

**DINAMIKA TUTUPAN HUTAN MANGROVE AKIBAT AKTIVITAS
MANUSIA DI KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI KABUPATEN
LAMPUNG TIMUR**

(Skripsi)

Oleh

**Roni Candra
NPM 2114151051**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

DINAMIKA TUTUPAN HUTAN MANGROVE AKIBAT AKTIVITAS MANUSIA DI KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI KABUPATEN LAMPUNG TIMUR

Oleh

RONI CANDRA

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: mangrove, dinamika tutupan lahan, support vector machine, landsat 8, labuhan maringgai.

ABSTRACT

DYNAMICS OF MANGROVE FOREST COVER DUE TO HUMAN ACTIVITIES IN LABUHAN MARINGGAI DISTRICT, EAST LAMPUNG REGENCY

By

RONI CANDRA

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: mangrove, land cover dynamics, support vector machine, landsat 8, labuhan maringgai.

**DINAMIKA TUTUPAN HUTAN MANGROVE AKIBAT AKTIVITAS
MANUSIA DI KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI KABUPATEN
LAMPUNG TIMUR**

Oleh

RONI CANDRA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **DINAMIKA TUTUPAN HUTAN
MANGROVE AKIBAT AKTIVITAS
MANUSIA DI KECAMATAN LABUHAN
MARINGGAI KABUPATEN LAMPUNG
TIMUR**

Nama Mahasiswa

: **Roni Candra**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114151051

Program Studi

: Kehutanan

Fakultas

: Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

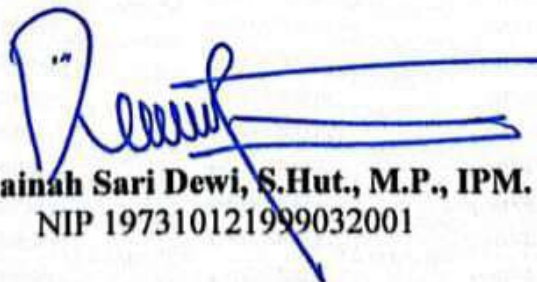


Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.
NIP 198503102014041002



Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si.
NIP 197807242005011003

2. Ketua Jurusan Kehutanan



Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM.
NIP 197310121999032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.



Sekretaris : Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si.



Anggota : Ir. Indriyanto, M.P.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 09 Oktober 2025

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Roni Candra

NPM : 2114151051

Program Studi : Kehutanan

Alamat Rumah : Jl. Raden Fatah Gg. Bukit 3 No. 51, Kelurahan Kaliawi,
Kecamatan Tanjungkarang Pusat, Bandar Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sungguh-sungguh, bahwa skripsi saya yang berjudul :

**“DINAMIKA TUTUPAN HUTAN MANGROVE AKIBAT AKTIVITAS
MANUSIA DI KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI KABUPATEN
LAMPUNG TIMUR”**

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 09 Oktober 2025
Yang membuat pernyataan



Roni Candra
NPM 2114151051

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Roni Candra, dilahirkan di Bandar Lampung pada 6 November 2001. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Ramli Chandra dan Ibu Eni Hastuti. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Kaliawi Bandar Lampung pada tahun 2014. Pendidikan menengah pertama diselesaikan di SMP PGRI 1 Bandar Lampung pada tahun 2017, kemudian pendidikan menengah atas di SMA Negeri 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama masa studi, penulis aktif dalam organisasi tingkat jurusan, yaitu Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (HIMASYLVA) sebagai anggota Bidang Kewirausahaan tahun kepengurusan 2024. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi Mahasiswa Pecinta Alam Universitas Lampung (MAPALA UNILA) dan organisasi Merpati Putih Universitas Lampung. Pengalaman profesional penulis antara lain magang di International Animal Rescue (IAR) Batutegi pada tahun 2023, serta menjadi tim Ekspedisi SHOREA dengan fokus penelitian keanekaragaman jenis kumbang di Resort Rawa Bunder Taman Nasional Way Kambas. Penulis juga telah mengikuti Praktikum Umum Pengelolaan Hutan Lestari (PU-PHL) di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas di Blora, Jawa Timur dan KHDTK Wanagama I di Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang dikelola oleh Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2024. Pada bulan Januari-Februari 2025, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Keringjing, Kabupaten Lampung Selatan.

Penulis menyelesaikan skripsi dengan judul "Dinamika Tutupan Hutan Mangrove Akibat Aktivitas Manusia di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur" di bawah bimbingan Trio Santoso, S.Hut., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing Pertama dan Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Kedua. Selain itu, penulis juga mempublikasikan skripsinya dalam jurnal ilmiah dengan judul yang sama pada publikasi ilmiah Journal of People, Forest and Environment (JOPFE) pada tahun 2025.

Karya tulis ini kupersembahkan dengan penuh khidmat dan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada :

Almarhum Apa, Ramli Chandra

Setiap doa, kerja keras, dan kasih sayang Apa adalah bekal berharganya. Kepergian Apa meninggalkan duka, namun juga mengajarkanku arti ketangguhan sejati. Kini, putramu telah menyelesaikan satu tahapan penting. Beristirahatlah dengan tenang.

Ama Tercinta, Eni Hastuti

Segala pengorbanan, doa tulus, dan kasih sayang Ama adalah kekuatan yang menuntun langkahku. Ketegaran Ama menjadi cahaya yang terus menyinariku. Skripsi ini adalah persembahan tulus untuk Ama.

Kepada kalian berdua, aku menghaturkan rasa syukur yang terdalam. Semoga menjadi kebahagiaan abadi bagi Apa dan kebanggaan kecil bagi Ama di dunia. Hanya Tuhan yang sanggup membalas segala kebaikan kalian.

**“Sampai atau tidak, bukanlah satu-satunya tujuan.
Yang terpenting adalah bagaimana kita berjalan
dengan hati yang lapang dan langkah yang penuh makna.”**

SANWACANA

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis bersyukur atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Dinamika Tutupan Hutan Mangrove Akibat Aktivitas Manusia di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur” dengan baik. Skripsi ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, motivasi, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM., selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Trio Santoso, S.Hut., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga untuk membimbing penulis dengan sabar dan penuh perhatian sejak awal penyusunan hingga selesainya skripsi ini.
5. Bapak Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan arahan, masukan, serta dukungan akademis selama proses penelitian dan penulisan.
6. Bapak Ir. Indriyanto, M.P., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi yang konstruktif untuk penyempurnaan skripsi ini.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staf Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman selama masa studi.
8. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ramli Chandra dan Ibu Eni Hastuti, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan tanpa henti. Sekali lagi terima kasih atas semua kerja keras dan pengorbanan yang telah diberikan.
9. Rekan-rekan seperbimbingan (Efraim Aldorino Stefanus, Bima Arif Hidayah, Muhammad Agung Permana, dan Muhammad Rofi) yang telah berproses bersama dan berbagi semangat, diskusi, dan dukungan selama proses penelitian dan penulisan.
10. Saudara seperjuangan angkatan 2021 (LABORIOSA) yang telah menjadi keluarga selama menempuh pendidikan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pembangunan berkelanjutan di wilayah pesisir.

Bandar Lampung, 09 Oktober 2025

Penulis,



Roni Candra

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Kerangka Pemikiran.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	6
2.2. Peran Ekosistem Mangrove.....	7
2.3. Perubahan Tutupan Lahan.....	7
2.4. Penginderaan Jauh.....	9
2.5. Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS	10
2.6. Indeks Vegetasi	12
2.7. Support Vector Machine (SVM).....	13
2.8. Penelitian Terkait	14
III. METODE	17
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan	17
3.3. Pengumpulan Data	19
3.4. Pengolahan Data.....	19
3.4.1. Preprocessing Citra	19
3.4.2. Ekstraksi Indeks Vegetasi	19
3.4.3. Pembuatan <i>Training sample</i>	20
3.4.4. Klasifikasi Citra dengan SVM	21
3.5. Analisis Data	21
3.5.1. Analisis Perubahan Tutupan Lahan	21
3.5.2. Validasi Akurasi Klasifikasi	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1. Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2014 dan 2024	24
4.2. Validasi Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2014 dan 2024	29
4.3. Analisis Perubahan Tutupan Lahan 2014-2024	33

	Halaman
4.4. Analisis Spasial dan Perubahan Mangrove Tahun 2014 - 2024	37
4.5. Implikasi Aktivitas Manusia Terhadap Ekosistem Mangrove	40
V. SIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Simpulan	44
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi Landsat 8 OLI/TIRS	11
2. Hasil uji akurasi tipe kernel SVM.....	14
3. Spesifikasi kumpulan data landsat 8 OLI.....	18
4. Komposisi kelas tutupan lahan tahun 2014 dan 2024.....	25
5. Confusion matrix klasifikasi tutupan lahan tahun 2014.....	29
6. Confusion matrix tahun 2024.....	31
7. Tabel matriks transisi kelas tutupan lahan 2014-2024.....	34
8. Statistik kelas tutupan lahan 2014-2024	35
9. Luasan perubahan mangrove tahun 2014-2024	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan alir kerangka pemikiran dinamika tutupan lahan mangrove.....	5
2. Peta lokasi penelitian.....	17
3. Training sample tahun 2014 dan 2024.....	20
4. Peta hasil klasifikasi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024.....	24
5. Diagram kelas tutupan lahan tahun 2014 dan 2024.	26
6. Kurva pemodelan Artificial Neural Network (ANN).	33
7. Peta transisi tutupan lahan tahun 2014-2024.	36
8. Sebaran mangrove di labuhan maringgai tahun 2014 dan 2024.	37
9. Transisi perubahan mangrove di labuhan maringgai tahun 2014-2024.....	39
10. Kondisi hutan mangrove di pesisir pantai Desa Margasari.....	58
11. Mangrove Api Api Putih (<i>Avicennia marina</i>).....	58
12. Proses groundcheck dan penitikan sampel kelas tutupan lahan.....	59
13. Hutan mangrove.....	59
14. Pemukiman.....	60
15. Lahan terbuka.....	60
16. Hutan non mangrove.....	61
17. Kebun campuran.....	61
18. Badan air.....	62
19. Sawah.....	62
20. Peta index vegetasi NDVI dan MNDWI tahun 2014.....	63
21. Peta index vegetasi NDVI dan MNDWI tahun 2024.....	63
22. Proses validasi akurasi dengan Acatama Plugin (Benar).....	64
23. Proses validasi akurasi dengan Acatama Plugin (Salah).....	64

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hutan mangrove di Indonesia adalah yang terluas di dunia, dengan luas 3.361.216 ha pada tahun 2017 (Rahardian dkk., 2019). Hutan mangrove memberikan kontribusi besar dalam mitigasi perubahan iklim global dan mendukung keanekaragaman hayati pesisir (Suriadi dkk., 2024). Hutan mangrove adalah hutan yang terdapat di daerah pantai yang selalu atau secara teratur tergenang air laut dan terpengaruh oleh pasang surut air laut (Senoaji dan Hidayat, 2016). Hutan ini memiliki adaptasi ekologis yang unik, seperti kemampuan untuk bertahan di lingkungan yang berkadar garam tinggi dan area beroksigen rendah, sehingga menjadi habitat bagi flora dan fauna spesifik yang tidak dapat hidup di tempat lain (Syah, 2020).

