

ANALISIS MULTI-TEMPORAL PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE DAN PENGARUHNYA TERHADAP DINAMIKA ABRASI PANTAI DI BABULU LAUT KALIMANTAN TIMUR

Fransisko Sitanggang¹, Arum Sekar Kedhaton², Sutriani³, Djayusman⁴

^{1,2,3,4}Prodi Pendidikan Geografi FKIP, Universitas Mulawarman, email franssitanggang650@gmail.com

¹franssitanggang650@gmail.com; ²arumsekar@fkip.unmul.ac.id; ³sutriani@fkip.unmul.ac.id;

⁴djayus@fmipa3.unmul.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas pesisir dan meredam abrasi pantai. Namun, tekanan antropogenik yang meningkat menyebabkan degradasi mangrove di berbagai wilayah pesisir, termasuk Babulu Laut, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan mangrove secara multitemporal serta mengkaji pengaruhnya terhadap dinamika abrasi pantai. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif berbasis penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan memanfaatkan citra Landsat Collection 2 Level-2 tahun 2006, 2016, dan 2026. Analisis dilakukan menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) untuk mengidentifikasi perubahan tutupan mangrove dan Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) untuk menganalisis dinamika perairan pesisir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas tutupan mangrove mengalami penurunan signifikan dari ±435,1 ha pada tahun 2006 menjadi ±320,9 ha pada tahun 2026, atau berkurang sekitar 26,2%. Penurunan tutupan mangrove tersebut diikuti oleh peningkatan luasan badan air pada periode akhir pengamatan, yang mengindikasikan meningkatnya abrasi pantai. Temuan ini menegaskan bahwa degradasi mangrove berkontribusi terhadap peningkatan kerentanan pesisir terhadap abrasi, sehingga diperlukan pengelolaan pesisir terpadu berbasis pemantauan multitemporal.

Kata Kunci: *Degradasi mangrove; NDVI; MNDWI; Abrasi pantai; Landsat; Babulu Laut*

Abstract: *Mangrove ecosystems play an important role in maintaining coastal stability and mitigating beach erosion. However, increasing anthropogenic pressure has led to the degradation of mangroves in various coastal areas, including Babulu Laut, Penajam Paser Utara Regency, East Kalimantan. This study aims to analyze changes in mangrove cover over time and examine its impact on coastal erosion dynamics. The research method uses a descriptive quantitative approach based on remote sensing and Geographic Information System (GIS) by utilizing Landsat Collection 2 Level-2 images from the years 2006, 2016, and 2026. Analysis was conducted using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to identify changes in mangrove cover and the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) to analyze coastal water dynamics. The research results show that the area of mangrove cover experienced a significant decrease from ±435.1 ha in 2006 to ±320.9 ha in 2026, or a reduction of about 26.2%. The decrease in mangrove cover was followed by an increase in water body area in the later observation period, indicating increased coastal abrasion. These findings confirm that mangrove degradation contributes to increased coastal vulnerability to abrasion, necessitating integrated coastal management based on multitemporal monitoring.*

Keywords: *Mangrove degradation; NDVI; MNDWI; Coastal abrasion; Landsat; Babulu Laut*

Article History:

Received: 19-02-2026

Revised : 02-03-2026

Accepted: 04-03-2026

Online : 10-04-2026



*This is an open access article under the
CC-BY-SA license*

A. LATAR BELAKANG

Ekosistem mangrove merupakan salah satu komponen utama wilayah pesisir tropis yang memiliki fungsi ekologis dan fisik yang sangat penting, terutama dalam menjaga stabilitas garis pantai dan melindungi wilayah daratan dari dampak energi gelombang laut. Berbagai kajian global menunjukkan bahwa mangrove mampu menurunkan energi gelombang hingga lebih dari 50% serta berperan sebagai perangkap sedimen yang efektif, sehingga dapat memperlambat laju abrasi pantai dan intrusi air laut (Anand et al., 2025; Friess et al., 2022). Tekanan antropogenik yang semakin intensif, seperti konversi mangrove menjadi tambak, permukiman (Kedhaton, 2023), dan infrastruktur pesisir (Kedhaton, 2026) telah menyebabkan penurunan luas mangrove secara signifikan di berbagai wilayah pesisir dunia, termasuk di kawasan Asia Tenggara (Duan et al., 2025; Koga., 2026; Sofikiti., 2025)

