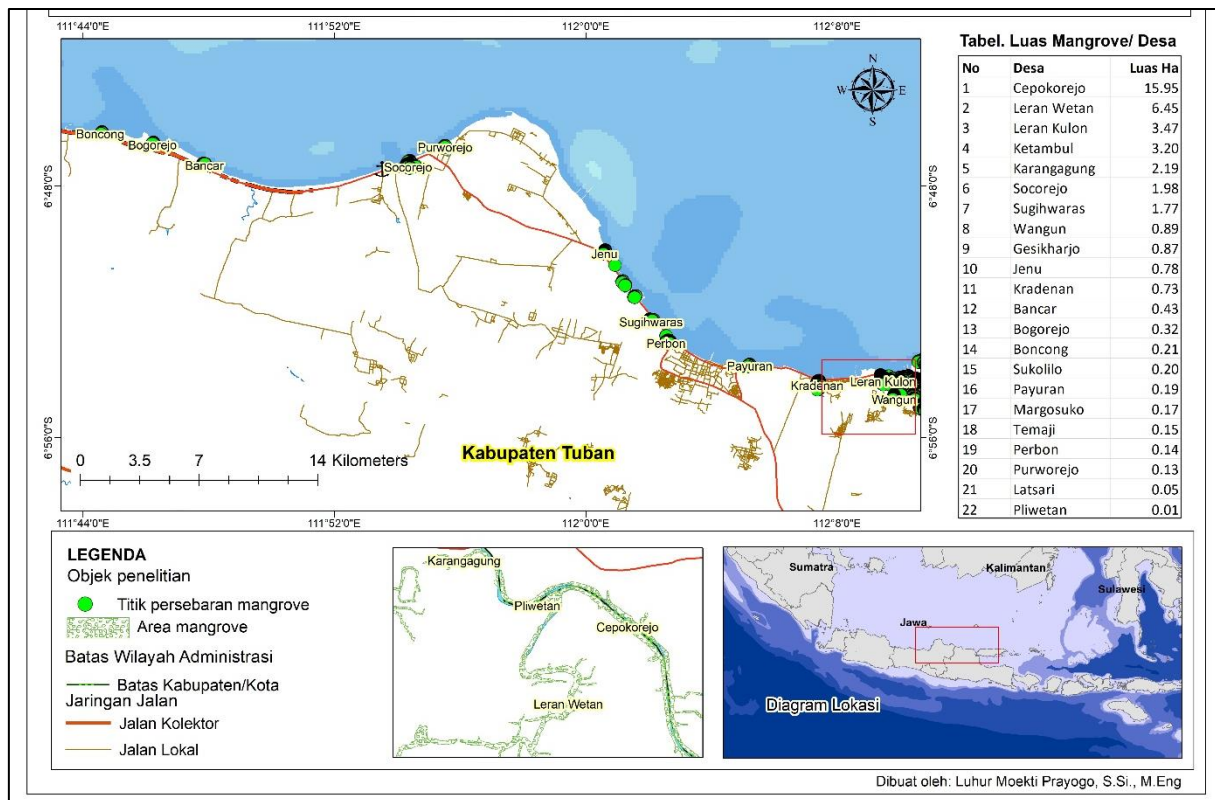
**Gambar 4.** Lokasi penelitian di Kabupaten Tuban dan Lamongan

Pengukuran dua parameter lingkungan dalam penelitian ini adalah pH dan salinitas. Hasil pengukuran pH di kawasan mangrove pesisir Kabupaten Tuban dan Lamongan menunjukkan kisaran nilai antara 7 hingga 7,5. Nilai ini secara ekologis masih berada dalam ambang toleransi optimal bagi pertumbuhan vegetasi mangrove, terutama spesies dominan seperti *Rhizophora* dan *Avicennia* (Kareninsekar & Insafitri, 2020). pH yang stabil juga mencerminkan fungsi sistem akar mangrove yang baik dalam menyaring serta menetralkan bahan organik dan anorganik dari daratan maupun laut. Selain itu adanya keseimbangan antara input air tawar dan intrusi air laut. Sementara itu, tingkat salinitas tercatat berada pada kisaran 27 hingga 30 ppt (*parts per thousand*) dikedua wilayah, yang mencerminkan kondisi lingkungan estuari yang mendukung pertumbuhan berbagai spesies mangrove (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004). Di beberapa titik yang lebih dekat dengan muara sungai, nilai salinitas cenderung lebih rendah, mengindikasikan pengaruh signifikan dari aliran air tawar. Sebaliknya, di lokasi yang lebih terbuka ke laut, salinitas lebih tinggi mendominasi. Parameter lingkungan ini penting untuk memahami distribusi dan kesehatan vegetasi mangrove secara keseluruhan.

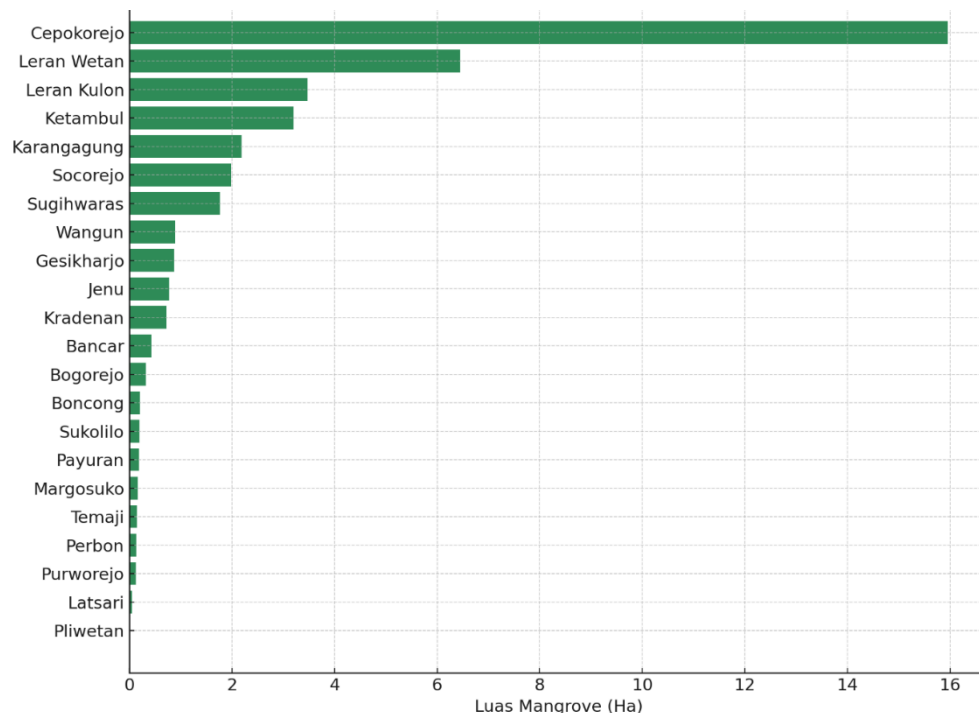
#### **Distribusi dan Komposisi Vegetasi Mangrove Kabupaten Tuban**

