

Dinamika Tutupan Hutan Mangrove Akibat Aktivitas Manusia di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur

Dynamics of Mangrove Forest Cover Due to Human Activities in Labuhan Maringgai District, East Lampung Regency

Roni Candra¹⁾, Trio Santoso²⁾, Rudi Hilmanto³⁾, Indriyanto⁴⁾

¹Mahasiswa Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian

^{2,3,4} Dosen Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian

*Alamat Korespondensi: Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Unila
Jl Sumantri Brojonegoro, Gedung Meneng, Bandar Lampung, 35145

ABSTRACT. *The mangrove ecosystem in Indonesia faces complex anthropogenic pressures threatening its sustainability. This study analyzes the land cover dynamics of mangroves in Labuhan Maringgai Subdistrict, East Lampung Regency, over the period 2014-2024 using Landsat 8 satellite imagery and the Support Vector Machine (SVM) method with accuracy exceeding 88%. The results reveal a significant conservation paradox: mangrove area increased by 415.35 hectares (53%) from 783.81 to 1,199.16 hectares, yet only 43.98% of the original mangrove cover remains intact. Natural regeneration predominates in former shrimp ponds and open lands, while the largest conversion occurred into shrimp ponds (11.02%) and mixed gardens (7.45%). Human activities demonstrate dual impacts: continued pressure from land conversion and exploitation, but a decline in shrimp pond activity due to coastal abrasion has stimulated natural recovery. A critical finding is the mortality of *Avicennia* sp. mangroves caused by permanent inundation, indicating that global pressures such as sea-level rise exacerbate local impacts. Despite quantitative increase, habitat fragmentation and ecosystem quality decline highlight long-term vulnerability. This study contributes to the understanding of coastal mangrove dynamics in Indonesia and recommends an integrative management approach combining conservation with sustainable economic development to build resilience in coastal ecosystems.*

Keywords: *Labuhan Maringgai; Land Cover Dynamics; Landsat 8; Mangrove; Support Vector Machine*

ABSTRAK. Ekosistem mangrove Indonesia menghadapi tekanan antropogenik kompleks yang mengancam keberlanjutannya. Penelitian ini menganalisis dinamika tutupan hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai, Lampung Timur periode 2014-2024 menggunakan citra *landsat 8* dan metode Support Vector Machine dengan akurasi >88%. Hasil menunjukkan paradoks konservasi signifikan: mangrove meningkat 415,35 ha (53%) dari 783,81 ha menjadi 1.199,16 ha, namun hanya 43,98% mangrove awal yang bertahan. Regenerasi alami mendominasi pada bekas tambak dan lahan terbuka, sementara konversi terbesar terjadi menjadi tambak (11,02%) dan kebun campuran (7,45%). Aktivitas manusia menunjukkan dampak ganda: tekanan konversi dan eksploitasi berlanjut, namun penurunan aktivitas tambak akibat abrasi justru memicu pemulihan alami. Temuan kritis berupa kematian mangrove *Avicennia* sp. akibat genangan permanen mengindikasikan tekanan global seperti kenaikan muka air laut memperparah dampak lokal. Meskipun terjadi peningkatan kuantitatif, fragmentasi habitat dan penurunan kualitas ekosistem menunjukkan kerentanan jangka panjang. Penelitian ini berkontribusi pada pemahaman dinamika mangrove pesisir Indonesia dan merekomendasikan pendekatan pengelolaan integratif yang menggabungkan konservasi dengan pembangunan ekonomi berkelanjutan untuk menciptakan resiliensi ekosistem pesisir.

Kata kunci: Labuhan Maringgai; *Landsat 8*; Dinamika Tutupan Lahan; *Support Vector Machine*; Mangrove

Penulis untuk korespondensi: Email: croni9645@gmail.com

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan aset ekologis dan ekonomis yang vital bagi wilayah pesisir, khususnya di Indonesia yang memiliki luasan terbesar di dunia mencapai 3,36 juta hektar (Rahardian *et al.*, 2019). Mangrove tidak hanya berperan sebagai penyerap karbon biru (*blue carbon*) yang signifikan (Heriyanto dan Subiandono, 2016), tetapi juga sebagai pelindung alami dari abrasi dan gelombang laut (Alansori *et al.*, 2022). Namun, ekosistem ini menghadapi tekanan berat akibat aktivitas antropogenik, terutama konversi lahan untuk tambak, pertanian, dan permukiman (Darmawan dan Hilmanto, 2014; Ryan *et al.*, 2022). Di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, konversi mangrove telah berlangsung sejak 1970-an dan diperparah oleh program transmigrasi serta ekspansi perikanan intensif.