Ekosistem mangrove memiliki peran krusial bagi lingkungan dan juga masyarakat sekitar pantai dalam pencegahan akan terjadinya bencana alam. Ekosistem mangrove memiliki peranan penting, yaitu dapat memberikan perlindungan pantai dari erosi/abrasi dan juga sebagai penahan dan perembesan air laut pasang, serta melindungi kawasan di belakangnya dari tiupan angin laut (Alansori dkk., 2022). Mangrove juga berfungsi sebagai penyerap karbon yang signifikan dan membantu mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Dalam konteks perubahan iklim, mangrove memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan, sekaligus menyaring polutan dari atmosfer, sehingga berperan dalam mengurangi dampak gas rumah kaca (Heriyanto dan Subiandono, 2016). Dengan berbagai manfaat tersebut, pelestarian hutan mangrove menjadi krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan mendukung keanekaragaman hayati.

Perubahan tutupan hutan mangrove mengalami dinamika yang kompleks seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia di wilayah pesisir. Interaksi masyarakat sekitar pantai merupakan salah satu faktor terjadinya perubahan tutupan lahan sehingga menyebabkan degradasi pada hutan mangrove. Dewi (2018), menyatakan bahwa masyarakat sekitar hutan sangat tergantung hidupnya pada hutan seperti sebagai tempat tinggal, sumber pangan, aktivitas religi, dan aktivitas lainnya. Begitupun masyarakat yang tinggal di sekitar hutan mangrove biasanya mengonversi hutan mangrove menjadi pemukiman, tempat industri, lahan pertanian, tambak udang, dan lainnya sebagai salah satu mata pencahariannya.

Dinamika hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, mengalami perubahan signifikan akibat faktor antropogenik dan alami. Penelitian Darmawan dan Hilmanto (2014), menunjukkan bahwa konversi hutan mangrove di Labuhan Maringgai telah berlangsung sejak tahun 1970-an, ketika masyarakat pendatang mulai membuka lahan untuk tambak udang dan ladang padi. Seiring berjalannya waktu, eksploitasi mangrove semakin meningkat, diperparah dengan program transmigrasi yang menyebabkan pembukaan lahan baru, degradasi ekosistem mangrove, serta meningkatnya abrasi pantai. Hal ini sejalan dengan penelitian Ryan dkk. (2022), yang mengungkapkan bahwa penurunan luasan hutan mangrove dari tahun 2014 hingga 2020 di Desa Margasari disebabkan oleh adanya ekspansi lahan non-vegetasi, berupa tambak dan merambahnya pemukiman, serta kenaikan muka air laut.

Penelitian berkala menggunakan teknologi geospasial yang divalidasi dengan survei lapangan berguna dalam memperoleh pemahaman yang lebih akurat mengenai perubahan luasan mangrove dan faktor-faktor yang memengaruhinya (Ryan dkk., 2022). Perubahan penggunaan lahan merupakan informasi yang sangat penting dalam berbagai bidang yang dapat dianalisis berbasis spasial menggunakan data citra penginderaan jauh (Pattilouw *et al.*, 2019). Teknologi ini dapat memberikan data yang sangat akurat, cepat serta mudah mendapatkan informasi terkait keseragaman spasial permukaan bumi. Data penginderaan jauh merekam sifat spektral dari objek-objek yang ada di

permukaan bumi sehingga lebih erat kaitannya dengan tutupan lahan (Juniyanti dkk., 2020).

Studi sebelumnya telah mengidentifikasi degradasi signifikan mangrove dalam beberapa dekade terakhir, namun masih diperlukan pemantauan terkini dengan pendekatan geospasial yang lebih akurat untuk memahami dinamika tutupan lahan secara lebih komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi urgensi untuk dilakukan guna mengidentifikasi perubahan tutupan lahan pada rentang waktu 2014–2024. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan gambaran mengenai tren perubahan luas mangrove, tetapi juga dinamika keseluruhan tutupan lahan, termasuk badan air, hutan non-mangrove, pemukiman, tambak, sawah, lahan terbuka, dan kebun campuran. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengambilan kebijakan pengelolaan sumber daya lahan yang lebih berkelanjutan di wilayah pesisir Labuhan Maringgai.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, adapun rumusan masalah yang muncul adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana dinamika tutupan hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai selama periode 2014 hingga 2024?
2. Apa saja aktivitas manusia (konversi lahan) yang berdampak terhadap perubahan tutupan hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai?

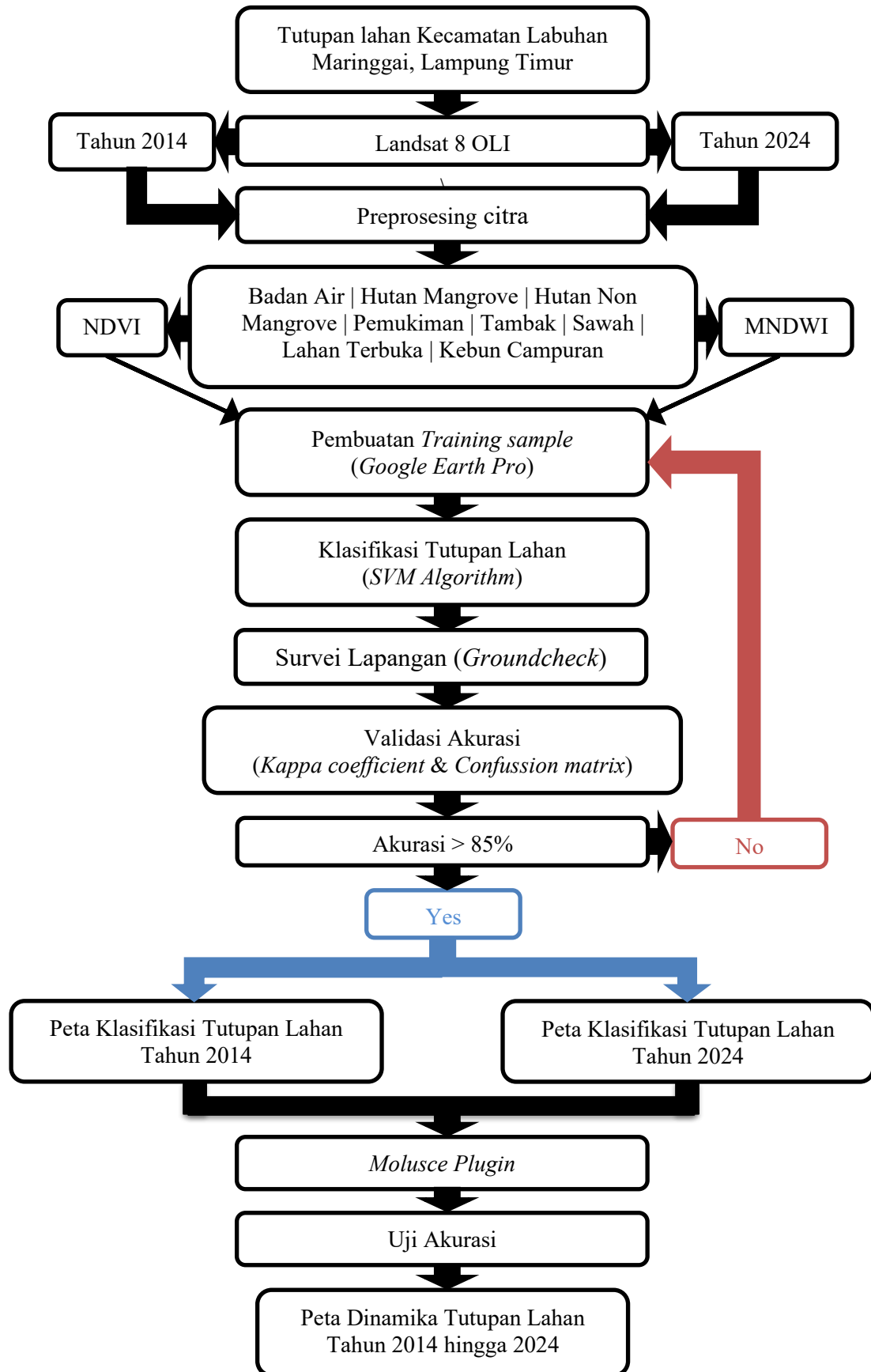
1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi dinamika tutupan hutan mangrove akibat aktivitas manusia selama periode 2014 hingga 2024 menggunakan citra satelit Landsat 8 di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur.
2. Menganalisis aktivitas manusia yang berdampak terhadap perubahan tutupan hutan mangrove berdasarkan data penginderaan jauh dan survei lapangan.

1.4. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini disusun untuk memahami dinamika tutupan lahan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, dengan pendekatan penginderaan jauh dan analisis spasial. Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia dan dinamika lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis perubahan delapan kelas tutupan lahan, yaitu badan air, hutan mangrove, hutan non mangrove, pemukiman, tambak, sawah, lahan terbuka dan kebun campuran dalam rentang waktu 2014 hingga 2024. Melalui penggunaan citra Landsat 8 OLI serta penerapan metode klasifikasi terbimbing dengan *Support Vector Machine* (SVM), penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan spasial yang terjadi serta menganalisis faktor-faktor yang berkontribusi terhadap perubahan tersebut. Validasi hasil klasifikasi dilakukan dengan metode *Confusion Matrix* yang mencakup perhitungan *Overall Accuracy* (OA) dan *Kappa Coefficient* (KC) untuk memastikan keakuratan peta hasil klasifikasi. Selanjutnya, analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan bantuan *MOLUSCE Plugins* untuk memahami pola transisi dan dinamika penggunaan lahan di wilayah penelitian. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai tren perubahan tutupan lahan serta implikasinya terhadap ekosistem dan keberlanjutan lingkungan di Kecamatan Labuhan Maringgai. Berdasarkan uraian tersebut dapat dilihat kerangka pemikiran dari penelitian ini pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir kerangka pemikiran dinamika tutupan lahan mangrove.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Labuhan Maringgai merupakan salah satu kecamatan yang terletak di ujung pesisir Kabupaten Lampung Timur yang memiliki 12 kelurahan/desa dengan Jumlah penduduk sebanyak 66.601 jiwa dan memiliki luas wilayah sebesar 5.764 ha dengan kondisi penduduk yang heterogen, baik dilihat dari suku bangsa maupun agama. Sedangkan jika dilihat secara geografis Kecamatan Labuhan Maringgai memiliki wilayah berupa daratan rendah dan rawa-rawa dengan tanah berpasir. Secara geografis batas-batas wilayah kecamatan Labuhan Maringgai adalah sebagai berikut: 1) di sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Braja Seleh dan Kecamatan Mataram Baru. 2) di sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Gunung Pelindung. 3) di sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Melinting. 4) di sebelah Timur berbatasan dengan laut Jawa (Jayanti, 2018).