Peta sebaran mangrove di Kabupaten Tuban (Gambar 5) menunjukkan distribusi spasial kawasan mangrove di wilayah pesisir yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Hasil klasifikasi citra menunjukkan bahwa tutupan mangrove tersebar secara tidak merata di sepanjang pesisir. Sebagian besar persebaran mangrove terletak di bagian barat hingga tengah wilayah pesisir, mencakup beberapa desa seperti Cepokorejo, Leran Wetan, hingga Sugihwaras. Titik-titik sebaran yang ditandai dengan lingkaran hijau menunjukkan lokasi keberadaan mangrove.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 di bawah, Desa Cepokorejo memiliki kawasan mangrove terluas yaitu sebesar 15,95 hektar, jauh melampaui desa-desa lainnya. Diikuti oleh Leran Wetan (6,45 ha), Leran Kulon (3,47 ha), dan Ketambul (3,20 ha). Empat desa ini mendominasi hampir separuh dari total luasan mangrove yang tercatat dalam tabel. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kawasan barat laut Kabupaten Lamongan menjadi pusat utama vegetasi mangrove di wilayah tersebut. Sebaliknya, beberapa desa hanya memiliki luasan mangrove yang sangat kecil, bahkan di bawah 0,2 hektar, seperti Pliwetan, Latsari, dan Purworejo. Desa-desa ini kemungkinan berada di wilayah pesisir yang sudah terdampak urbanisasi atau konversi lahan yang intensif, atau secara geografis kurang mendukung pertumbuhan mangrove karena faktor abrasi, sedimentasi, atau tekanan antropogenik lainnya.



**Gambar 5.** Peta Lokasi Sebaran Mangrove di Kabupaten Tuban



**Gambar 6.** Grafik distribusi luasan Mangrove Kabupaten Tuban

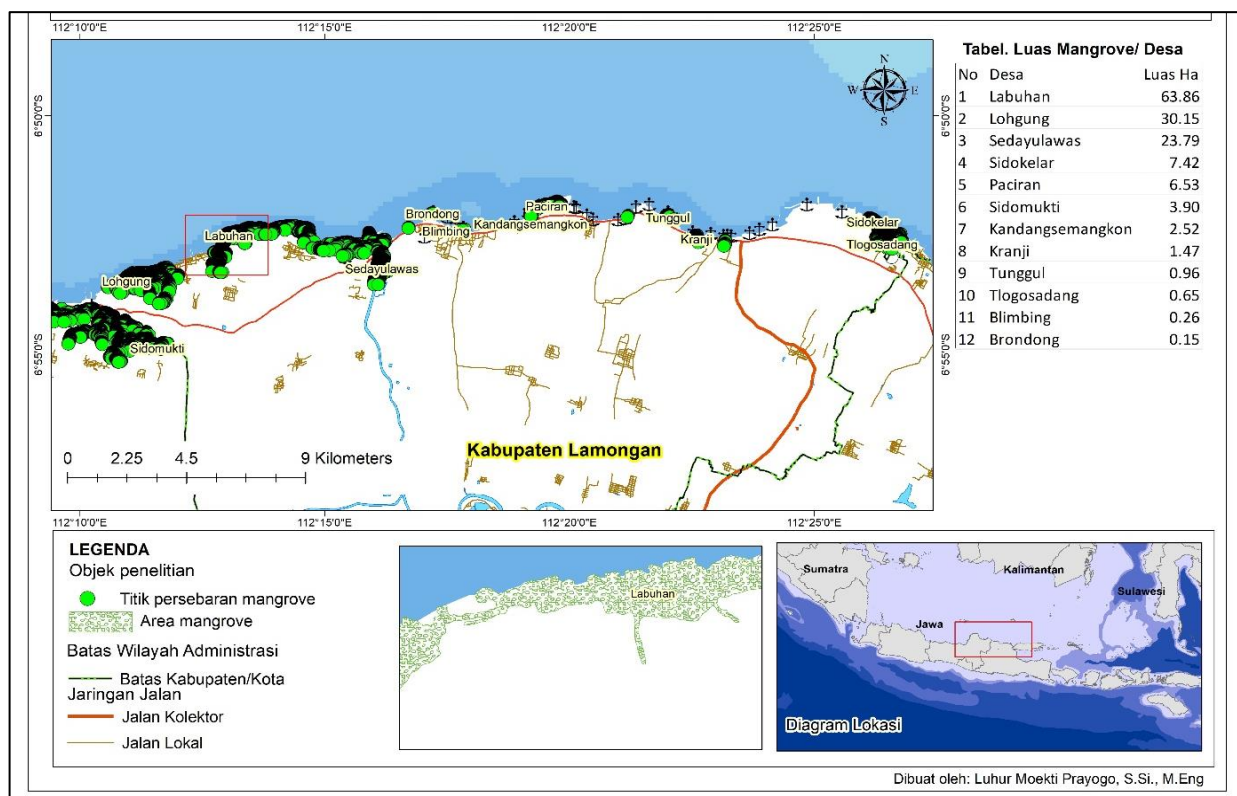
Secara grafis, bar chart memperkuat gambaran ketimpangan distribusi luasan mangrove antar desa. Grafik menunjukkan bahwa hanya segelintir desa yang memiliki luasan signifikan, sedangkan mayoritas desa lainnya berada pada kisaran luasan yang sangat kecil. Hal ini menegaskan pentingnya fokus konservasi pada desa-desa dengan luasan besar, sekaligus upaya rehabilitasi di desa-desa dengan tutupan mangrove minimal. Peta juga menunjukkan bahwa banyak kawasan mangrove yang berada dekat jalur kolektor dan

jalan lokal, mengindikasikan kemungkinan adanya aksesibilitas yang cukup baik ke lokasi-lokasi tersebut. Akses yang baik ini dapat mempermudah upaya konservasi dan monitoring, tetapi di sisi lain juga membuka potensi tekanan dari aktivitas masyarakat seperti tambak, pemukiman, dan industri. Dalam konteks penelitian dan pengelolaan, desa-desa seperti Cepokorejo dan Leran Wetan dapat dijadikan lokasi prioritas untuk studi ekologi mangrove. Sementara itu, desa dengan luasan kecil dapat dijadikan target rehabilitasi mangrove, termasuk kegiatan penanaman kembali (replanting) dan penguatan peran masyarakat dalam menjaga lingkungan pesisir.