Interaksi antara dinamika oseanografi, aliran sungai, dan aktivitas manusia menjadikan wilayah pesisir sebagai zona yang sangat dinamis sekaligus rentan terhadap perubahan lingkungan, terutama akibat fluktuasi pasang surut, arus, gelombang, serta suplai sedimen dan nutrisi dari daerah aliran sungai yang dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan di daratan (Aviezena et al., 2025; Purwanto et al., 2025). Beberapa penelitian terbaru di Indonesia menunjukkan bahwa penurunan tutupan mangrove berkorelasi kuat dengan peningkatan laju abrasi pantai, terutama di wilayah yang mengalami konversi mangrove menjadi tambak dan lahan terbuka, karena hilangnya struktur vegetasi yang efektif dalam meredam energi gelombang laut dan menstabilkan sedimen (Duan et al., 2025; Purwanto et al., 2025).

Studi numerik dan lapangan juga membuktikan bahwa mangrove dengan kerapatan dan lebar sabuk yang tinggi mampu mengurangi tinggi gelombang dan energi gelombang secara signifikan, sehingga memperlambat laju bergesernya garis pantai dan menurunkan risiko abrasi pesisir (Zhang et al., 2025). Selain itu, penelitian lokal menunjukkan bahwa semakin tebal dan padat struktur mangrove, terutama sistem akar dan batangnya, semakin besar kemampuan vegetasi tersebut dalam meredam energi gelombang dan melindungi garis pantai dari erosi dan abrasi akibat gelombang laut (Sari et al., 2025). Karena itu, degradasi tutupan mangrove melalui konversi lahan atau tekanan antropogenik lain berdampak langsung terhadap meningkatnya erosi dan mundurnya garis pantai, menegaskan peran penting mangrove sebagai barrier alami yang harus dilindungi dalam pengelolaan pesisir yang berkelanjutan untuk mempertahankan fungsi ekologis dan layanan ekosistem pesisir.

Kalimantan Timur merupakan salah satu provinsi dengan luasan mangrove terbesar di Indonesia, yang diperkirakan mencapai lebih dari 240 ribu hektare, dan memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas garis pantai, meredam abrasi, serta menyediakan habitat bagi biota pesisir (Masroka et al., 2026). Analisis

multitemporal menunjukkan bahwa luasan mangrove di Provinsi Kalimantan Timur menurun dari sekitar 268.147 hektar pada tahun 1990 menjadi 215.514 hektar pada tahun 2019. Penurunan tersebut mencerminkan tren deforestasi yang terjadi, yang sebagian besar dipicu oleh konversi mangrove menjadi tambak dan penggunaan lahan lainnya, dengan penurunan sekitar 15 % antara 1990–2000 dan penurunan tambahan sekitar 5 % antara 2000–2019 berdasarkan interpretasi citra satelit (YKAN,2025).

Perubahan spasial ini menunjukkan tren degradasi mangrove yang signifikan, terutama di daerah delta dan pesisir seperti Delta Mahakam dan wilayah Penajam Paser Utara. penelitian terbaru yang menyatakan bahwa ekspansi tambak merupakan faktor dominan penyebab degradasi mangrove di pesisir Kalimantan, khususnya di kawasan delta dan estuari yang memiliki akses hidrologi dan sedimen yang tinggi (Alhafizin, 2025; Amalo et al., 2023). Di wilayah seperti Delta Mahakam dan Kabupaten Penajam Paser Utara, perubahan spasial mangrove cenderung lebih intensif akibat kombinasi tekanan antropogenik dan dinamika lingkungan pesisir, yang berdampak pada fragmentasi habitat serta penurunan fungsi ekologis mangrove sebagai pelindung pantai dan penyimpan karbon biru (Friess et al., 2022; Villamor et al., 2026). Perubahan tutupan mangrove tersebut menunjukkan bahwa degradasi mangrove di Kalimantan Timur merupakan hasil interaksi kompleks antara aktivitas manusia dan dinamika lingkungan pesisir, sehingga diperlukan pendekatan pengelolaan berbasis pemantauan multitemporal yang berkelanjutan.