Kecamatan Labuhan Maringgai merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Lampung Timur dengan luas wilayah yang cukup signifikan di pesisir timur. Berdasarkan data BPS Kabupaten Lampung Timur, kecamatan ini memiliki 15 desa dengan populasi yang dominan bekerja di sektor pertanian, perikanan, dan perdagangan. Selain itu, kawasan ini menjadi salah satu sentra produksi tambak udang di Lampung Timur, yang merupakan andalan perekonomian setempat. Infrastruktur jalan lintas pesisir yang melintasi Labuhan Maringgai turut mendukung aktivitas ekonomi dan distribusi hasil perikanan. Labuhan Maringgai juga dikenal dengan ekosistem pesisirnya, terutama hutan mangrove yang berfungsi sebagai pelindung alami garis pantai dari abrasi serta sebagai habitat spesies laut. Namun, potensi ini menghadapi ancaman degradasi akibat aktivitas tambak intensif dan penebangan liar. Menurut data BPS, beberapa desa di

kecamatan ini juga memiliki program rehabilitasi lingkungan untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir.

2.2. Peran Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem utama di perairan pesisir yang tidak hanya terbatas pada fungsi ekologi, tetapi juga fungsi fisik, fungsi sosial, fungsi ekonomi, maupun fungsi budaya (Rihulay and Papilaya, 2022). Keberadaan ekosistem ini memberikan manfaat yang signifikan dalam melindungi garis pantai dari abrasi dan mengurangi dampak bencana alam seperti tsunami. Komunitas mangrove mampu beradaptasi pada daerah substrat berlumpur dengan kadar salinitas yang relatif tinggi, yang menjadikannya habitat yang unik (Sasauw *et al.*, 2017). Adaptasi ini juga memungkinkan mangrove mendukung keanekaragaman hayati penting, termasuk ikan, udang, dan burung yang bergantung pada habitat tersebut. Dengan manfaat yang luas, pengelolaan dan rehabilitasi mangrove menjadi langkah strategis dalam mempertahankan ekosistem pesisir yang berkelanjutan.

Mangrove mempunyai fungsi dan peran yang sangat penting yang dapat dirasakan bagi kehidupan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, mangrove berfungsi sebagai sumber penghidupan perekonomian masyarakat, seperti kayu mangrove yang dapat dijadikan arang, serta hasil laut seperti kepiting, ikan, dan biota lainnya yang dapat dikonsumsi atau diperjualbelikan (Marbun dkk., 2022). Namun, disamping fungsinya yang vital, hutan mangrove merupakan ekosistem yang rentan terhadap perubahan, baik dari segi kondisi fisik maupun luasannya. Perubahan ini sering kali disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk serta tingginya aktivitas masyarakat di kawasan pesisir (Rahmadi dkk., 2020). Oleh karena itu, upaya konservasi dan rehabilitasi mangrove perlu dilakukan untuk menjaga manfaatnya yang berkelanjutan bagi ekosistem dan masyarakat.

2.3. Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan dalam *Land Use Land Cover* (LULC) atau biasa disebut dengan penggunaan tutupan lahan telah menjadi perhatian utama dalam penelitian

lingkungan selama beberapa dekade terakhir (Rahmat dkk., 2022). Berbagai faktor, seperti peningkatan jumlah penduduk, pembangunan infrastruktur, dan aktivitas ekonomi, berkontribusi terhadap perubahan tersebut serta mempengaruhi ekosistem dan keberlanjutan lingkungan. Untuk menganalisis dinamika perubahan ini, diperlukan pendekatan yang dapat menyediakan informasi yang akurat dan berkesinambungan. Studi mengenai LULC telah mengadopsi berbagai metode dan strategi, di mana penginderaan jauh berperan penting dalam menyediakan data yang komprehensif, andal, dan bersifat multi-temporal (Putraditama dkk., 2019). Penggunaan perencanaan berbasis LULC dapat memberikan dasar yang kuat untuk diskusi kebijakan yang penting karena penerapan kebijakan yang tepat sangat penting untuk mendorong dan meningkatkan pertumbuhan hutan. Oleh karena itu, keberhasilan berbasis bukti perencanaan tidak dapat ditekankan (Santoso dkk., 2023).

Perubahan tutupan lahan adalah cerminan dari transformasi dan hubungan umpan balik antara manusia dan lingkungan alam (Rakuasa, 2022). Tutupan lahan merepresentasikan proses interaksi dinamis antara aktivitas manusia dan sumber daya yang terdistribusi secara spasial di permukaan darat. Hal ini melibatkan elemen biofisik seperti air daratan, lahan kosong, atau infrastruktur buatan manusia (Kovyazin *et al.*, 2020). Transformasi ini menjadi indikator penting dalam memahami bagaimana aktivitas manusia mempengaruhi perubahan ekosistem alami. Dengan mengamati pola tutupan lahan, kita dapat mengidentifikasi dampak yang dihasilkan dari berbagai aktivitas, seperti urbanisasi atau perubahan penggunaan lahan, terhadap lingkungan dan sumber daya alam.

Perubahan tutupan/penggunaan lahan adalah peralihan bentuk dan lokasi penggunaan lahan lama menjadi yang baru atau perubahan fungsi lahan pada waktu yang berbeda. Tutupan lahan merupakan jenis gambaran sekarang pada permukaan bumi, sedangkan penggunaan lahan merupakan aktivitas manusia atau asosiasi fungsi ekonomi dengan bagian spesifik lahan. Tutupan lahan dapat menggambarkan keterkaitan antara proses alami dan sosial serta menyediakan informasi untuk permodelan dan memahami fenomena alam di permukaan bumi (Sampurno dan Thoriq, 2016).

Perubahan tutupan lahan adalah wujud dari proses interaksi yang dinamis antara aktivitas manusia dengan sumberdaya lahan, yang terdistribusi secara spasial (Rakuasa *et al.*, 2022). Secara khusus perubahan tutupan lahan yang paling cepat terlihat yaitu daerah disekitar perkotaan (Nath *et al.*, 2021). Perubahan tutupan lahan dapat berlangsung dalam waktu yang berbeda dan dalam skala bentuk dan ukuran yang berbeda pula (Rakhmonov *et al.*, 2021). Perubahan tutupan lahan dapat dikatakan pula sebagai beralihnya fungsi lahan yang satu dengan yang lain yang berhubungan langsung maupun tidak langsung dengan tujuan manusia dalam upaya pemenuhan kebutuhan hidupnya. Perubahan tutupan lahan sangat berpengaruh signifikan terhadap perencanaan pengembangan wilayah dan juga terhadap fungsi ekosistem di semua skala spasial, dari global hingga lokal (Talukdar *et al.*, 2021).

Secara umum, tingkat tutupan lahan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu areal bervegetasi dan areal tidak bervegetasi. Semua kategori tutupan lahan dalam kategori zona vegetasi berasal dari pendekatan konseptual untuk struktur geomorfologi yang konsisten dari morfologi tanaman, morfologi tutupan, tinggi tanaman, dan distribusi spasial. Dalam kategori kawasan non-vegetasi, rincian kategori mengacu pada aspek-aspek seperti tutupan permukaan, distribusi atau kepadatan, dan ketinggian atau kedalaman objek (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2018).

2.4. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah metode untuk mengumpulkan informasi mengenai objek, wilayah, atau fenomena tertentu melalui analisis data yang diperoleh menggunakan sensor tanpa perlu kontak langsung dengan objek tersebut. Teknologi ini juga didefinisikan sebagai teknik untuk mengenali suatu objek di permukaan bumi tanpa interaksi fisik langsung. Saat ini, penginderaan jauh berbasis satelit semakin populer karena penggunaannya yang luas dalam berbagai kegiatan, termasuk dalam pemetaan potensi sumber daya di wilayah pesisir dan laut. Popularitas ini didukung oleh sejumlah keunggulan, seperti biaya yang relatif ekonomis, ketersediaan data yang mudah diakses, kemampuan resolusi temporal untuk keperluan pemantauan berkala, cakupan wilayah yang

sangat luas, serta kemampuannya menjangkau area terpencil yang sulit diakses secara langsung (Rihulay and Papilaya, 2022).

Teknologi penginderaan jauh merupakan alat yang andal untuk memantau dan mempelajari perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan (Toure *et al.*, 2018). Berkat teknologi penginderaan jauh tercanggih yang menawarkan citra satelit multitemporal dan resolusi tinggi sebagai salah satu sumber data utama untuk mengkarakterisasi perubahan lingkungan, pemantauan lingkungan dapat dilakukan dengan lebih akurat (Rakuasa, 2022). Kemampuan ini memungkinkan identifikasi pola perubahan lahan dari waktu ke waktu secara lebih efektif. Selain itu, teknologi ini juga membantu mendukung perencanaan tata ruang yang lebih berkelanjutan. Dengan berbagai keunggulannya, teknologi penginderaan jauh menjadi pilihan utama dalam studi perubahan lingkungan dan pemanfaatan lahan.

Informasi tutupan lahan terbaru berupa peta dapat diperoleh melalui teknik penginderaan jauh (Sampurno dan Thoriq, 2016). Teknologi ini terus berkembang dengan dukungan sensor berkinerja tinggi yang memiliki resolusi spasial, spektral, dan temporal lebih baik, sehingga mampu meningkatkan kualitas data yang dihasilkan (Huang *et al.*, 2018). Dengan kemampuan tersebut, teknologi penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk menganalisis vegetasi, baik pada skala lokal maupun global. Analisis ini memberikan manfaat besar dalam mendukung penelitian dan pengelolaan sumber daya alam secara lebih efektif. Teknologi ini menjadi salah satu alat utama dalam pemantauan lingkungan secara cepat dan akurat (Marlina, 2022).