### Distribusi dan Komposisi Vegetasi Mangrove Kabupaten Lamongan

Peta Sebaran Mangrove di Kabupaten Lamongan menyajikan informasi spasial tentang distribusi dan luasan kawasan mangrove di sepanjang pesisir utara Lamongan, Jawa Timur (Gambar 7). Berdasarkan visualisasi, persebaran mangrove tersebar dari barat ke timur kabupaten, dengan kepadatan tinggi di beberapa desa pesisir. Peta dilengkapi dengan titik-titik hijau yang merepresentasikan lokasi mangrove, serta area berwarna hijau tua yang menunjukkan kawasan mangrove secara keseluruhan. Titik-titik tersebut berada di sepanjang garis pantai dan cenderung mengikuti alur muara sungai atau dataran intertidal, yang secara ekologis sesuai sebagai habitat mangrove.

Dari data tabular di sisi kanan peta, dapat dilihat bahwa Desa Labuhan merupakan wilayah dengan kawasan mangrove terluas, mencapai 63,86 hektar. Angka ini sangat menonjol jika dibandingkan dengan desa-desa lain, mencerminkan bahwa Labuhan memiliki kombinasi faktor fisik, ekologis yang mendukung keberlanjutan ekosistem mangrove. Desa Lohgung (30,15 ha) dan Sedayulawas (23,79 ha) menyusul sebagai desa dengan luasan mangrove yang juga signifikan. Ketiga desa ini berkontribusi besar terhadap keberadaan mangrove di Kabupaten Lamongan, dan sangat potensial dijadikan fokus konservasi maupun pemanfaatan berkelanjutan.

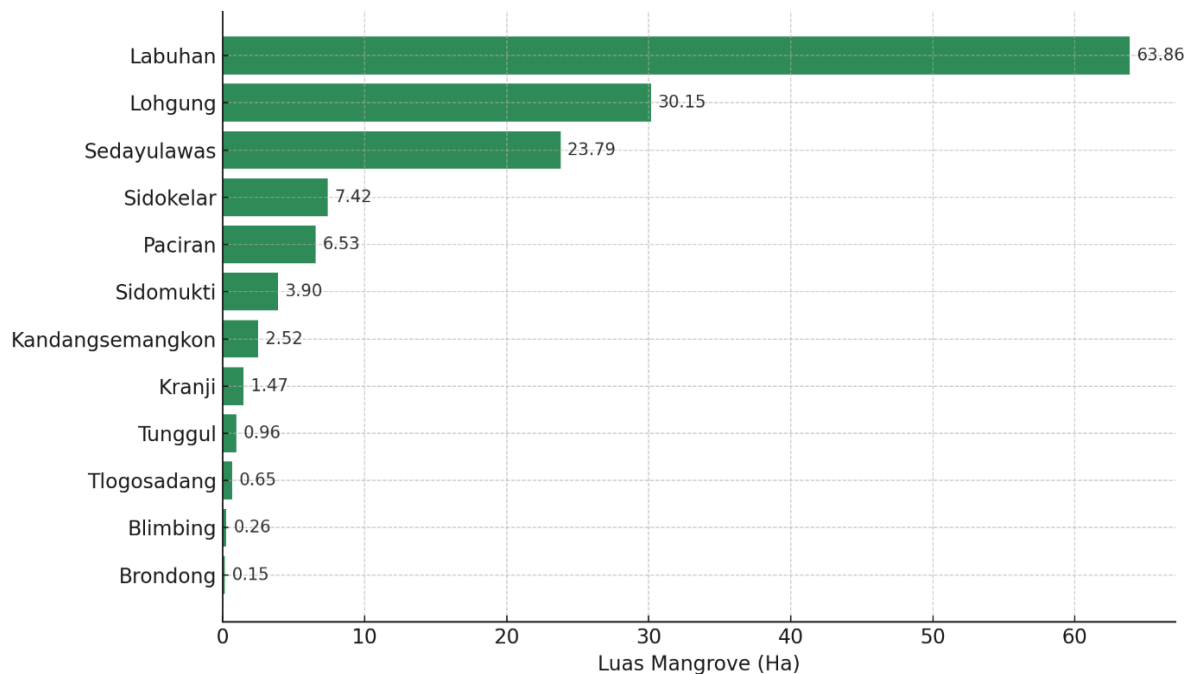


**Gambar 7.** Peta Lokasi Sebaran Mangrove di Kabupaten Lamongan

Sebaliknya, terdapat beberapa desa yang memiliki luasan mangrove sangat kecil, seperti Brondong (0,15 ha), Blimbing (0,26 ha), dan Tlogosadang (0,65 ha). Hal ini mengindikasikan bahwa kawasan pesisir di desa-desa tersebut telah mengalami konversi lahan dan degradasi ekologis. Desa-desa dengan luasan kecil ini perlu mendapatkan perhatian khusus dalam program rehabilitasi, guna meningkatkan fungsi ekosistem

dan perlindungan garis pantai dari abrasi serta intrusi air laut. Secara spasial, peta juga memperlihatkan adanya jaringan jalan lokal dan kolektor yang melintasi atau mendekati beberapa wilayah mangrove. Aksesibilitas ini dapat menjadi keuntungan dalam hal pemantauan, pendidikan, dan pengembangan ekowisata, tetapi juga berisiko menimbulkan tekanan antropogenik, terutama konversi lahan untuk tambak atau pemukiman. Oleh karena itu, pengelolaan berbasis zonasi sangat penting untuk membedakan antara area konservasi ketat dan area pemanfaatan terbatas.