Studi-studi sebelumnya telah banyak mengungkap tren degradasi mangrove di Indonesia secara umum, termasuk di Labuhan Maringgai, dengan fokus pada periode sebelum 2020 (Darmawan dan Hilmanto, 2014; Ryan *et al.*, 2022). Namun, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan analisis spasial mutakhir (2020–2024) dengan pendekatan *machine learning* dan validasi lapangan untuk memahami dinamika perubahan yang bersifat *non-linier* dan *multi-faktor*. Selain itu, kajian terdahulu cenderung berfokus pada konversi langsung mangrove menjadi tambak, tanpa mengeksplorasi dampak tidak langsung dari aktivitas seperti perkebunan campuran dan perubahan hidrologi yang memicu degradasi kualitas ekosistem meskipun terjadi pertumbuhan luasan.

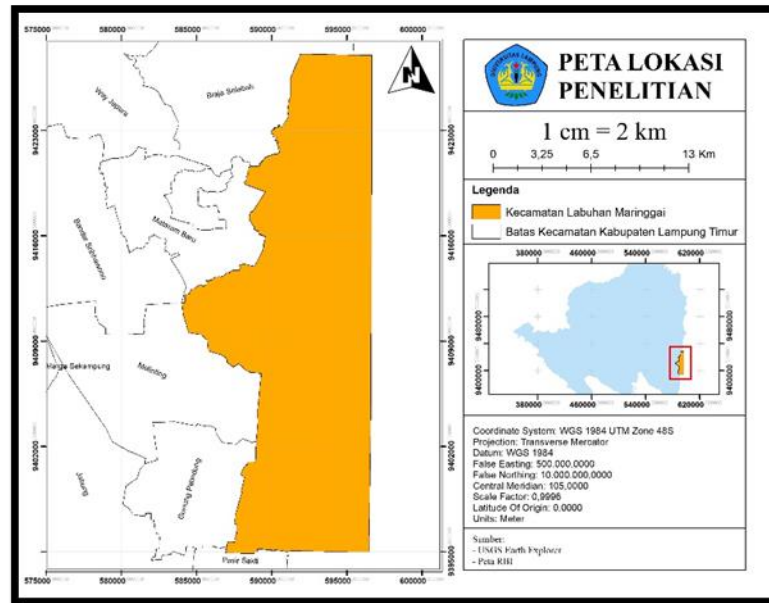
Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan analisis spasial temporal resolusi tinggi (2014–2024) menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) pada citra *Landsat 8* yang divalidasi dengan survei lapangan, tidak hanya untuk mengukur perubahan luasan tetapi juga untuk mengidentifikasi fragmentasi habitat, tren regenerasi alami, dan dampak aktivitas manusia yang bersifat tidak langsung. Penelitian ini juga mengintegrasikan analisis faktor-faktor pendorong perubahan menggunakan plugin MOLUSCE untuk memodelkan transisi lahan dan memproyeksikan kerentanan ekosistem ke depan.

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana dinamika spasial dan temporal tutupan mangrove di Labuhan Maringgai periode 2014–2024? (2) Aktivitas manusia apa saja yang berkontribusi terhadap perubahan tersebut, baik secara langsung maupun tidak langsung? Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) Mengidentifikasi perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit dan *machine learning*, dan (2) Menganalisis dampak aktivitas manusia terhadap perubahan tersebut melalui integrasi data penginderaan jauh dan observasi lapangan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juni 2025 di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung (Gambar 1). Pemilihan lokasi studi didasarkan pada tingginya dinamika perubahan tutupan lahan mangrove yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik dan faktor alam.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Sumber Data dan Bahan

Sumber data utama yang digunakan adalah citra satelit *landsat 8 OLI (Level 2, Collection 2)* yang diunduh dari platform *United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Citra yang digunakan memiliki *Path/Row* 123/64 dengan tanggal perekaman 25 Desember 2014 dan 17 Oktober 2024, yang dipilih berdasarkan tutupan awan minimal (<10%) (Tabel 1).