2.5. Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS

Citra satelit adalah salah satu sumber data penting dalam teknologi penginderaan jauh. Melalui analisis citra satelit dan citra digital, informasi geologi dapat diperoleh, termasuk pola sesar, pola lipatan, dan pola litologi. Data ini memungkinkan rekonstruksi berbagai skenario terkait fenomena tektonik, sejarah geologi, serta pola struktur geologi suatu wilayah. Penggunaan citra satelit memberikan keunggulan dalam mengamati pola geologi secara luas dan mendetail, terutama di area yang sulit dijangkau. Dengan demikian, teknologi ini

menjadi alat yang efektif dalam mendukung penelitian dan pemetaan geologi secara lebih efisien dan akurat (Aritonang dkk., 2022).

Landsat 8 merupakan kelanjutan misi Landsat yang pertama kali diluncurkan menjadi satelit pengamat bumi sejak tahun 1972 (Purwanto, 2016). Satelit ini membawa peningkatan signifikan dibandingkan pendahulunya, termasuk kemampuan untuk menangkap rentang spektrum gelombang elektromagnetik yang lebih panjang. Dengan sensor canggih, Landsat 8 mampu menyediakan data yang lebih akurat dan mendetail untuk berbagai aplikasi, seperti pemantauan perubahan tutupan lahan, analisis vegetasi, dan pengelolaan sumber daya alam. Keunggulan ini menjadikan Landsat 8 sebagai salah satu instrumen penting dalam penginderaan jauh hingga saat ini (Hardianto dkk., 2021).

Data citra Landsat 8 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki 11 Band (Tabel 1) yang diperoleh dari situs resmi Badan Survei Geografis Amerika Serikat (USGS) melalui platform akses terbuka di <https://earthexplorer.usgs.gov>. Satelit Landsat 8 yang diluncurkan pada 11 Februari 2013, dilengkapi dengan dua instrumen utama, yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (Masek *et al.*, 2020). Kedua sensor ini memungkinkan pemetaan komprehensif permukaan bumi setiap tahunnya. Kombinasi sensor OLI dan TIRS memungkinkan akuisisi data multispektral dan termal dengan resolusi spasial yang baik, sehingga mendukung berbagai analisis lingkungan dan pemantauan perubahan lahan secara akurat. Citra yang dihasilkan memiliki resolusi spasial 30 meter untuk spektrum tampak, inframerah dekat, dan gelombang pendek; 100 meter untuk data termal; serta 15 meter untuk citra pankromatik (Wu *et al.*, 2019). Data Landsat 8 OLI dipilih untuk mencakup wilayah Kecamatan Labuhan Maringgai (Path 123 dan Row 64). Untuk mengurangi pengaruh gangguan atmosfer seperti awan dan kabut, citra yang digunakan dipilih dengan cermat.

Tabel 1. Spesifikasi Landsat 8 OLI/TIRS

Landsat 8 OLI and TIRS Bands (μm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 – 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 – 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 – 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 – 0.673	Band 4

Tabel 1. (Lanjutan)

30 m NIR	0.851 – 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 – 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 – 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 – 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 – 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 – 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 – 1.384	Band 9

2.6. Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi adalah algoritma yang diterapkan pada citra untuk menampilkan berbagai aspek vegetasi atau parameter terkait, seperti *Leaf Area Index*, biomassa, dan konsentrasi klorofil, sehingga menghasilkan citra baru yang lebih informatif dan representatif. Salah satu indeks yang paling umum digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang menggambarkan tingkat kehijauan tanaman dan digunakan sebagai dasar dalam klasifikasi vegetasi suatu wilayah. NDVI dihitung dengan menggunakan rasio pantulan cahaya near-infrared dan red yang dipantulkan oleh tumbuhan, sehingga memberikan gambaran kerapatan dan kondisi vegetasi (Hardianto dkk., 2021). Algoritma ini sangat efektif untuk analisis ekosistem, pemantauan lingkungan, serta perencanaan penggunaan lahan.

Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) merupakan algoritma dalam pengolahan data penginderaan jauh yang dikembangkan sebagai penyempurnaan dari *Normalized Difference Water Index* (NDWI) untuk meningkatkan akurasi dalam mengekstrak wilayah perairan. Metode ini dirancang untuk memperjelas perbedaan antara daerah perairan dan kawasan urban dengan memanfaatkan reflektansi spektral yang lebih optimal (Putra dan Yulfa, 2021). Berbeda dengan NDWI yang menggunakan kanal inframerah dekat (NIR), MNDWI menggunakan kanal inframerah gelombang pendek (SWIR), yang lebih efektif dalam menekan pengaruh objek non-perairan seperti bangunan dan vegetasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa MNDWI mampu mengidentifikasi badan air secara lebih akurat dibandingkan NDWI, terutama di daerah dengan gangguan reflektansi tinggi akibat urbanisasi. Penggunaan SWIR

dalam algoritma ini meningkatkan sensitivitas terhadap keberadaan air dengan mengurangi efek pantulan dari permukaan lain, sehingga memberikan hasil yang lebih konsisten dalam berbagai kondisi atmosfer (Muzaky dan Jaelani, 2019). Oleh karena itu, MNDWI menjadi salah satu metode yang banyak diterapkan dalam studi pemetaan sumber daya air, analisis perubahan penggunaan lahan, serta mitigasi bencana banjir.

2.7. Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) adalah metode pembelajaran mesin yang digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi dengan membandingkan sekumpulan parameter standar yang disebut kandidat set. Teknik ini bekerja dengan menentukan *hyperplane* optimal yang memisahkan data ke dalam kelas yang berbeda berdasarkan fitur yang tersedia. Salah satu variasi SVM, yaitu SVM dengan fungsi aktivasi sigmoid, dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan pemetaan data non-linear ke dalam ruang berdimensi lebih tinggi, sehingga mempermudah pemisahan kelas yang lebih kompleks. Dalam tahap pengujian, SVM memanfaatkan data uji yang terdiri dari nilai target dan sejumlah fitur tambahan untuk membangun model klasifikasi yang lebih presisi. Hasil klasifikasi ini dapat divisualisasikan dalam bentuk *scatter plot*, yang memberikan gambaran grafis mengenai distribusi data serta pola klasifikasi yang terbentuk. Dengan kemampuannya dalam menangani data berdimensi tinggi dan menemukan pola optimal, SVM menjadi metode yang banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pengenalan pola, deteksi anomali, serta analisis perubahan tutupan lahan berbasis penginderaan jauh (Riadi dkk., 2019).

Metode klasifikasi multispektral untuk analisis tutupan lahan terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*). Perbedaan utama antara kedua metode ini terletak pada keterlibatan pengguna dan komputer dalam proses pengambilan keputusan klasifikasi objek (Purboyo dkk., 2024). SVM termasuk dalam klasifikasi terbimbing, di mana metode ini memperoleh informasi suatu objek dengan memisahkannya dari objek lain menggunakan kernel yang bekerja berdasarkan jarak *Euclidean* dalam ruang fitur

multi-dimensi. Secara konseptual, SVM bertujuan menemukan *hyperplane* optimal yang berfungsi sebagai pemisah antara dua kelas dalam ruang input. Metode ini berusaha mencari pemisah dengan margin maksimal untuk meningkatkan pemisahan antar kelas secara efektif, sehingga dapat meningkatkan kemampuan generalisasi terhadap data baru. Berbagai penelitian telah memanfaatkan SVM dalam identifikasi tutupan lahan, termasuk pemetaan wilayah pesisir dengan akurasi tinggi (Farda, 2017), identifikasi kawasan mangrove yang lebih presisi, serta klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra udara yang menghasilkan tingkat akurasi yang optimal (Hariyono dkk., 2023).

Algoritma SVM menggunakan empat jenis kernel, yaitu *Linear*, *Polynomial*, *Radial Basis Function* (RBF), dan *Sigmoid*. Dari keempat kernel tersebut, hasil uji akurasi tertinggi diperoleh pada kernel RBF dengan nilai akurasi sebesar 70,42% (Audina dkk., 2019). Oleh karena itu, kernel RBF dipilih sebagai metode utama dalam analisis perubahan tutupan lahan. Pemilihan kernel yang tepat sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan algoritma dalam mengklasifikasikan data dengan akurat. Kernel RBF mampu menangani data yang tidak linier dengan baik, sehingga cocok digunakan dalam pemetaan tutupan lahan yang kompleks dan beragam. Hasil uji akurasi algoritma SVM dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji akurasi tipe kernel SVM

Klasifikasi	<i>Overall Accuracy (%)</i>	Koefisien Kappa	Varians	Zhitung	Ztabel
MLH	54,93	0,44	0,0082	1,38	1,96
SVM <i>Linier</i>	30,28	0,22	0,0037	3,75	
SVM <i>Polynomial</i>	50,70	0,35	0,0041	2,45	
SVM <i>Sigmoid</i>	62,68	0,50	0,0092	0,9	
SVM RBF	70,42	0,61	0,0072	-	

2.8. Penelitian Terkait

Pada tahun 2017, luasan hutan mangrove di Kecamatan Kedung Kabupaten Jepara sekitar 48,9 Ha sedangkan pada tahun 2022 sekitar 67,7 Ha. Hal ini menunjukkan bahwa dalam 5 tahun terakhir terjadi peningkatan luasan hutan mangrove sekitar 18,8 Ha (Salsabela dkk., 2023). Hal ini dikarenakan telah banyak

kegiatan penanaman yang dilakukan pemerintah daerah, masyarakat serta LSM (Mustofa, 2018). Walaupun luasannya meningkat, dari hasil wawancara hutan mangrove di Kecamatan Kedung terdapat potensi kerusakan yang disebabkan oleh faktor alam dan faktor kegiatan manusia. Mangrove tidak dapat bertahan dengan adanya ombak besar dan abrasi. Adanya abrasi sendiri dapat disebabkan secara alamiah seperti angin, arus, dan gelombang. Arah dan kecepatan angin dapat mempengaruhi permukaan air laut sehingga menimbulkan arus dan gelombang (Wikantari dkk., 2018). Sedangkan faktor yang berasal dari kegiatan manusia meliputi penebangan pohon dan kegiatan peternakan. Kegiatan peternakan bisa menjadi penyebab rusaknya hutan mangrove ketika kegiatan peternakan dilakukan dengan melepasliarkan hewan ternak sehingga hewan ternak tersebut memakan daun mangrove atau bahkan merusaknya. Selain itu kegiatan manusia seperti pencemaran dan masalah sampah juga menjadi penyebab rusaknya ekosistem mangrove (Konom *et al.*, 2019).