Wilayah pesisir Babulu Laut, mangrove memiliki peran strategis dalam melindungi kawasan pesisir dari abrasi yang dipengaruhi oleh dinamika oseanografi, pasang surut, dan suplai sedimen dari sungai (Arifanti et al., 2025). Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penurunan kerapatan dan lebar sabuk mangrove di wilayah ini berpotensi meningkatkan kerentanan pesisir terhadap abrasi dan perubahan morfologi pantai (Isnaini & Mutaqin, 2025). Ekosistem mangrove di wilayah ini menghadapi tekanan antropogenik yang kuat, terutama akibat konversi lahan menjadi tambak dan aktivitas budidaya perikanan yang intensif, yang telah berlangsung sejak dekade 1990-an dan terus berlanjut hingga saat ini (Santoso et al., 2025). Perubahan penggunaan lahan tersebut tidak hanya menyebabkan penurunan tutupan mangrove, tetapi juga memicu perubahan hidrodinamika pesisir, peningkatan abrasi, serta penurunan fungsi ekologis mangrove sebagai penyangga alami kawasan pesisir (Girma, 2025; Pratiwi, 2025). Hal ini konsisten dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa konversi lahan mangrove menjadi tambak dan penggunaan lahan pesisir lainnya merupakan faktor dominan degradasi mangrove dan perubahan garis pantai di berbagai wilayah pesisir Indonesia, karena mengurangi fungsi ekologis mangrove sebagai penahan gelombang dan sedimen (Arifanti et al., 2025). Studi pemantauan perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit di berbagai daerah pesisir juga mengungkapkan bahwa aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan dan pembangunan pesisir menyebabkan penurunan luas mangrove yang signifikan, yang selanjutnya berdampak pada kerentanan pesisir terhadap abrasi dan intrusi air laut (Werorilangi & Saru, 2025).

Pemantauan perubahan mangrove dan abrasi pantai secara konvensional menghadapi keterbatasan spasial dan temporal, sehingga pendekatan penginderaan jauh berbasis citra satelit menjadi solusi yang efektif. Citra Landsat dengan resolusi temporal yang panjang dan konsisten telah banyak dimanfaatkan untuk memantau dinamika ekosistem pesisir secara multitemporal (Suryadi & Ernawati, 2021; Zhang et al., 2025). Penggunaan indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) terbukti efektif dalam mengidentifikasi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove, sementara *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) mampu merepresentasikan dinamika badan air dan perubahan garis pantai (Masrokah et al., 2026; Purwanto et al., 2025). Akan tetapi, kajian yang mengintegrasikan perubahan tutupan mangrove dan dinamika abrasi pantai secara multitemporal di wilayah pesisir Babulu Laut masih terbatas, sehingga penelitian ini menjadi penting untuk mengisi kekosongan tersebut. Penginderaan jauh berbasis citra Landsat banyak digunakan untuk memantau perubahan tutupan mangrove dan dinamika garis pantai secara multitemporal karena ketersediaan data jangka panjang dan resolusi spasial yang memadai (Bilar et al., 2026). NDVI efektif untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi kerapatan vegetasi mangrove, sedangkan MNDWI mampu mengekstraksi batas darat-air secara akurat untuk analisis perubahan garis pantai (Amalo et al., 2023). Kombinasi NDVI dan MNDWI dalam analisis spasial multi-temporal memungkinkan evaluasi keterkaitan antara degradasi mangrove dan abrasi pantai secara objektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan mangrove selama 20 tahun terakhir secara multitemporal menggunakan citra satelit Landsat di wilayah Babulu Laut, Kalimantan Timur. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat degradasi tutupan mangrove dari waktu ke waktu berdasarkan analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perubahan kondisi perairan pesisir dan dinamika abrasi pantai menggunakan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara perubahan tutupan mangrove dengan proses abrasi pantai. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh degradasi mangrove terhadap abrasi pantai sebagai dasar pertimbangan dalam pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan di Babulu Laut, Kalimantan Timur.