Dari grafik di bawah (Gambar 8) terlihat jelas ketimpangan distribusi luasan mangrove antar desa. Hanya tiga desa teratas (Labuhan, Lohgung, dan Sedayulawas) yang memiliki lebih dari 20 ha mangrove, sementara sembilan desa lainnya jauh di bawah angka tersebut. Dari perspektif perencanaan wilayah, informasi spasial ini penting untuk mendukung kebijakan tata ruang, terutama dalam konteks perubahan iklim dan mitigasi bencana pesisir. Desa Labuhan, misalnya, dapat dikembangkan sebagai kawasan konservasi utama, dengan program pelestarian berbasis masyarakat. Sementara desa-desa dengan luasan kecil dapat dijadikan prioritas dalam program rehabilitasi mangrove, melalui pendekatan agroforestri pesisir atau restorasi berbasis biofisik. Dengan demikian, informasi sebaran mangrove ini tidak hanya memberikan gambaran ekologis wilayah pesisir Lamongan, tetapi juga menyimpan potensi besar untuk mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan yang berbasis pada kekayaan ekosistem lokal.



**Gambar 8.** Grafik distribusi luasan Mangrove Kabupaten Lamongan

### Analisis MHI Data Lapangan

Parameter utama yang digunakan dalam penentuan MHI adalah kerapatan tajuk (*canopy cover*), jumlah individu pohon per satuan luas, serta keberadaan anakan dan kondisi daun. Hasil Perhitungan MHI ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan MHI

| Kategori Kerapatan | Tuban (Ha)   | Lamongan (Ha) | Total (Ha)    | MHI (%) |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------|
| Rendah             | 10.49        | 44.23         | 54.72         | 21.33   |
| Sedang             | 17.89        | 56.90         | 74.79         | 56.47   |
| Tinggi             | 11.45        | 37.92         | 49.37         | 80.37   |
| <b>Total</b>       | <b>39.83</b> | <b>139.05</b> | <b>178.88</b> | -       |

Berdasarkan data pada Tabel 1 mengenai hasil perhitungan MHI di wilayah pesisir Kabupaten Tuban dan Lamongan, diketahui bahwa total luas kawasan mangrove yang diamati mencapai 178,88 hektar,

dengan distribusi luas sebesar 39,83 hektar di Kabupaten Tuban dan 139,05 hektar di Kabupaten Lamongan. Dalam hal kategori kerapatan, mangrove dengan kerapatan sedang memiliki sebaran paling luas, yaitu sebesar 74,79 hektar, terdiri dari 17,89 hektar di Kabupaten Tuban dan 56,90 hektar di Kabupaten Lamongan. Kategori ini juga memiliki indeks kesehatan mangrove (MHI) tertinggi kedua sebesar 56,47%.

Selanjutnya, kategori kerapatan tinggi menunjukkan luas keseluruhan sebesar 49,37 hektar, terdiri dari 11,45 hektar di Tuban dan 37,92 hektar di Lamongan, dengan nilai MHI tertinggi mencapai 80,37%, yang menunjukkan bahwa kawasan ini berada dalam kondisi mangrove yang paling sehat di antara tiga kategori kerapatan. Sebaliknya, kategori kerapatan rendah yang mencakup luas sebesar 54,72 hektar (10,49 hektar di Kabupaten Tuban dan 44,23 hektar di Kabupaten Lamongan), memiliki nilai MHI terendah yaitu 21,33%, yang mengindikasikan kondisi mangrove yang relatif kurang sehat.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa secara umum, tingkat kerapatan vegetasi mangrove berkorelasi positif dengan indeks kesehatan mangrove. Semakin tinggi tingkat kerapatan, semakin tinggi pula nilai MHI yang dihasilkan. Hal ini menegaskan pentingnya upaya konservasi dan rehabilitasi terutama pada area dengan kerapatan rendah, guna meningkatkan kualitas ekosistem mangrove secara menyeluruh di wilayah pesisir Tuban dan Lamongan.

**Tabel 2.** Jenis Magrove yang ditemukan di Kabupaten Lamongan dan Tuban

| Kabupaten | Jenis Mangrove yang Tercatat                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lamongan  | <i>Avicennia marina</i> , <i>A. alba</i> , <i>A. officinalis</i> , <i>Aegiceras corniculatum</i> , <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> , <i>Ceriops tagal</i> , <i>Rhizophora apiculata</i> , <i>R. mucronata</i> , <i>R. stylosa</i> , <i>Sonneratia alba</i> |
| Tuban     | <i>Avicennia marina</i> , <i>A. officinalis</i> , <i>R. mucronata</i> , <i>R. stylosa</i> , <i>R. apiculata</i> , <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> , <i>Ceriops tagal</i>                                                                                   |