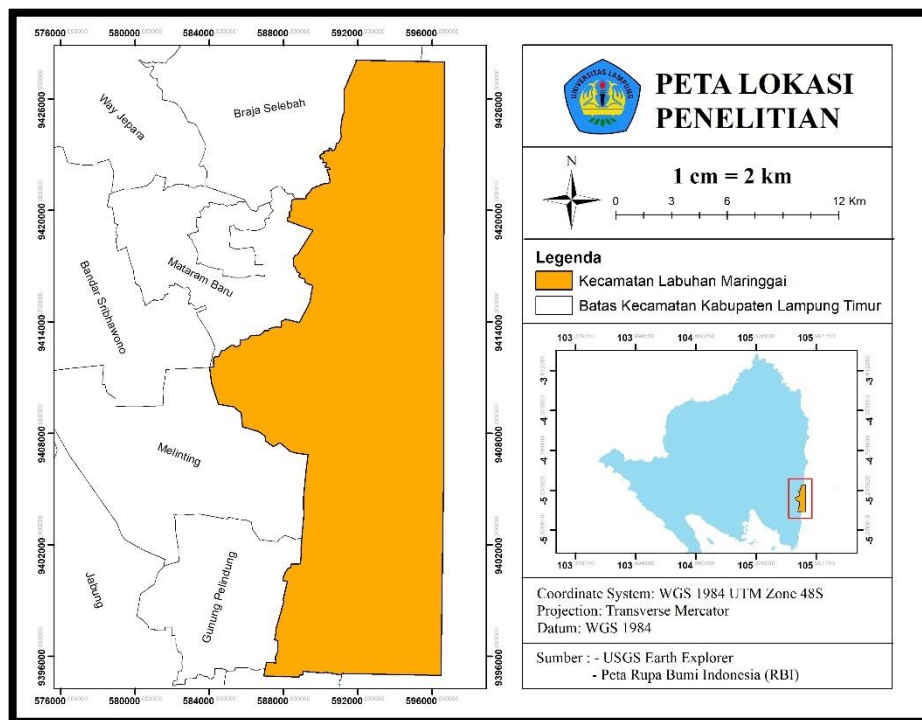
Pada penelitian yang dilakukan oleh Parera *et al.* (2024), di Kecamatan Talibura, Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur, periode 1990 sampai dengan 2004 terjadi pengurangan luasan area mangrove sebesar 60,84 Ha. Penambahan luasan mangrove meningkat menjadi 2,43 Ha pada pengamatan data tahun 2004 sampai dengan 2019. Besarnya pengurangan luasan mangrove diikuti dengan besarnya abrasi pada pesisir pantainya dimana abrasi terbesarnya adalah - 487,54 m dengan rata-rata perubahan pertahunnya adalah -16,25 m/tahun. Sedangkan akresi terbesarnya adalah 97,7 m dengan rata-rata perubahan pertahunnya adalah 3,26 m/tahun. Lokasi yang mengalami akresi sebagian besar terjadi pada Desa Darat Pantai, Talibura, dan Nangahale dengan perubahan tutupan mangrovenya dari tahun 1990, 2004, dan 2019 didominasi masih dalam keadaan sedang dan tinggi. Lokasi yang mengalami abrasi yaitu sebagian di Desa Darat Pantai, sebagian besarnya di Desa Bangkoor dan Wailamung dapat dilihat bahwa periode tahunnya tutupan mangrove yang kondisi kerapatan awalnya tinggi semakin lama semakin sedang dan menjadi kerapatan rendah lalu mangrovenya hilang. Perubahan tutupan lahan mangrove disebabkan oleh faktor alam dan adanya perubahan alih fungsi lahan akibat dari adanya interaksi masyarakat.

Jhonnerie (2014), mengemukakan bahwa degradasi mangrove yang terjadi diakibatkan oleh faktor alam dan antropogenik.

III. METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2025, bertempat di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Peta Lokasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian.

3.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan untuk mendukung analisis perubahan tutupan lahan mangrove. Alat yang digunakan meliputi GPS (*Global Positioning System*)/aplikasi *Avenza Maps* untuk menentukan titik

koordinat dalam survei lapangan, kamera handphone untuk mendokumentasikan kondisi lapangan sebagai data pendukung analisis, serta laptop untuk menjalankan perangkat lunak pemrosesan citra dan analisis data. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Google Earth Pro* untuk pembuatan *training sample*, QGIS untuk prosesing citra dalam analisis perubahan tutupan lahan dan Arcgis untuk visualisasi peta. *Toolbox* yang digunakan dalam QGIS meliputi *Dzetsaka Plugin* untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM), *Acatama Plugin* untuk menghitung validasi akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan dan *MOLUSCE Plugin* digunakan untuk analisis perubahan tutupan lahan dan perhitungan matriks transisi. Selain itu, *Microsoft Word* digunakan untuk penyusunan laporan penelitian, dan *Microsoft Excel* untuk pengolahan data tabular serta validasi akurasi klasifikasi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup citra satelit yang diunduh melalui laman resmi USGS (*United States Geological Survey*) dengan rentang waktu tahun 2014 dan 2024. Citra satelit yang digunakan terdiri dari Landsat 8 untuk kedua periode tersebut. Pemilihan data citra pada dua periode ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan luas tutupan lahan dan kawasan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur (Path 123 dan Row 64). Untuk meminimalkan efek awan dan kabut, saya dengan cermat memilih citra Landsat 8 (Tabel 3).

Tabel 3. 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, data SHP Kecamatan Labuhan Maringgai digunakan untuk melakukan masking wilayah penelitian agar analisis hanya dilakukan pada area yang relevan. Peta administrasi wilayah dan peta RBI atau peta dari *Google Earth* digunakan sebagai referensi tambahan dalam proses klasifikasi dan analisis perubahan tutupan lahan.

3.3. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini dilakukan melalui dua sumber utama, yaitu data penginderaan jauh dan data lapangan. Data penginderaan jauh diperoleh dari citra satelit *Landsat 8* untuk tahun 2014 dan 2024 yang diunduh dari USGS *Earth Explorer*. Citra satelit ini kemudian diolah untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan serta menganalisis perubahan tutupan hutan mangrove selama dua periode tersebut. Data SHP Kecamatan Labuhan Maringgai digunakan untuk melakukan *masking area* penelitian agar fokus pada wilayah yang relevan. 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 GPS serta didokumentasikan dengan kamera.

3.4. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* QGIS dengan beberapa tahapan utama sebagai berikut:

3.4.1. Preprocessing Citra

- a. Layer Stacking: Menggabungkan band 1-7 citra Landsat 8 OLI untuk masing-masing tahun (2014 dan 2024). Pemilihan seluruh band tersebut dilakukan untuk memaksimalkan informasi spektral yang dapat membedakan karakteristik masing-masing kelas tutupan lahan secara lebih akurat, mengingat setiap band memiliki kepekaan terhadap objek yang berbeda-beda.
- b. Masking Area Penelitian: Memotong citra sesuai dengan wilayah penelitian menggunakan data SHP Kecamatan Labuhan Maringgai.
- c. Koreksi Radiometrik: Mengoreksi citra untuk meminimalisir kesalahan akibat sensor, posisi satelit, dan atmosfer sehingga nilai spektral pixel lebih akurat.

3.4.2. Ekstraksi Indeks Vegetasi

- a. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan vegetasi dengan menggunakan band 5 (NIR) dan band 4 (Red), Roy *et al.* (2019), memformulasikannya dengan rumus:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Keterangan :

- NIR = Band 5
- Red = Band 4

- b. MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) digunakan untuk membedakan antara area badan air dan lahan dengan rumus:

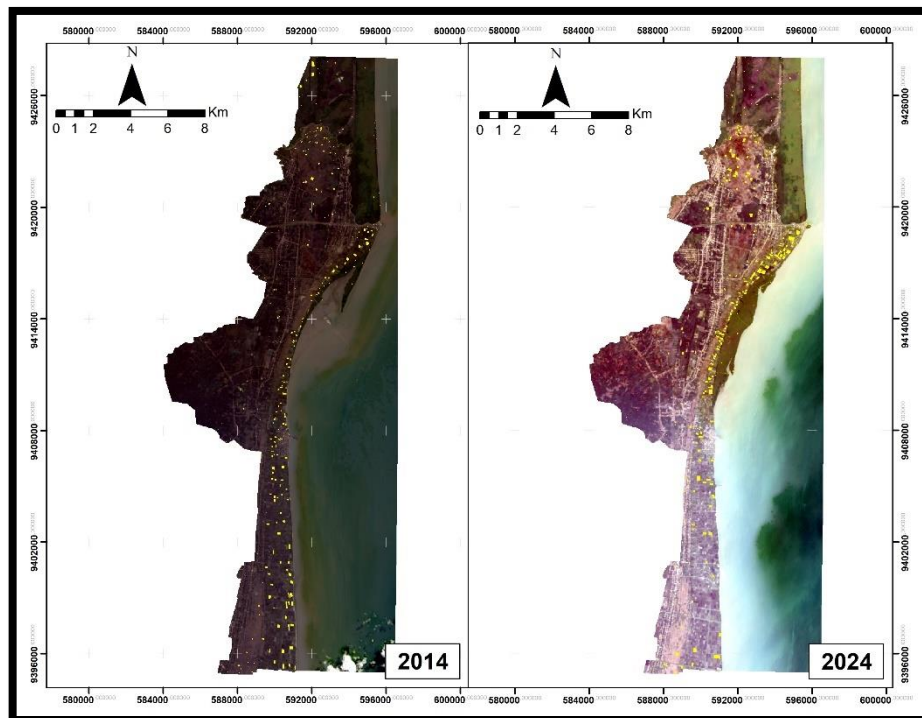
$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{SWIR1}) / (\text{Green} + \text{SWIR1})$$

Keterangan :

- Green = Band 3
- SWIR1 = Band 6 (*Shortwave Infrared 1*)

3.4.3. Pembuatan *Training sample*

Training sample klasifikasi tutupan lahan Kecamatan Labuhan Maringgai tahun 2014 dan 2024 menunjukkan representasi area sampel berupa poligon yang mewakili berbagai kelas tutupan lahan (Gambar 3).