Tabel 1. Spesifikasi Kumpulan Data *Landsat 8 OLI*

ID Produk	Path	Row	Tanggal Akuisisi
LC08_L2SP_123064_20141225_20200910_02_T1	123	64	25 Desember 2014
LC08_L2SP_123064_20241017_20241022_02_T1	123	64	17 Oktober 2024

Selain itu terdapat data vektor batas administrasi Kecamatan Labuhan Maringgai diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan data lapangan dikumpulkan untuk keperluan validasi akurasi dan pembuatan *training sample*.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode utama: (1) akuisisi data penginderaan jauh melalui citra satelit *landsat 8* yang diperoleh dari *USGS Earth Explorer*, dan (2) Pengumpulan data lapangan (*groundcheck*) juga dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat ketelitian dari hasil interpretasi citra yang dilakukan secara visual (*on-screen digitizing*) (Sapsuha *et al.*, 2018). Titik-titik sampel diambil secara purposif berdasarkan tiap kelas tutupan lahan dan dicatat menggunakan *Avenza Maps* serta didokumentasikan dengan kamera.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS 3.34. Tahap awal meliputi preprocessing citra yang terdiri dari *layer stacking* dengan menggabungkan Band 1-7 citra *landsat 8*, *cropping area* studi, dan koreksi radiometrik. Setelah itu, dilakukan ekstraksi indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) untuk membantu mengidentifikasi keberadaan vegetasi dan membedakan antara area badan air dan lahan menggunakan rumus:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$MNDWI = (Green - SWIR1) / (Green + SWIR1)$$

dimana:

NIR = Band 5

Red = Band 4

Green = Band 3

SWIR1 = Band 6

Pembuatan *training sample* berupa poligon yang mewakili tiap kelas tutupan lahan, Dimana terdapat 8 kelas tutupan lahan: (1) badan air, (2) hutan mangrove, (3) hutan non mangrove, (4) pemukiman, (5) tambak, (6) sawah, (7) lahan terbuka dan (8) kebun campuran. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan pelatihan model *Support Vector Machine* (SVM) menggunakan *training sample* yang telah dibuat sehingga dihasilkan peta klasifikasi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024.

Analisis Data

Analisis data mencakup evaluasi hasil klasifikasi dan perubahan tutupan lahan periode 2014-2024. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan plugin MOLUSCE pada QGIS dengan membandingkan peta klasifikasi SVM kedua periode. Plugin ini menghasilkan matriks transisi yang mengkuantifikasi perubahan luas dan pergeseran antar kelas tutupan lahan, serta memodelkan faktor pendorong perubahan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan variabel spasial seperti jarak ke jalan, pemukiman, dan badan air. Validasi model menggunakan *Figure of Merit* (FoM) dan *Kappa Coefficient*.

Validasi akurasi klasifikasi dilakukan dengan *confusion matrix* berdasarkan 800 titik sampel. Metrik akurasi yang dihitung meliputi:

$$User Accuracy (UA) = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\%$$

$$Producer Accuracy (PA) = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100\%$$

$$Overall Accuracy (OA) = \frac{\sum_i^r X_{ii}}{N} \times 100\%$$

$$Kappa Coefficient (KC) = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}$$

di mana:

X_{ii} = nilai diagonal matriks

X_{+i} = jumlah baris ke-i

X_{i+} = jumlah kolom ke-i

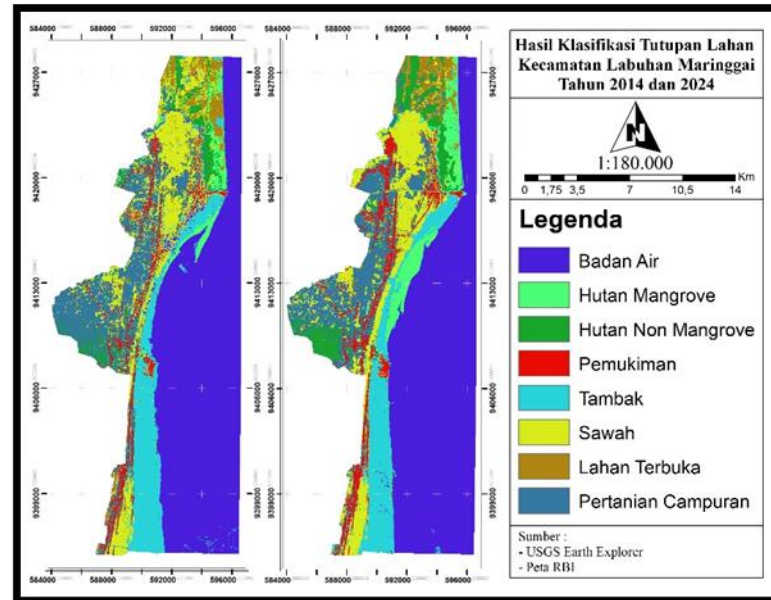
N = total sampel.

Nilai KC diinterpretasikan berdasarkan kriteria Landis dan Koch (1977): 0.81–1.00 (hampir sempurna), 0.61–0.80 (substansial), 0.41–0.60 (sedang), 0.21–0.40 (cukup), dan ≤0.20 (rendah). Analisis ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai dinamika spasial dan keakuratan klasifikasi tutupan lahan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dinamika Tutupan Lahan dan Implikasinya Terhadap Ekosistem Pesisir

Analisis perubahan tutupan lahan di Kecamatan Labuhan Maringgai selama periode 2014–2024 mengungkapkan transformasi lanskap yang signifikan (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil klasifikasi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024

Komposisi awal tahun 2014 didominasi oleh badan air (12.892,05 ha), karena area penelitian sengaja diperlebar ke arah laut untuk mengakomodasi studi perubahan garis pantai dan ekosistem mangrove. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan luas vegetasi alami, yaitu hutan mangrove (+415,35 ha) dan hutan non-mangrove (+480,06 ha), sementara kelas lahan produktif seperti kebun campuran, sawah, dan tambak mengalami penurunan (Tabel 2).

Tabel 2. Perubahan Luasan Tutupan Lahan di Kecamatan Labuhan Maringgai (2014–2024)

No	Kelas	Jumlah pixel		Luas (ha)		Perubahan (ha)
		2014	2024	2014	2024	
1	Badan air	143.247	139.351	12.892,05	12.541,59	-350,64
2	Hutan mangrove	8.709	13.324	783,81	1.199,16	415,35
3	Hutan non mangrove	10.875	16.209	978,75	1.458,81	480,06
4	Pemukiman	11.061	15.712	995,49	1.414,08	418,59
5	Tambak	33.699	31.159	3.032,91	2.804,31	-228,60
6	Sawah	37.839	35.719	3.405,51	3.214,71	-190,80
7	Lahan terbuka	10.700	9.600	963,00	864,00	-99,00
8	Kebun campuran	43.238	38.294	3.891,42	3.446,46	-444,96
Total		299.368	299.368	26.943,12	26.943,12	

Peningkatan luas mangrove terutama disebabkan oleh regenerasi alami pada bekas lahan tambak yang ditinggalkan dan lahan terbuka di zona intertidal, yang didukung oleh suplai

[illegible]

Penurunan luas sawah sebesar 190,80 ha tidak semata-mata mencerminkan konversi fisik. Analisis spasial dan uji akurasi mengungkapkan bahwa kesalahan klasifikasi berkontribusi terhadap angka ini. Di zona utara area penelitian yang merupakan bagian dari Taman Nasional Way Kambas, lahan terbuka sering terkalsifikasi sebagai sawah pada tahun 2014 akibat kemiripan spektral selama masa panen (Trisowati *et al.*, 2019). Dengan demikian, peningkatan akurasi klasifikasi pada tahun 2024, yang mampu membedakan dengan lebih baik antara lahan terbuka di kawasan hutan dengan sawah, turut menjelaskan sebagian dari tren penurunan yang teramati.

Ekspansi pemukiman sebesar 418,59 ha terutama terjadi di sepanjang jalur transportasi utama dan zona rawan rob, yang memperparah kerentanan kawasan terhadap bencana. Pola urbanisasi linier ini, yang terlihat jelas pada Gambar 1, merupakan ciri khas wilayah pesisir yang memerlukan penanganan tata ruang yang ketat (Huang *et al.*, 2018).

Klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) pada citra *landsat 8* menghasilkan akurasi yang sangat baik untuk kedua tahun, dengan *Overall Accuracy* (OA) 89,1% (2014) dan 88,5% (2024), serta nilai *Kappa Coefficient* (KC) masing-masing 0,867 dan 0,869.

53

Tabel 3. Nilai Akurasi Pengguna (UA) dan Produsen (PA) Tahun 2014 dan 2024

Kelas Lahan	UA 2014 (%)	PA 2014 (%)	UA 2024 (%)	PA 2024 (%)
Badan air	87	97	88	91
Hutan mangrove	94	97	95	92
Hutan non mangrove	92	92	96	82
Pemukiman	91	95	90	85
Tambak	93	92	87	90
Sawah	86	85	87	80
Lahan terbuka	92	84	85	82
Kebun campuran	90	87	80	81

Kesalahan klasifikasi dominan terjadi antara sawah dan lahan terbuka, yang ditunjukkan oleh nilai PA Sawah yang relatif rendah (80-85%). Hal ini disebabkan oleh similaritas spektral pada musim panen atau masa bera (Nadzirah *et al.*, 2022). Selain itu, kesalahan juga terjadi antara kebun campuran dan hutan non mangrove (nilai PA Kebun Campuran 81-87%) akibat kemiripan signature spektral kanopi pohon matang pada saluran inframerah (Fassnacht *et al.*, 2024). Kesulitan juga ditemukan dalam membedakan tambak dan badan air (nilai UA Tambak 87-93%) karena keterbatasan citra optik dalam membedakan objek berair (Nguyen *et al.*, 2023).

Tingkat akurasi yang diperoleh telah memenuhi syarat untuk analisis perubahan lahan (Congalton dan Green, 2019), namun limitasi tersebut perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil, khususnya untuk kelas dengan nilai PA yang rendah.

Pemodelan Perubahan Lahan dan Probabilitas Transisi

Pemodelan perubahan lahan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) melalui plugin MOLUSCE menghasilkan akurasi pemodelan sebesar 86,18% (Kappa = 0,862). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa hutan mangrove hanya memiliki probabilitas bertahan sebesar 43,98%, mengindikasikan tingginya tekanan antropogenik terhadap ekosistem kritis ini.

Tabel 4. Probabilitas Transisi Tutupan Lahan 2014–2024

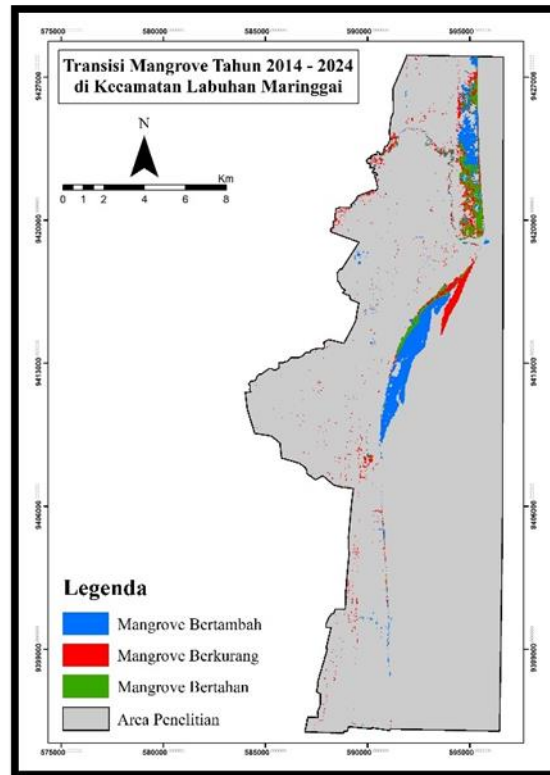
Kelas awal	Badan air	Hutan mangrove	Tambak	Hutan non mangrove	Lahan terbuka
Hutan mangrove	12,72%	43,98%	11,02%	12,13%	3,14%
Tambak	10,37%	2,41%	78,23%	0,31%	0,70%
Lahan terbuka	0,07%	16,61%	2,00%	5,57%	38,98%

Konversi mangrove terbesar terjadi menjadi badan air (12,72%), tambak (11,02%), dan kebun campuran (7,45%), yang mencerminkan tarik-menarik antara kepentingan konservasi dan ekonomi (Arifanti *et al.*, 2022). Sebaliknya, lahan terbuka menunjukkan potensi rehabilitasi yang tinggi, dengan 16,61% berubah menjadi hutan mangrove dan 19,04% menjadi sawah, yang seharusnya menjadi fokus program restorasi ekosistem.