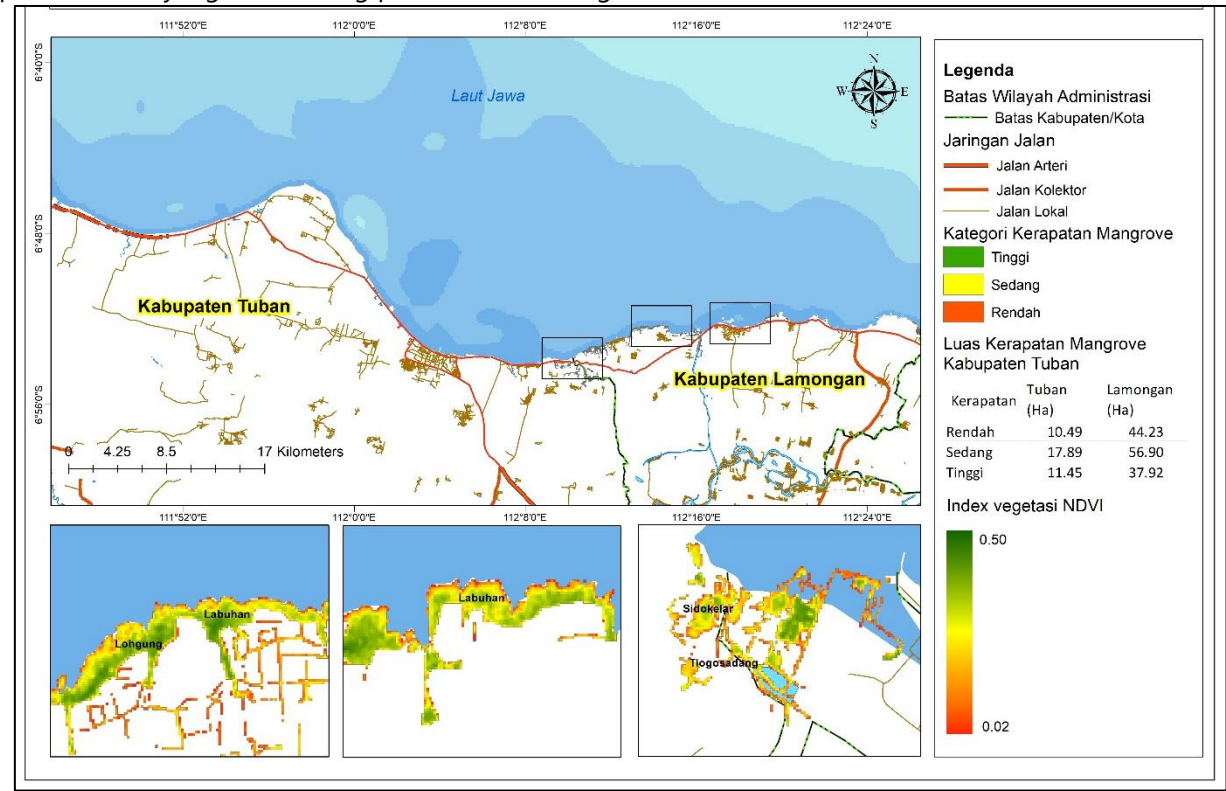
Dalam kajian keanekaragaman hayati pesisir, Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Tuban di Provinsi Jawa Timur menunjukkan komposisi jenis mangrove yang cukup beragam, meskipun dengan jumlah yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Di Kabupaten Lamongan tercatat sebanyak 10 jenis mangrove, terdiri dari *Avicennia marina*, *A. alba*, *A. officinalis*, *Aegiceras corniculatum*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa* dan *Sonneratia alba*. Sementara itu, di Kabupaten Tuban teridentifikasi 7 jenis mangrove, yaitu *Avicennia marina*, *A. officinalis*, *Rhizophora mucronata*, *R. stylosa*, *R. apiculata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, dan *Ceriops tagal*. Dari data ini terlihat bahwa Lamongan memiliki keanekaragaman jenis mangrove yang lebih tinggi dibandingkan Tuban. Hal ini dapat mencerminkan kondisi ekologis yang lebih beragam atau perlakuan konservasi yang lebih baik di wilayah pesisir Lamongan. Namun, kedua kabupaten sama-sama memiliki jenis-jenis utama dari famili *Rhizophora* dan *Avicennia* yang berperan penting dalam menjaga stabilitas ekosistem pesisir.

### Analisis NDVI Citra Sentinel-2a

Berdasarkan hasil pengolahan citra Sentinel-2A tahun 2025 menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) memberikan gambaran distribusi spasial serta tingkat kerapatan vegetasi mangrove di sepanjang pesisir utara Jawa Timur, khususnya di wilayah administratif Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Peta pada Gambar 9 menampilkan persebaran mangrove di sepanjang garis pantai kedua kabupaten, dengan wilayah mangrove diklasifikasikan menjadi tiga kategori kerapatan berdasarkan nilai NDVI: tinggi (hijau tua), sedang (hijau muda-kuning), dan rendah (orange-merah). Kategori ini mengindikasikan kondisi kesehatan vegetasi mangrove, di mana NDVI tinggi menunjukkan kanopi vegetasi yang lebat dan sehat, sedangkan NDVI rendah mengindikasikan mangrove yang jarang, terdegradasi, atau baru direhabilitasi. Pada peta, wilayah dengan kerapatan tinggi mendominasi sebagian area pesisir Lamongan bagian timur dan beberapa lokasi di pesisir Tuban bagian tengah. Ini menunjukkan bahwa wilayah-wilayah tersebut memiliki kawasan mangrove yang cukup baik dan relatif terjaga.

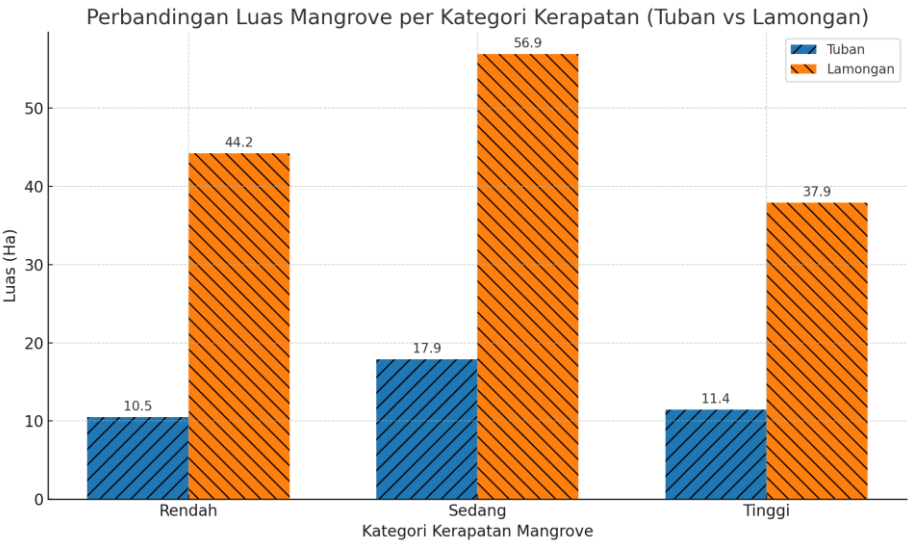
Gambar inset pada bagian bawah peta memperbesar wilayah-wilayah kunci, seperti Desa Lohgung, Labuhan, Sidokelar, dan Tlogoretno. Inset ini sangat membantu dalam mengidentifikasi distribusi dan kondisi mangrove pada tingkat lokal. Contohnya, Desa Labuhan tampak memiliki kawasan mangrove

dengan dominasi NDVI tinggi hingga sedang, yang memperlihatkan keberhasilan upaya konservasi atau potensi alami yang mendukung pertumbuhan mangrove.