Gambar 3. *Training sample* tahun 2014 dan 2024.

Pada penelitian ini saya menggunakan 8 kelas tutupan lahan yaitu: badan air, hutan mangrove, hutan non mangrove, pemukiman, tambak, sawah, lahan

terbuka dan kebun campuran. Pemilihan poligon dilakukan berdasarkan survei lapangan, citra satelit, dan basemap *Google Earth Pro*, yang bertujuan untuk memastikan akurasi optimal dalam model klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) (Dogru *et al.*, 2020).

3.4.4. Klasifikasi Citra dengan SVM

- a. Pembuatan *Training sample*: Menggunakan citra *Landsat* dan *basemap* untuk menentukan kelas tutupan lahan berdasarkan data lapangan dan referensi sekunder. Jumlah sampel latih ditentukan berdasarkan prinsip dalam penelitian penginderaan jauh, di mana setiap kelas LULC diwakili oleh jumlah piksel yang memadai untuk mendukung klasifikasi yang akurat. Sesuai dengan kaidah yang dijelaskan oleh (Dogru *et al.*, 2020).
- b. Pelatihan Model dengan *Support Vector Machine* (SVM): Melatih model klasifikasi dengan menggunakan *training sample* yang telah dibuat.
- c. Klasifikasi Tutupan Lahan: Menerapkan model SVM untuk menghasilkan peta klasifikasi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024.
- d. Penelitian ini mengklasifikasikan tutupan lahan ke dalam delapan kelas, yaitu badan air (Ba), hutan mangrove (Hm), hutan non mangrove (Hnm), pemukiman (Pm), tambak (Tm), Sawah (Sw), lahan terbuka (Lt) dan kebun campuran (Kc).

3.5. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi hasil klasifikasi serta perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kecamatan Labuhan Maringgai antara tahun 2014 dan 2024. Tahapan analisis mencakup dua komponen utama, yaitu: (1) analisis perubahan tutupan lahan, dan (2) validasi akurasi klasifikasi.

3.5.1. Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Peta klasifikasi hasil metode SVM dibandingkan antara tahun 2014 dan 2024 untuk mengidentifikasi transformasi penggunaan lahan. Analisis dilakukan secara spasial dan statistik untuk mengetahui pola perubahan, termasuk konversi hutan mangrove menjadi tambak, pertanian, dan pemukiman. *MOLUSCE Plugins* pada QGIS digunakan untuk menghitung luas masing-masing kelas tutupan lahan

serta menghasilkan matriks transisi yang menunjukkan pergeseran antar kelas tutupan lahan. *Plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation)* dimanfaatkan untuk memodelkan dan menganalisis perubahan tutupan lahan secara spasial dan statistik. Dalam penelitian ini, *MOLUSCE* digunakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- a. Data Input: Peta klasifikasi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024 hasil metode SVM.
- b. Metode Analisis: *Change Analysis* untuk menghasilkan matriks transisi yang mengkuantifikasi perubahan luas dan pergeseran antar kelas tutupan lahan.
- c. Pemodelan Perubahan: *Artificial Neural Network (ANN)* digunakan untuk memprediksi faktor-faktor perubahan lahan berdasarkan variabel spasial seperti jarak ke jalan, jarak ke pemukiman, dan jarak ke badan air.
- d. Validasi Model: Akurasi pemodelan dievaluasi menggunakan nilai *Figure of Merit (FoM)* dan *Kappa Coefficient* untuk memastikan keandalan hasil proyeksi perubahan.

Analisis ini memberikan pemahaman tentang dinamika spasial penggunaan lahan yang terjadi selama satu dekade terakhir.

3.5.2. Validasi Akurasi Klasifikasi

Uji Akurasi dilakukan dengan *Confusion Matrix* yaitu mengukur tingkat akurasi berdasarkan *Overall Accuracy (OA)* dan *Kappa Coefficient (KC)* (Shishir and Tsuyuzaki, 2018). Matriks ini memungkinkan analisis menyeluruh terhadap objek individu dalam setiap kelas serta interpretasi keseluruhan hasil klasifikasi (Pahleviannur, 2019). Akurasi dihitung dengan membandingkan luas area hasil klasifikasi dengan data referensi dari interpretasi citra serta observasi langsung di lapangan. *Confusion Matrix* mengintegrasikan berbagai perhitungan akurasi, termasuk *User's Accuracy (UA)*, *Producer's Accuracy (PA)*, dan *Overall Accuracy (OA)*. UA menunjukkan tingkat keberhasilan klasifikasi untuk setiap kategori berdasarkan perspektif pengguna, sedangkan PA mengevaluasi sejauh mana klasifikasi suatu kelas mencerminkan kondisi sebenarnya. Sementara itu, OA dihitung berdasarkan jumlah total kelas penggunaan tutupan lahan yang berhasil diklasifikasikan dengan benar. UA, PA dan OA dihitung pada Persamaan 1, 2, dan 3 (Sayyad *et al.*, 2021).

$$(1) \text{ UA} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\%$$

$$(2) \text{ PA} = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100\%$$

$$(3) \text{ OA} = \frac{\sum_i^r X_{ii}}{N} \times 100\%$$

Notasi X_{ii} , X_{+i} , X_{i+} , dan N masing-masing merepresentasikan nilai pada baris i dan kolom i di sepanjang diagonal, jumlah kelas tutupan lahan dalam baris i , jumlah kelas tutupan lahan dalam kolom i , serta total jumlah titik observasi.

OA hanya memperhitungkan jumlah data yang diklasifikasikan dengan benar berdasarkan hasil klasifikasi dan kondisi aktual di lapangan. Sebaliknya, *Kappa Coefficient* (KC) mempertimbangkan faktor kesalahan dalam proses klasifikasi, sehingga nilai KC cenderung lebih rendah dibandingkan OA. Kategori kesesuaian KC diklasifikasikan sebagai berikut: 0.81–0.99 menunjukkan kesesuaian hampir sempurna, 0.61–0.80 menunjukkan kesesuaian substansial, 0.41–0.60 menunjukkan kesesuaian sedang, 0.21–0.40 menunjukkan kesesuaian cukup, 0.01–0.20 menunjukkan kesesuaian rendah, dan $KC < 0$ menunjukkan ketidaksesuaian yang lebih kecil dari peluang acak (Viera and Garrett, 2005). Perhitungan nilai KC secara matematis dilakukan menggunakan Persamaan 4, sebagaimana diuraikan oleh (Rwanga and Ndambuki, 2017).

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

Dimana N , X_{+i} , X_{i+} , X_{ii} , dan r masing-masing merepresentasikan jumlah total titik tutupan lahan yang divalidasi, jumlah total titik yang telah diverifikasi dalam proses validasi, jumlah titik hasil validasi dalam setiap kelas tutupan lahan, jumlah titik yang diinterpretasikan untuk kelas tutupan lahan, serta jumlah kelas tutupan lahan berdasarkan interpretasi diagonal baris, dan jumlah total kelas tutupan lahan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis perubahan tutupan lahan di Kecamatan Labuhan Maringgai periode 2014–2024, dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut.

1. Ekosistem mangrove mengalami peningkatan luas sebesar 415,35 ha (53%) dari 783,81 ha (2014) menjadi 1.199,16 ha (2024). Peningkatan ini terutama akibat upaya rehabilitasi dan konversi dari lahan terbuka serta tambak yang tidak produktif. Namun, hanya 43,98% mangrove tahun 2014 yang tetap bertahan hingga 2024, menunjukkan bahwa tekanan antropogenik masih tinggi. Konversi terbesar terjadi menjadi tambak (11,02%) dan kebun campuran (7,45%), yang mengindikasikan bahwa aktivitas ekonomi masih menjadi ancaman utama.
2. Aktivitas manusia memiliki dampak kompleks dan ganda terhadap ekosistem mangrove. Di satu sisi, tekanan antropogenik seperti konversi historis untuk tambak, eksploitasi kayu, dampak tidak langsung dari perkebunan, dan pembangunan infrastruktur masih berlangsung dan memicu degradasi kualitas habitat. Di sisi lain, penurunan aktivitas tambak akibat abrasi dan ditinggalkannya lahan tidak produktif justru memicu pemulihan alami mangrove. Temuan kematian mangrove *Avicennia* sp. akibat genangan permanen juga menunjukkan bahwa tekanan global (seperti kenaikan muka air laut) memperburuk dampak dari tekanan lokal yang ada.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian ini, maka dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut.

1. Bagi pemerintah daerah dan pengambil kebijakan :

- Perlunya kebijakan tata ruang yang lebih ketat dan berbasis ekosistem, dengan memprioritaskan rehabilitasi lahan bekas tambak yang terbengkalai dan penghubung (koridor ekologis) antar petak mangrove yang terfragmentasi untuk meningkatkan konektivitas habitat.
- Menerapkan skema insentif/disinsentif dan penguatan penegakan hukum untuk mencegah konversi mangrove lebih lanjut, serta mendorong praktik *silvofishery* (tambak ramah lingkungan) yang terintegrasi dengan mangrove pada zona-zona yang sesuai.
- Membangun sistem pemantauan berkala yang memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan melibatkan partisipasi masyarakat untuk mendeteksi perubahan dan gangguan secara dini.

2. Bagi masyarakat lokal dan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) :

- Meningkatkan kapasitas masyarakat melalui program pemberdayaan yang mengedepankan ekonomi biru berkelanjutan, seperti ekowisata mangrove, budidaya ikan ramah lingkungan, dan pengolahan hasil hutan bukan kayu (HHBK) untuk mengurangi ketergantungan pada aktivitas yang merusak ekosistem.
- Melibatkan masyarakat secara aktif dalam kegiatan rehabilitasi dan pemantauan berbasis komunitas, termasuk pencatatan dan pelaporan terhadap kegiatan perambahan atau kerusakan mangrove.

3. Bagi peneliti selanjutnya :

- Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai kesehatan dan kerapatan tegakan mangrove (*beyond* luasan) menggunakan data resolusi tinggi atau *hyperspectral*, serta mengkaji kandungan karbon biru (*blue carbon*) untuk memahami nilai ekosistem ini secara utuh.
- Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk memetakan dan memodelkan dampak kenaikan muka air laut dan perubahan iklim terhadap kerentanan spesies-spesies mangrove tertentu, guna menyusun strategi adaptasi yang lebih efektif.