Berdasarkan Gambar 3, direkomendasikan untuk memfokuskan konservasi pada zona dengan probabilitas konversi mangrove tinggi (>10%) di pesisir timur, dan menjadikan zona utara dan tengah (sekitar bibir pantai) sebagai area rehabilitasi prioritas.

Analisis Spasial dan Perubahan Mangrove

Analisis spasial yang lebih mendalam dilakukan dengan melakukan *overlay* peta sebaran mangrove tahun 2014 dan 2024 untuk menghasilkan peta transisi perubahan mangrove (Gambar 4). Peta ini mengungkapkan dinamika perubahan yang kompleks, dengan wilayah berwarna hijau menunjukkan area regenerasi (*gain*), dan wilayah berwarna merah menunjukkan area yang masih mengalami degradasi atau konversi (*loss*).



Gambar 4. Transisi perubahan mangrove di labuhan maringgai tahun 2014-2024

Secara numerik, perubahan ini dikuantifikasi dalam Tabel 5. Data tersebut menunjukkan bahwa meskipun secara *netto* mangrove mengalami pertambahan luas sebesar 415,35 ha, proses yang terjadi sebenarnya sangat dinamis.

Tabel 5. Luasan Perubahan Mangrove Tahun 2014-2024

No.	Jenis Perubahan	Jumlah Pixel	Luas (ha)
1	Mangrove Bertambah (<i>gain</i>)	9.494	854,46
2	Mangrove Berkurang (<i>loss</i>)	4.879	439,11
3	Mangrove Bertahan (<i>nett</i>)	3.830	344,70
Total		18.203	1.638,27

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 3, terlihat bahwa laju regenerasi (*gain*) seluas 854,46 ha bahkan lebih besar dari luas mangrove awal tahun 2014. Namun, pada periode yang sama, kehilangan (*loss*) juga sangat signifikan, yaitu 439,11 ha. Tingkat persistensi mangrove yang hanya 344,70 ha (44% dari total luas awal) mengindikasikan bahwa tekanan terhadap ekosistem ini masih sangat tinggi. Hanya kurang dari setengah dari mangrove tahun 2014 yang masih bertahan hingga 2024 tanpa mengalami perubahan.

Gambar 3 memperjelas bahwa kehilangan mangrove terutama terjadi di zona pesisir bagian timur yang berbatasan langsung dengan aktivitas tambak intensif dan wilayah yang terkena dampak abrasi (Johan dan Apriliani, 2024). Sementara itu, regenerasi banyak terjadi pada bekas lahan tambak yang ditinggalkan dan lahan terbuka di zona intertidal, yang mendapat suplai sediment yang memadai dari aliran sungai (Nurhidayah *et al.*, 2024), seperti terlihat di sepanjang bibir pantai pada Gambar 3.

Implikasi Aktivitas Manusia dan Kebaruan Temuan

Aktivitas manusia seperti ekspansi perkebunan (kebun campuran), pembangunan infrastruktur, dan eksploitasi kayu mangrove telah menimbulkan dampak signifikan. Ekspansi kebun campuran secara tidak langsung mempengaruhi mangrove melalui perubahan hidrologi dan polusi *runoff* agrokimia (Sasmito *et al.*, 2019). Sementara itu, eksploitasi kayu mangrove untuk bahan bakar dan bangunan, terutama jenis *Rhizophora apiculata*, dengan metode tidak selektif, menghambat regenerasi alami (Darmawan *et al.*, 2022).