Gambar 9. Peta sebaran mangrove di Kabupaten Tuban dan Lamongan

Dalam konteks pengelolaan wilayah pesisir, peta ini menjadi alat yang sangat strategis. Daerah dengan kerapatan mangrove rendah seperti bagian tengah pesisir Tuban dan Lamongan dapat dijadikan prioritas dalam program rehabilitasi atau restorasi ekosistem. Sementara itu, wilayah dengan kerapatan tinggi perlu dijaga dari alih fungsi lahan agar ekosistem mangrove tetap dapat memberikan jasa lingkungan seperti perlindungan pantai, penyerapan karbon, dan penopang keanekaragaman hayati. Untuk memperjelas perbandingan antara dua kabupaten, berikut grafik batang yang menggambarkan luas tiap kategori kerapatan mangrove:



Gambar 10. Grafik luas tiap kategori kerapatan mangrove di Kabupaten Tuban dan Lamongan

Grafik diatas menunjukkan bahwa Kabupaten Lamongan memiliki distribusi kerapatan mangrove yang lebih luas di semua kategori, terutama pada kategori sedang, yang mendominasi luasan vegetasi. Hal ini dapat dijadikan dasar argumentasi bahwa Kabupaten Lamongan memiliki peluang lebih besar untuk mengembangkan ekowisata mangrove dan menjadi pusat konservasi regional jika dikelola dengan baik. Secara keseluruhan, informasi yang diperoleh sangat bermanfaat sebagai dasar pengambilan keputusan dalam konservasi mangrove, pengelolaan wilayah pesisir, hingga mitigasi perubahan iklim melalui pelestarian vegetasi pantai. Penguatan data lapangan dan pemantauan berkala akan memperkuat validitas hasil pemetaan serta mendukung kebijakan berbasis bukti.

## Pembahasan

Hasil studi ini menunjukkan adanya keterkaitan yang erat antara kerapatan mangrove, nilai NDVI, dan indeks kesehatan mangrove. Data menunjukkan bahwa kawasan dengan kategori kerapatan tinggi memiliki nilai MHI yang juga tinggi, yaitu sebesar 80,37%, sedangkan kawasan dengan kerapatan rendah hanya mencapai 21,33%. Temuan ini sejalan dengan penelitian Fakhurrozi *et al.* (2023) yang menekankan bahwa parameter canopy cover dan density merupakan indikator utama dalam penentuan MHI. Penggunaan NDVI sebagai proksi kerapatan vegetasi juga terbukti valid, sejalan dengan literatur global yang mencatat bahwa NDVI adalah indeks paling umum digunakan dalam pemantauan kesehatan mangrove. Dalam konteks ini, hasil NDVI yang tinggi menjadi representasi dari kondisi vegetatif yang sehat, memperkuat temuan lapangan berdasarkan MHI dan memberikan validasi ganda antara pendekatan *remote sensing* dan observasi langsung.

Lebih lanjut, perbandingan spasial antara wilayah Kabupaten Tuban dan Lamongan menunjukkan perbedaan signifikan, di mana Lamongan memiliki tutupan mangrove yang lebih luas dan keanekaragaman jenis yang lebih tinggi. Studi Sulaiman (2023) mendukung hasil ini dengan menunjukkan bahwa ekosistem mangrove yang baik menyimpan cadangan karbon lebih besar dan menunjukkan kondisi kesehatan yang lebih baik. Di sisi lain, beberapa desa di Kabupaten Tuban dan Lamongan menunjukkan kondisi mangrove yang terdegradasi atau bahkan sangat kecil tutupannya. Kemungkinan penyebabnya antara lain urbanisasi, alih fungsi lahan menjadi tambak, dan abrasi. Studi Hidayah *et al.* (2024); Tran *et al.* (2022) mencatat bahwa pembangunan infrastruktur dan aktivitas ekonomi yang tidak terkendali dapat menurunkan indeks kesehatan ekosistem mangrove. Dalam hal ini, intervensi berbasis masyarakat menjadi kunci untuk memulihkan dan mempertahankan kondisi mangrove. Konservasi berbasis komunitas terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Metodologi kombinasi antara citra satelit Sentinel-2A dan pengamatan langsung di lapangan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pendekatan yang selaras dengan monitoring mangrove saat ini. Hal ini memperlihatkan adanya integrasi yang kuat antara data spasial dan data ekologis, memungkinkan analisis yang lebih holistik dan akurat. Meskipun NDVI terbukti efektif dalam mengidentifikasi kondisi vegetatif, penggunaan indeks tambahan seperti SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) dapat juga diaplikasikan.

Berdasarkan hasil analisis terdapat sejumlah rekomendasi kebijakan yang dapat diusulkan. Pertama, perlu diprioritaskan upaya rehabilitasi mangrove di wilayah dengan kategori kerapatan rendah, dengan mengacu pada pendekatan spasial dan sistem pendukung keputusan. Kedua, desa-desa yang memiliki keragaman jenis tinggi dan kondisi tutupan lebat, seperti Labuhan dan Cepokorejo, sebaiknya diarahkan sebagai kawasan konservasi dengan perlindungan regulatif. Ketiga, pelibatan aktif masyarakat lokal sangat penting dalam strategi pengelolaan mangrove, sebagaimana ditunjukkan dalam studi Galvanis *et al.* (2024); Lamidi *et al.* (2024). Terakhir, pemantauan berkala menggunakan multi-indeks berbasis citra satelit perlu dilakukan untuk mendeteksi perubahan spasial dan temporal secara lebih presisi. Dengan demikian, temuan studi ini tidak hanya memberikan gambaran aktual mengenai kondisi mangrove di pesisir Tuban dan Lamongan, tetapi juga menawarkan kerangka ilmiah dan kebijakan berbasis bukti untuk konservasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove secara berkelanjutan. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan strategi pengelolaan mangrove yang adaptif dan kontekstual, dengan menekankan pentingnya integrasi data spasial, partisipasi komunitas, serta respons kebijakan berbasis ekosistem.