- Meneliti efektivitas teknik rehabilitasi mangrove yang berbeda (misalnya penanaman vs regenerasi alami berbantuan) pada berbagai tipe substrat dan tingkat kerusakan untuk memberikan rekomendasi restorasi yang lebih tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A.M. 2023. *Advanced Neural Network Applications in Land Cover Change Modeling*. Remote Sensing of Environment, 285, 113402.
- 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.
- Alongi, D.M. 2015. *The Dynamics of Mangrove Ecosystems: Resilience and Vulnerability to Climate Chang*. Springer.
- Angelina, R., Syamsuddin, M. L. 2025. Analisis perubahan garis pantai pasca restorasi mangrove di kawasan pesisir pasir sakti, lampung timur: analysis of coastline changes after mangrove restoration in the pasir sakti coastal area, east lampung. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 7(1), 25-32.
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Yuniarti, N., Novita, N. 2022. *Challenges and Strategies for Sustainable Mangrove Management in Indonesia: a review*. *Forests*, 13(5), 695.
- Bosire, J.O., Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J.G., Koedam, N. 2021. *Mangrove Rehabilitation: A Review Focusing on Ecological and Institutional Aspects*. *Restoration Ecology*, 29 (3), e13357.
- Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K. H. Seto, K. C. 2017. *Future Urban Land Expansion and Implications for Global Croplands*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8939-8944.
- Bryan, B.A., Runting, R.K., Beyer, H.L. 2018. *The Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services*. *Nature Communications*, 9(1), 1-10.
- Castillo, J.A.A., Apan, A.A., Maraseni, T.N. 2023. *Mapping Mangrove Forests Using Multi-Sensor Data: A Comparison of Machine Learning Techniques*. *Remote Sensing*, 15(4), 1023.

- Chen, C., Zou, Z., Sun, W., Yang, G., Song, Y., Liu, Z. 2024. Mapping the distribution and dynamics of coastal aquaculture ponds using landsat time series data based on u2-net deep learning model. *International Journal of Digital Earth*, 17(1), 2346258.
- Congalton, R.G., Green, K. 2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press.
- Darmawan, A., Hilmanto, R. 2014. Perubahanutupan hutan mangrove di pesisir kabupaten lampung timur. *Jurnal Sylva Lestari*, 2(3), 111-124.
- Darmawan, A., Setyawan, E., Supriharyono. 2022. *Community-based Mangrove Management in Indonesia: Challenges and Opportunities*. Marine Policy, 136, 107919.
- Dewi, I. N. 2018. *Kemiskinan Masyarakat Sekitar Hutan dan Program Perhutanan Sosial*. Buletin Eboni, 15(2), 65-77.
- Dogru, A. O., Goksel, C., David, R. M., Tolunay, D., Sözen, S., Orhon, D. 2020. *Detrimental Environmental Impact of Large Scale Land Use through Deforestation and Deterioration of Carbon Balance in Istanbul Northern Forest Area*. Environmental Earth Sciences 79(11), 1 13.
- Farda, N. M. 2017. *Multi-Temporal Land Use Mapping of Coastal Wetlands Area Using Machine Learning in Google Earth Engine*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 98(1), 012042.
- Fassnacht, F. E., White, J. C., Wulder, M. A., Næsset, E. 2024. Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(1), 11-37.
- Friess, D.A., Rogers, K., Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Hamilton, S.E., Lee, S.Y., Wee, A.K.S. 2019. *The State of the World's Mangrove Forests: Past, Present, and Future*. Annual Review of Environment and Resources, 44, 89-115.
- Gunawan, H., Setyawati, T., Atmoko, T., Kwatrina, R. T., Yeny, I., Yuwati, T. W., Kuswanda, W. 2024. *A Review of Forest Fragmentation in Indonesia Under the DPSIR Framework for Biodiversity Conservation Strategies*. Global Ecology and Conservation, 51, e02918.
- Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., Rifiana, N. S. 2021. Pemanfaatan citra landsat 8 dalam mengidentifikasi nilai indeks kerapatan vegetasi (ndvi) tahun 2013 dan 2019 (area studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(1), 8-15.
- Hariyono, M. I., Rokhmatuloh, R. S. Dewi. 2023. *Land Use and Land Cover (LULC) Classification with Machine Learning Approach Using Orthophoto Data*. Majalah Ilmiah Globe. 25(1), 87-89.

- Heriyanto, N. M., Subiandono, E. 2016. Peran biomasa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan* 13(1), 1–12.
- Hogarth, P.J. 2015. *The Biology of Mangroves and Seagrasses (3rd ed.)*. Oxford University Press.
- Huang, Y., Chen, Z.X., Yu, T., Huang, X.Z., Gu, X.F. 2018. Agricultural remote sensing big data: management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 22 (3), 1-17.
- Ilman, M., Dargusch, P., Dart, P. 2016. *A Historical Analysis of the Drivers of Loss and Degradation of Indonesia's Mangroves*. Land use policy, 54, 448-459.
- Indrajaya, Y., Yuwati, T. W., Lestari, S., Winarno, B., Narendra, B. H., Nugroho, H. Y. S. H. Mendham, D. 2022. *Tropical Forest Landscape Restoration in Indonesia: A Review*. Land, 11(3), 328.
- Ir, R., Syaeba, M. 2018. *Alih Fungsi Lahan Pertanian Menjadi Kawasan Pemukiman di Kecamatan Polewali Kabupaten Polewali Mandar*. Papatudzu: Media Pendidikan dan Sosial Kemasyarakatan, 14(2), 187-195.
- Jayanti, R. 2018. Pengaruh kepemimpinan transformasional dan budaya organisasi terhadap produktivitas kerja guru di smp/mts se-Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur Lampung. *Jurnal Lentera Pendidikan*, 3(1), 110-124.
- Johan, S., Apriliani, D. 2024. Pengaruh power dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai Air Rami dan Selagan Jaya, Provinsi Bengkulu. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 8(1), 55-72.
- Juniyanti, L., Prasetyo, L. B., Aprianto, D. P., Purnomo, H., Kartodihardjo, H. 2020. Perubahan penggunaan dan tutupan lahan, serta faktor penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(3), 419-435.
- Kovyazin, V. F., Romanchikov, A. Y., Anh, D. T. L., Hung, D. V., Hung, V. Van. 2020. *Predicting Forest Land Cover Changes in Ba Be National Park of Vietnam*. {IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science, 574, 12038.
- Kusuma, S. S., Arjasakusuma, S., Rafif, R., Saringatin, S., Wicaksono, P., Aziz, A. A. 2021. *Assessment of Image Segmentation and Deep Learning for Mapping Paddy Fields Using Worldview-3 in Magelang, Central Java Provinces, Indonesia*. In Seventh Geoinformation Science Symposium 2021, 12082(53-61).

- 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, D., Idris, M. H. 2025. Analisis perubahan tutupan hutan pada kawasan hutan lindung KPH Rinjani Timur Pulau Lombok. *Bioindikator: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 2(1), 43-53.
- Lee, S.Y., Hamilton, S., Barbier, E.B., Primavera, J., Lewis, R.R. 2021. *Mangrove Restoration and Rehabilitation: A Global Perspective*. Science of the Total Environment, 753, 142345.
- Leijten, F., Baldos, U. L. C., Johnson, J. A., Sim, S., Verburg, P. H. 2023. *Projecting Global Oil Palm Expansion Under Zero-deforestation Commitments: Direct and Indirect Land Use Change Impacts*. Iscience, 26(6).
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S. Wang, S. 2018. *High-resolution Multi-temporal Mapping of Global Urban Land Using Landsat Images Based on the Google Earth Engine Platform*. Remote sensing of environment, 209(227-239).
- Mahuris, A., Lestari, F., Susiana, S., Rochmady, R. 2025. Density and regeneration of mangrove ecosystems in open and natural areas in the waters of Kampung Batu Licin, East Bintan. *Akuatikisile: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, 9(2), 73-78.
- Mananoma, T., Wantouw, F., Sompie, E. N. G., Ratu, Y. A., Thambas, A. H., Raco, B., Auwyanto, K. H. 2025. *Morfologi Sungai: Proses, Dinamika, dan Pengelolaan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Marbun, Y., Sari, D. P., Jaya, M. A., Rais, M., Damanik, M. R. S. 2022. Analisis perubahan luasan tutupan hutan mangrove di Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat. *Journal of Laguna Geography*, 1(1), 1-8.
- Marlina, D. 2022. *Klasifikasi Tutupan Lahan pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan dengan NDVI dan Algoritme Random Forest*. STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi), 7(1), 41-49.
- Masek, J. G., Wulder, M. A., Markham, B., McCorkel, J., Crawford, C. J., Storey, J., Jenstrom, D. T. 2020. *Landsat 9: Empowering Open Science and Applications through Continuity*. Remote Sensing of Environment 248(7), 111968.
- Maxwell, A.E., Warner, T.A., Guo, Z. 2023. *Explainable machine learning for improving land cover classification accuracy*. Remote Sensing of Environment, 285(113-125).

- Muzaky, H., Jaelani, L. M. 2019. Analisis pengaruh tutupan lahan terhadap distribusi suhu permukaan: kajian urban heat island di Jakarta, Bandung dan Surabaya. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 1(2), 45-51.
- Nadzirah, R., Indarto, I., Brillyansyah, D. F. 2022. Studi pendahuluan aplikasi citra sentinel untuk deteksi luas sawah irigasi di Kabupaten Jember. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 10(1), 24-38.
- Nath, B., Ni-Meister, W., Choudhury, R. 2021. *Impact of Urbanization on Land Use and Land Cover Change in Guwahati City, India and its Implication on Declining Groundwater Level*. Groundwater for Sustainable Development, 12(100500).
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H. Troell, M. 2021. *A 20-Year Retrospective Review of Global Aquaculture*. Nature, 591(7851), 551-563.
- Nguyen, T.H., Jones, S.D., Vega-García, C. 2023. Discriminating aquaculture ponds from natural water bodies using sentinel-1 and sentinel-2 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry*, 185, 146-160.
- Nurhidayah, L., Saputra, A., Yulianto, F. 2024. *Degradation and Recovery of Mangrove Ecosystems in Lampung: A Spatial-Temporal Analysis*. Marine Policy, 120, 104-115.
- Pahleviannur, M. R. 2019. Pemanfaatan informasi geospasial melalui interpretasi citra digital penginderaan jauh untuk monitoring perubahan penggunaan lahan. *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, 4(2), 18–26.
- Pamungkas, A. F., Nugroho, W. H., Yudiana, B. 2024. Strategi penanganan kawasan permukiman kumuh pesisir Pekalongan melalui mitigasi bencana dan pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 20(2), 81-96.
- Pattilouw, I. R., Mardiatmoko, G., Puturuhi, F. 2019. Analisis perubahan tutupan lahan hutan di IUPHHK-HA PT. Gema Hutan Lestari Kabupaten Buru Provinsi Maluku. *Jurnal Hutan Pulau-pulau Kecil*, 3(2), 127-135.
- Phiri, D., Simwanda, M., Nyirenda, V. 2023. *Monitoring Fallow Dynamics in Paddy Fields Using Time-Series Sentinel-2 Data*. Agricultural Systems, 195, 103-120.
- Primavera, J.H., Esteban, J.M.A. 2023. *Sustainable Aquaculture Practices in Southeast Asia*. Aquaculture Reports, 32, 101704.
- Purboyo, A. A., Kurniawan, A., Muta'ali, L. 2024. Identifikasi tutupan lahan menggunakan support vector machine di kawasan perkotaan Cekungan Bandung. *Jurnal Komtika (Komputasi dan Informatika)*, 8(1), 54-64.