Temuan utama dan kebaruan dari penelitian ini mengungkap kompleksitas dinamika lanskap pesisir, dimana regenerasi alami mangrove tidak hanya terjadi pada bekas tambak yang ditinggalkan dan lahan terbuka di zona intertidal, tetapi juga di kawasan Taman Nasional Way Kambas yang dekat pantai, yang didorong oleh suplai sediment dan kondisi edafik yang memadai sebagaimana terlihat dalam Gambar 3. Temuan kunci lain menunjukkan bahwa penurutan tambak lebih disebabkan oleh abrasi pantai daripada berkurangnya tekanan antropogenik, memberikan perspektif baru dalam interpretasi dinamika lahan pesisir. Analisis lebih lanjut mengungkap tingkat turnover mangrove yang sangat tinggi dimana hanya 44% mangrove awal yang bertahan, menunjukkan kerentanan ekosistem yang tinggi meskipun terjadi pertumbuhan netto. Selain itu, fragmentasi habitat akibat aktivitas manusia tetap menjadi tantangan signifikan dimana petak-petak mangrove yang terkotak-kotak dapat mengurangi ketahanan ekosistem secara keseluruhan.

Temuan ini tidak hanya mendukung hipotesis bahwa aktivitas antropogenik merupakan pendorong utama perubahan tutupan lahan, tetapi juga menyoroti peran kuat proses alamiah seperti abrasi dan regenerasi alami dalam membentuk lanskap pesisir, yang memerlukan pendekatan tata kelola integratif dan berkelanjutan untuk menyeimbangkan kepentingan konservasi dan ekonomi serta mengelola perubahan tutupan lahan di wilayah pesisir. Sejalan dengan hasil studi Darmawan dan Santoso (2024), yang menyimpulkan bahwa perubahan LULC yang cepat memiliki implikasi praktis bagi pengelolaan lingkungan dan perencanaan kota, yang menyarankan perlunya kebijakan LULC yang berkelanjutan untuk mencegah dampak transformasi LULC yang cepat terhadap jasa ekosistem dan komunitas lokal.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan seluruh analisis yang dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa dinamika lanskap pesisir di Kecamatan Labuhan Maringgai selama satu dekade terakhir memperlihatkan pola transformasi yang kompleks dengan kecenderungan pemulihan ekosistem alami melalui proses regenerasi vegetasi mangrove dan hutan non mangrove, meskipun masih dihadapkan pada berbagai tekanan antropogenik. Temuan ini mengonfirmasi bahwa aktivitas manusia terutama ekspansi permukiman dan alih fungsi lahan tetap menjadi pendorong utama perubahan tutupan lahan, namun demikian peran proses alamiah seperti abrasi pantai, sedimentasi, dan suksesi alami telah berkontribusi signifikan terhadap pemulihan ekosistem terutama melalui regenerasi mangrove pada lahan-lahan terbuka dan bekas tambak yang terabandonment. Implikasi dari penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan tata kelola terintegrasi yang tidak hanya berfokus pada perluasan luas tutupan vegetasi tetapi juga pada peningkatan konektivitas habitat dan pengurangan tekanan antropogenik di zona-zona kritis. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dikembangkan model prediktif yang mempertimbangkan

faktor hidro-oseanografis dan sosial-ekonomi secara lebih komprehensif guna memperkuat strategi konservasi dan pembangunan berkelanjutan di wilayah pesisir.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, direkomendasikan agar pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terkait mengembangkan strategi pengelolaan wilayah pesisir yang integratif dengan memprioritaskan tiga aspek utama: pertama, penerapan kebijakan konservasi berbasis zonasi untuk area dengan probabilitas konversi mangrove tinggi di zona pesisir timur yang berbatasan dengan aktivitas tambak intensif; kedua, pengembangan sistem silvofishery terintegrasi yang memadukan budidaya perikanan dengan rehabilitasi mangrove pada bekas lahan tambak yang ditinggalkan; dan ketiga, implementasi program pemantauan partisipatif yang melibatkan masyarakat lokal dalam rehabilitasi dan perlindungan ekosistem mangrove, khususnya di zona utara dan tengah yang memiliki potensi regenerasi alami tinggi. Untuk mendukung implementasi tersebut, perlu dikembangkan sistem pemantauan berkala yang memanfaatkan teknologi penginderaan jarak jauh resolusi tinggi yang diperkaya dengan data lapangan secara *real-time* melalui *engagement* masyarakat, guna memastikan efektivitas pengelolaan dan keberlanjutan ekosistem pesisir jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kabupaten Lampung Timur khususnya kepada Kepala Desa setempat dan masyarakat Kecamatan Labuhan Maringgai yang telah memberikan izin, fasilitas, dan dukungan selama proses pengambilan data lapangan. Penulis juga berterima kasih kepada para Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah memberikan masukan berharga untuk penyempurnaan naskah ini. Terakhir, penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan yang telah berkontribusi dalam pengumpulan dan verifikasi data.