Pengembangan dan penerapan MHI di Kabupaten Tuban dan Lamongan dapat memberikan sejumlah manfaat. Pertama, MHI dapat digunakan sebagai dasar ilmiah dalam merancang kebijakan perlindungan dan rehabilitasi mangrove yang lebih efektif dan berbasis data (Sudrajat *et al.*, 2023). Kedua, pendekatan ini dapat menjadi alat monitoring jangka panjang yang memungkinkan deteksi dini terhadap degradasi ekosistem. Ketiga, hasil penilaian MHI dapat digunakan untuk membangun partisipasi masyarakat melalui penyadaran berbasis informasi objektif, serta melibatkan mereka dalam pemeliharaan kawasan secara kolaboratif. Dalam praktiknya, penilaian MHI membutuhkan kombinasi pendekatan penginderaan jauh, survei lapangan, serta pemetaan spasial. Penggunaan teknologi seperti citra satelit atau drone dapat membantu dalam mengidentifikasi perubahan tutupan mangrove, sementara data lapangan diperlukan untuk mengukur parameter-parameter MHI secara langsung (Gustiawan, 2024).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kerapatan mangrove memiliki korelasi positif yang kuat dengan nilai NDVI dan Mangrove Health Index (MHI). Kawasan dengan tutupan mangrove yang tinggi cenderung memiliki nilai MHI yang baik, mencerminkan kondisi ekosistem yang sehat. Wilayah Lamongan umumnya menunjukkan kondisi mangrove yang lebih sehat dan beragam dibandingkan Tuban, ditunjukkan dengan jumlah spesies yang lebih banyak dan nilai NDVI serta MHI yang lebih tinggi. Sebaliknya, beberapa wilayah di Tuban mengalami degradasi tutupan mangrove akibat tekanan antropogenik seperti alih fungsi lahan, tambak, dan abrasi pantai. Penggunaan kombinasi data penginderaan jauh (Sentinel-2A) dan survei lapangan terbukti efektif dalam memberikan gambaran yang komprehensif tentang kondisi kesehatan mangrove. Pendekatan ini memperkuat keandalan NDVI sebagai indikator vegetatif, sekaligus menegaskan pentingnya verifikasi lapangan melalui parameter struktur vegetasi. Hasil ini juga mengonfirmasi relevansi pendekatan spasial untuk mendukung perencanaan konservasi dan pengambilan kebijakan pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran strategis yang dapat diterapkan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove di wilayah pesisir Tuban dan Lamongan. Pertama, perlu dilakukan rehabilitasi terarah dengan memprioritaskan kawasan yang memiliki nilai MHI rendah, terutama desa-desa pesisir Tuban yang menunjukkan tutupan dan keanekaragaman mangrove terbatas; langkah ini sebaiknya berbasis hasil pemetaan spasial agar lebih tepat sasaran. Kedua, wilayah dengan kondisi mangrove padat dan nilai MHI tinggi, seperti Desa Labuhan dan Cepokorejo, sebaiknya dikuatkan sebagai kawasan konservasi melalui penetapan regulasi daerah serta pelibatan masyarakat dalam pengawasan dan perlindungan. Ketiga, penelitian lanjutan disarankan mengadopsi pemantauan berbasis multi-indeks dengan memanfaatkan indeks vegetasi tambahan seperti SAVI dan ARVI, sehingga dinamika stres vegetasi yang tidak tertangkap oleh NDVI dapat teridentifikasi, khususnya pada vegetasi jarang atau tergenang. Keempat, keberhasilan konservasi dan rehabilitasi akan lebih efektif apabila dilaksanakan dengan partisipasi masyarakat dan edukasi lingkungan, yakni melibatkan masyarakat lokal dalam perencanaan, penanaman, hingga pemantauan. Terakhir, integrasi data spasial dari penginderaan jauh perlu dijadikan dasar dalam pengambilan kebijakan pembangunan pesisir oleh pemerintah daerah untuk mencegah degradasi lebih lanjut sekaligus mendorong pembangunan yang berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Penelitian, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemdiktisaintek RI), Program Penelitian Skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Anggaran 2025 dengan Nomor Kontrak SP DIPA-139.04.1.693320/2025, 128/C3/DT.05.00/PL/2025 dan 054/LL7/DT.05.00/PL/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Tim asisten peneliti mahasiswa atas nama Afiffullah Maydi Syahlendra, Lukman Ma'ajid, Bela Dwi Larassati dan Humaidatul Fakhriyyah (mahasiswa Program Studi Ilmu Perikanan dan Ilmu

Kelautan) yang turut serta dalam pengumpulan data di lapangan. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat nyata bagi pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan dan pembangunan berbasis ekosistem di kawasan pesisir Indonesia, khususnya di Kabupaten Tuban dan Lamongan, Jawa Timur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akamaking, D. I. H., Paulus, C. A., & Al Ayubi, A. (2022). Karakteristik Parameter Fisika Kimia Perairan pada Kawasan Ekowisata Mangrove di Wilayah Pesisir Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang. *Jurnal Bahari Papadak*, 3(2), 41–48.
- Aryal, J., Sitaula, C., & Aryal, S. (2022). NDVI threshold-based urban green space mapping from sentinel-2A at the local governmental area (LGA) level of Victoria, Australia. *Land*, 11(3), 351.
- Beselly, S. M., van der Wegen, M., Grueters, U., Reyns, J., Dijkstra, J., & Roelvink, D. (2021). Eleven years of mangrove–Mudflat dynamics on the mud volcano-induced prograding delta in East Java, Indonesia: Integrating UAV and satellite imagery. *Remote Sensing*, 13(6), 1084.
- Dharmawan, I. W. E. (2021). Mangrove health index distribution on the restored post-tsunami mangrove area in Biak Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 12007.
- Dwipnananto, F. (2008). Studi pemetaan vegetasi mangrove di pesisir lamongan jawa timur. *Universitas Brawijaya*.
- Fakhrurrozi, F., Yuniar, Z., Harun, M., Lestariningsih, W. A., & Rahman, I. (2023). Community Structure and Health Conditions of Mangrove in Sabu Raijua. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2), 105–111.
- Galvanis, W. J., Anwar, K., & Suhermanto, A. (2024). Strategi Pengelolaan Mangrove Berkelanjutan Berbasis Sosial Ekonomi di Kecamatan Kuala Jambi, Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 7(1), 533–544.
- Gundlach, E. R., Bonte, M., Story, N. I., & Iroakasi, O. (2022). Using high-resolution imagery from 2013 and 2020 to establish baseline vegetation in oil-damaged mangrove habitat prior to large-scale post-remediation planting in Bodo, Eastern Niger Delta, Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100831.
- Gustiawan, D. (2024). *Manajemen Strategis*. PT Indonesia Delapan Kreasi Nusa.
- Hidayah, Z., As-syakur, A. R., & Rachman, H. A. (2024). Sustainability assessment of mangrove management in Madura Strait, Indonesia: A combined use of the rapid appraisal for mangroves (RAPMangroves) and the remote sensing approach. *Marine Policy*, 163, 106128.
- Hidayah, Z., As-Syakur, A. R., Rachman, H. A., Romadhoni, L. S. R., & Setiawati, M. D. (2025). Estimation of Mangrove Gross Primary Productivity Using Sentinel-2 Imagery Data: A Case Study in Ujung Pangkah East Java, Indonesia. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 33(2).
- Hidayah, Z., & Rachman, H. A. (2023). Pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura dengan pendekatan Mangrove Health Index memanfaatkan citra satelit Sentinel-2. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(1), 84–91.
- Joesidawati, M. I. (2017). Studi perubahan iklim dan kerusakan sumberdaya pesisir di Kabupaten Tuban. *Disertasi. Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Kareninsekar, C., & Insafitri, I. (2020). Stok Karbon Pada Jenis Mangrove Yang Berbeda (*Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorhiza*) Di Perairan Tuban. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(2), 220–226.
- Kementerian Lingkungan Hidup dalam Peraturan Menteri No. 201 Tahun 2004. (2004). *Menetapkan klasifikasi tutupan kanopi mangrove menjadi tiga kategori berdasarkan persentase tutupan*.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004. (2004). *Penetapan Baku Mutu Air Laut ini meliputi Baku Mutu Air Laut*.