- Purwanto, A. 2016. Pemanfaatan citra Landsat 8 untuk identifikasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Kecamatan Silat Hilir kabupaten Kapuas Hulu. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 13(1), 27-36.
- Putra, B. G., Yulfa, A. 2021. Identifikasi penggunaan MNDWI dalam dinamika perubahan garis pantai di Kota Padang dari tahun 2015-2020. *Jurnal Buana*, 5(6), 1244-1255.
- Putraditama, A., Kim, Y. S., Sánchez Meador, A. J. 2019. *Community Forest Management and Forest Cover Change in Lampung, Indonesia*. *Forest Policy and Economics* 106(9), 101976.
- 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.
- Rahmadi, M. T., Suciani, A., Auliani, N. 2020. Analisis perubahan luasan hutan mangrove menggunakan citra landsat 8 OLI di Desa Lubuk Kertang Langkat. *Media Komunikasi Geografi*, 21(2), 110–119.
- Rahmat, A., Ramadhan, A. N., Ramadhani, W. S., Listiana, I., Yanfika, H., Widyastuti, R. A. D., Mutolib, A. 2022. *Changes in Land Cover using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Method in Kedamaian Subdistrict, Bandar Lampung City as Urban City*. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Rakhmonov, S., Umurzakov, U., Rakhmonov, K., Bozarov, I., Karamatov, O. 2021. *Land Use and Land Cover Change in Khorezm, Uzbekistan*. *E3S Web of Conferences*, 227, 01002.
- Rakuasa, H. 2022. Analisis spasial-temporal perubahan tutupan lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 3(2), 115-122.
- Rakuasa, H., Salakory, M., Mehdil, M. C. 2022. Prediksi perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon menggunakan cellular automata markov chain. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 6(2), 59–75.
- Riadi, I., Umar, R., Aini, F. D. 2019. Analisis perbandingan detection traffic anomaly dengan metode naive bayes dan Support Vector Machine (SVM). *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 11(1), 17-24.
- Richards, D.R., Friess, D.A. 2016. *Rates and Drivers of Mangrove Deforestation in Southeast Asia, 2000-2012*. *Global Environmental Change*, 41, 228-239.

- Rihulay, T. D., Papilaya, F. S. 2022. Analisa perubahan luas tutupan lahan mangrove di Teluk Ambon dalam menggunakan OBIA. *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, 4(01), 7-12.
- Roy, S., Mahapatra, M. Chakraborty. 2019. *A Mapping and Monitoring of Mangrove Along the Odisha Coast Based on Remote Sensing and GIS Techniques*. Model. Earth Syst. Environ. 5, 217–226.
- Rwanga, S. S., Ndambuki, J. M. 2017. Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.
- Ryan, F., Sembahen, B. M., Abi Fajar, M., Falensky, M. A. 2022. Penggunaan teknologi geospasial dalam upaya konservasi mangrove di Desa Margasari, Kabupaten Lampung Timur. *SPECTA Journal of Technology*, 6(1), 109-121.
- Ryan, F., Sembahen, B.M., Abi Fajar, M., Falensky, M.A. 2022. Penggunaan teknologi geospasial dalam upaya konservasi mangrove di Desa Margasari, Kabupaten Lampung Timur. *SPECTA Journal of Technology*, 6(1), 109-121.
- Sampurno, R. M., Thoriq, A. 2016. Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan*, 10(2), 1978-1067.
- Sannigrahi, S., Zhang, Q., Pilla, F., Joshi, P.K., Basu, B., Keesstra, S. Sutton, P.C. 2020. Examining effects of climate change and land use dynamic on biophysical and economic values of ecosystem services of a natural reserve region. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120424.
- Santoso, H., Wijaya, A., Arifin, B. 2024. *Agroforestry Complexity in Coastal Landscapes: Implications for Remote Sensing Classification*. *Agroforestry Systems*, 98(3), 511-525.
- Santoso, T., Darmawan, A., Sari, N., Syadza, M. A. F., Himawan, E. C. B., Rahman, W. A. 2023. Clusterization of agroforestry farmers using k-means cluster algorithm and elbow method. *Jurnal Sylva Lestari*, 11(1), 107–122.
- 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* 2(1).
- Sasauw, J., Kusen, J., Schaduw, J. 2017. Struktur komunitas mangroce di Kelurahan Tongkaina Manado. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 4(2), 17.

- Sasmito, S. D., Taillardat, P., Clendenning, J. N., Cameron, C., Friess, D. A., Murdiyarso, D., Hutley, L. B. 2019. *Effect of Land-Use and Land-Cover Change on Mangrove Blue Carbon: A Systematic Review*. *Global change biology*, 25(12), 4291-4302.
- Sasmito, S. D., Basyuni, M., Kridalaksana, A., Saragi-Sasmito, M. F., Lovelock, C. E., Murdiyarso, D. 2023. *Challenges and Opportunities for Achieving Sustainable Development Goals Through Restoration of Indonesia's Mangroves*. *Nature Ecology & Evolution*, 7(1), 62-70.
- Savitri, E., Pramono, I. B. 2017. Reklasifikasi peta penutupan lahan untuk meningkatkan akurasi kerentanan lahan. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 5(2), 83-94.
- Sayyad, S., Shaikh, M., Pandit, A., Sonawane, D., Anpat, S. 2021. *Confusion Matrix-Based Supervised Classification using Microwave SIR-C SAR Satellite Dataset*. *Science of Remote Sensing* 3(9): 176–187.
- Senoaji, G. Hidayat, M.F. 2016. Peranan ekosistem mangrove di pesisir Kota Bengkulu dalam mitigasi pemanasan global melalui penyimpanan karbon. *J. Manusia dan Lingkungan*, 23(3), 327-333.
- Setiawan, A., Syamsuddin, T. 2025. *Optimalisasi Penggunaan Lahan Rawa Lebak Dengan Pendekatan Teknologi Berbasis Lokasi di Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan*. *AGRONITAS*, 7(1), 497-512.
- Shishir, S., Tsuyuzaki, S. 2018. *Hierarchical Classification of Land Use Types using Multiple Vegetation Indices to Measure the Effects of Urbanization*. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(6), 1–15.
- Sondak, C. F. 2015. Estimasi potensi penyerapan karbon biru (*blue carbon*) oleh hutan mangrove Sulawesi Utara. *Journal of Asean Studies on Maritime Issues*, 1(1), 24-29.
- Subekti, R., Sulistiyono, A., Maharani, D. P., Dewi, I. G. A. G. S. 2023. *The Urgency of the Legal Strategy of Abandoned-Land Use Through the Formation of Land Bank in Indonesia*. *Cogent Social Sciences*, 9(1), 2239050.
- Suriadi, L. M., Denya, N. P., Shabrina, Q. A., Yuliana, R., Agustina, G., Kuspraningrum, E., Asufie, K. N. 2024. Perlindungan sumber daya genetik ekosistem mangrove untuk konservasi lingkungan dan keseimbangan ekosistem. *Jurnal Analisis Hukum*, 7(2), 234-253.
- Syah, A. F. 2020. Penanaman mangrove sebagai upaya pencegahan abrasi di Desa Socah. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*, 6(1), 13-16.

- Talukdar, S., Eibek, K. U., Akhter, S., Ziaul, S., Towfiqul Islam, A. R. M., Mallick, J. 2021. *Modeling Fragmentation Probability of Land-Use and Land-Cover Using the Bagging, Random Forest and Random Subspace in the Teesta River Basin, Bangladesh*. *Ecological Indicators*, 126, 107612.
- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H., Weeks, J., Lopez-Carr, D. 2018. *Land Cover and Land Use Change Analysis Using Multi-Spatial Resolution Data and Object-Based Image Analysis*. *Remote Sensing of Environment*, 210, 259–268.
- Triscowati, D. W., Sartono, B., Kurnia, A., Dirgahayu, D., Wijayanto, A. W. 2020. Classification of rice-plant growth phase using supervised random forest method based on landsat-8 multitemporal data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 16(2), 187-196.
- Viera, A. J., Garrett, J. M. 2005. *Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic*. *Family Medicine* 37(5), 360–363.
- Wu, Z., Snyder, G., Vadnais, C., Arora, R., Babcock, M., Stensaas, G., Doucette, P., Newman, T. 2019. *User Needs for Future Landsat Missions*. *Remote Sensing of Environment*, 231(7): 111-214.
- Xu, X., Fu, D., Su, F., Lyne, V., Yu, H., Tang, J. Wang, J. 2024. *Global Distribution and Decline of Mangrove Coastal Protection Extends Far Beyond Area Loss*. *Nature Communications*, 15(1), 10267.
- Yu, L. 2018. *Sea Surface Exchanges of Momentum, Heat, and Freshwater Determined by Satellite Remote Sensing*. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- Yuliasamaya, Darmawan, A., Hilmanto, R. 2014. Perubahan tutupan hutan mangrove di pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3), 111-124.
- Yusuf, W. A., Susilawati, H. L., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T. Husaini, M. 2023. *Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Pertanian: Karakteristik dan Penanggulangannya*. UGM PRESS.
- Zhang, X., Foody, G.M. 2023. Optimal sampling strategies for improving land cover classification accuracy in complex landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation*, 112, 102-115.
- Zhu, Z., Zhou, Y., Seto, K.C., Stokes, E.C., Deng, C., Pickett, S.T.A., Taubenböck, H. 2023. Understanding an urbanizing planet: strategic directions for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 195, 228-243.