DAFTAR PUSTAKA

- Alansori, A., Luthfi, M., Ibrahim, F., & Prasetyo, A. 2022. Penanganan Abrasi Pantai Dengan Penanaman Mangrove Di Pantai Ketapang. *Jurnal Bakti Masyarakat Manajemen*, 2(1), 87-93.
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., & Wahyuni, T. 2022. Challenges and opportunities for achieving sustainable mangrove management in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 135, 102662.
- Congalton, R. G., & Green, K. 2019. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Darmawan, A., & Hilmanto, R. 2014. Konversi hutan mangrove untuk tambak: Dampak dan implikasi kebijakan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 12(2), 76-85.
- Darmawan, A., Siregar, C. A., & Budi, S. W. 2022. Exploitation of mangrove forests for local community needs: A case study in Labuhan Maringgai, Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 9(1), 1-12.
- Darmawan, A., & Santoso, T. 2024. Mapping Urban Transformation: The Random Forest Algorithm to Monitor Land Use and Land Cover Change in Bandar Lampung City. *Jurnal Sylva Lestari*, 12(3), 980-997.

- Fassnacht, F. E., Latifi, H., & Koch, B. 2024. Spectral discrimination of agroforestry systems from natural forests: Challenges and opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 290, 113555.
- Heriyanto, N. M., & Subiandono, E. 2016. Komposisi dan struktur vegetasi hutan mangrove di Taman Nasional Way Kambas. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(2), 127-140.
- Huang, X., Li, Y., & Zhang, Y. 2018. Linear urbanization in coastal zones: A case study of China's eastern coast. *Ocean & Coastal Management*, 153, 66-75.
- Johan, Y., & Apriliani, T. 2024. Coastal erosion and its impact on mangrove ecosystems in East Lampung. *Indonesian Journal of Coastal and Marine Resources*, 17(1), 23-35.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, 363-374.
- Larasati, A., & Idris, M. 2025. Forest encroachment and its impact on ecosystem services: A case study in Lampung Province. *Journal of Tropical Forestry Science*, 37(1), 45-56.
- Nadzirah, K. M., Khairunniza-Bejo, S., & Abdullah, A. F. 2022. Spectral characteristics of paddy fields at different growth stages using remote sensing. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 30(1), 567-582.
- Nguyen, T. H., Pham, L. T., & Bui, Q. T. 2023. A novel approach for aquaculture pond extraction using multi-source remote sensing data. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1), 2175645.
- Nurhidayah, L., Sari, R. P., & Damayanti, A. 2024. Natural regeneration of mangrove forests in abandoned aquaculture ponds: A case study in East Lampung. *Wetlands Ecology and Management*, 32(1), 45-59.
- Rahardian, A., Prasetyo, L. B., Setiawan, Y. U. D. I., & Wikantika, K. E. T. U. T. 2019. Tinjauan historis data dan informasi luas mangrove Indonesia. *Media Konservasi*, 24(2), 163-178.
- Ryan, C. M., Berry, N. J., & Joshi, N. 2022. Long-term mangrove deforestation in Indonesia: A remote sensing perspective. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(2), 245-259.
- Sapsuha, J., Djamaluddin, R., Sondak, C. F., Rampengan, R. M., Opa, E. T., & Kambey, A. D. 2018. Analisis tutupan vegetasi mangrove di pulau mantehage, taman nasional bunaken, sulawesi utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis Vol*, 2(1).
- Sasmito, S. D., Taillardat, P., Clendenning, J. N., Cameron, C., Friess, D. A., Murdiyarso, D., & Hutley, L. B. 2019. Effect of land-use change on mangrove ecosystem carbon stocks. *Global Change Biology*, 25(12), 4291-4302.
- Triscowati, D., Sari, R. P., & Hidayat, R. 2019. Spectral confusion between paddy fields and bare land: A case study in West Java. *Indonesian Journal of Remote Sensing*, 6(2), 45-56.