- Koda, S. H. A. (2021). Analisis ekologis mangrove dan dampak perilaku masyarakat terhadap ekosistem mangrove di pesisir Pantai Kokar, Kabupaten Alor Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Penelitian Sains*, 23(1), 1–7.
- Lamidi, L., Kurnianingsih, F., Adhayanto, O., Arianto, B., & Nazaki, N. (2024). Evaluasi dan Monitoring Pendekatan PESTEL dalam Strategi Pemberdayaan Masyarakat terhadap Ekowisata Mangrove di Desa Kelumu. *Khidmat: Journal of Community Service*, 1(2), 89–102.
- Lelewa, B. R., Rumengan, A. P., Sondak, C. F. A., Paulus, J. J. H., Paruntu, C. P., & Sumilat, D. A. (2023). Indeks Nilai Penting Komunitas Mangrove di Daerah Pesisir Desa Minanga Dua, Kecamatan Pusomaen, Kabupaten Minahasa Tenggara, Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 11(3), 285–294.
- Maryani, L., Mentari, R. D. P., Susilowati, R., Wihardi, Y., Hasibuan, Z. H., & Agustin, T. (2025). Peran Dan Manfaat Ekosistem Mangrove Terhadap Masyarakat Wilayah Pesisir Muara Sugihan. *Jurnal Abdi Insani*, 12(5), 2065–2072.
- Mile, L., Pasisingi, N., Koniyo, Y., Hamzah, S. N., Sulistijowati, R., Naiu, A. S., & Harmain, R. M. (2025). Penanaman Mangrove Sebagai Upaya Konservasi Ekosistem Mangrove Di Desa Tabulo Selatan Kabupaten Boalemo. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 10(2), 242–252.
- Pamungkas, G. T., Soenardjo, N., & Subagiyo, S. (2023). Struktur Dan Tutupan Kanopi Mangrove Di Kecamatan Genuk Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 12(1), 116–123.
- Prasetio, T., Putri, V. A., Lugyn, Z. D., & Kurniawati, A. (2023). *Pemetaan Kesehatan Mangrove*. Penerbit NEM.
- Prayogi, G. P. W. R., Setiawan, G., Ghozali, K. A., Rahmawati, L. N., Sari, M., Sasty, M. N. E., Syarofa, N. T., Hidayah, R. N., Rendi, R., & Maulita, U. (2025). Pengembangan Ekowisata Lokal Berkelanjutan Ber Basis Edukasi Lingkungan dengan Fokus pada Penanaman Mangrove:: di Desa Karya Tani Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *INANTA| Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1–14.
- Putera, I. G. S. A., Hukubun, R. D., Milasari, L. A., Mulyani, L. F., Afyah, N. N., Nurlette, H., Kaliky, N. A. P. S. B., Laheng, S., Salsabila, S., & Lutfi, M. (2025). *Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut*. PT Penerbit Qriset Indonesia.
- Rahman, R., Bramana, A., Suharti, R., & Irawan, H. (2025). Analisis Vegetasi Mangrove Berdasarkan Faktor Lingkungan Perairan di Kawasan Pesisir Kabupaten Pati. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(1), 49–60.
- Rudianto, R., Darmawan, V., Isdianto, A., & Bintoro, G. (2022). Restoration of coastal ecosystems as an approach to the integrated mangrove ecosystem management and mitigation and adaptation to climate changes in north coast of East Java. *Journal of Coastal Conservation*, 26(4), 37.
- Sudrajat, J., Jamaludin, J., Anshari, G. Z., Gusmayanti, E., Sawerah, S., & Jabbar, A. (2023). Analisis Keberhasilan Pengelolaan Hutan Mangrove: Kasus Rehabilitasi dan Konservasi oleh Komunitas Peduli Pesisir. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 9(1), 73–86.
- Sugiana, I. P., Andiani, A. A. E., Dewi, I. G. A. I. P., Karang, I. W. G. A., As-Syakur, A. R., & Dharmawan, I. W. E. (2022). Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(7).
- Sulaiman, M. (2023). Pemanfaatan Hutan Mangrove Terhadap Penanganan Perubahan Iklim Di Pulau Wetar. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Terapan (JKPT)*, 1, 67–71.
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., Rathnayake, U., & Fernando, M. (2024). Mangrove mapping and monitoring using remote sensing techniques towards climate change resilience. *Scientific Reports*, 14(1), 6949.
- Tezar, M., Irmayunita, M., Mualim, A., Faruq, F., & Prayogo, L. M. (2023). Karakteristik Multitemporal Arus Permukaan Laut di Perairan Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research)(J-Tropimar)*, 5(1), 1–8.

- Tran, T. V, Reef, R., & Zhu, X. (2022). A review of spectral indices for mangrove remote sensing. *Remote Sensing*, 14(19), 4868.
- Utomo, A. P., Haerani, J. O., Ferdian, R. N., Paradise, R., & Radianto, D. O. (2024). Pemaksimalan Fungsi Penanaman Mangrove di Daerah Rawan Abrasi Jakarta. *Jurnal Ilmiah Nusantara*, 1(3), 12–22.
- Wardhani, A. K. (2020). *Analisis Temporal dan Spasial Perubahan Luas Hutan Mangrove sebagai Pelindung Pantai Alami di Wilayah Pantai Utara Jawa Timur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wardhani, M. K. (2023). Mangrove Health Assessment Using Hemispherical Photography: A Case Study on Mangrove Ecosystem for Ecotourism at Tajungan-Bangkalan, Madura Island, Indonesia. In *Mangrove Biology, Ecosystem, and Conservation*. IntechOpen.
- Zega, A., Susanti, N. M., Tillah, R., Laoli, D., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., Dawolo, J., Zebua, O., & Gea, A. S. A. (2024). Strategi Inovatif Dalam Menghadapi Degradasi Ekosistem: Kajian Terbaru Tentang Peran Vital Hutan Mangrove Dalam Konservasi Lingkungan. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2), 71–83.