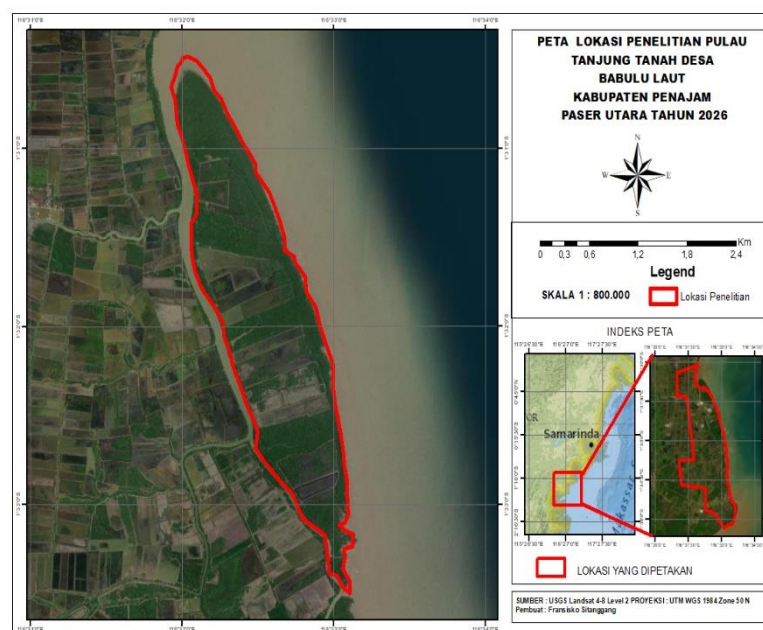
B. METODE PELAKSANAAN

1. Jenis dan Metode Penelitian

Teknik analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan analisis citra satelit multi-temporal digunakan dalam metodologi kuantitatif deskriptif penelitian ini. Analisis citra satelit multi-temporal merupakan pendekatan penginderaan jauh yang memanfaatkan serangkaian citra satelit dari waktu yang berbeda untuk mengamati, mengidentifikasi, dan menganalisis dinamika perubahan suatu objek atau fenomena di permukaan bumi. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan kondisi spasial pada periode tertentu secara sistematis, sehingga pola perubahan, tren, dan laju transformasi tutupan lahan dapat diidentifikasi secara kuantitatif. Dalam konteks lingkungan pesisir, analisis

multi-temporal sangat efektif untuk menilai perubahan ekosistem mangrove karena mampu merekam proses degradasi maupun rehabilitasi vegetasi dalam rentang waktu yang panjang. Keunggulan utama metode ini terletak pada konsistensi data, cakupan wilayah yang luas, serta kemampuannya dalam menyediakan informasi historis yang objektif sebagai dasar evaluasi hubungan antara perubahan tutupan mangrove dan dinamika abrasi pantai. Di kawasan pesisir Babulu Laut, Kabupaten Penajam Paser Utara, metode ini digunakan untuk melacak perubahan tutupan mangrove dari waktu ke waktu dan menguji hubungannya dengan abrasi pantai. Habitat mangrove dapat dipantau secara luas, teratur, dan berkelanjutan menggunakan teknik kuantitatif berbasis citra satelit (Masrokah et al., 2026).

2. Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Babulu Laut, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis, wilayah penelitian terletak di pesisir Babulu Laut yang mencakup kawasan Pulau Tanjung Tanah, Kecamatan Babulu, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Pulau Tanjung Tanah berada pada kisaran koordinat $\pm 1^{\circ}20'$ – $1^{\circ}25'$ Lintang Selatan dan $116^{\circ}30'$ – $116^{\circ}35'$ Bujur Timur, yang merupakan zona peralihan darat–laut dengan dominasi ekosistem mangrove, perairan estuari, serta dataran pesisir yang landai. Wilayah penelitian ini secara geografis dibatasi oleh Laut Jawa di bagian selatan, wilayah pesisir Kecamatan Waru di bagian barat, kawasan daratan utama Babulu di bagian utara, serta perairan pesisir dan muara sungai di bagian timur. Ekosistem mangrove dan aktivitas manusia termasuk tambak ikan dan kota mendominasi wilayah ini. Untuk menilai perubahan tutupan mangrove dari waktu ke waktu, analisis dilakukan dengan memanfaatkan data citra satelit multi-temporal yang mencakup beberapa tahun pengamatan yaitu, 2006, 2016, dan 2026.

3. Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data utama berupa citra satelit Landsat Collection 2 Level-2 yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS). Data Landsat

Collection 2 Level-2 dipilih karena telah melalui proses koreksi radiometrik dan atmosferik standar, sehingga nilai reflektansi permukaan yang dihasilkan lebih konsisten dan andal untuk analisis multi-temporal jangka panjang. Jenis citra yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Landsat 5 Thematic Mapper (TM)* untuk periode tahun 2006–2016 dan *Landsat 8 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor (OLI/TIRS)* untuk periode 2016–2026. Pemilihan kedua sensor ini didasarkan pada kesinambungan temporal data Landsat yang memungkinkan analisis perubahan tutupan mangrove secara berkelanjutan dalam jangka waktu panjang (Dooley et al., 2025).

Untuk meningkatkan akurasi analisis indeks spektral, citra yang digunakan diseleksi berdasarkan tingkat tutupan awan (*cloud cover*) kurang dari 10%. Kriteria ini penting untuk meminimalkan gangguan atmosfer yang dapat mempengaruhi nilai reflektansi spektral, khususnya pada wilayah pesisir yang memiliki dinamika awan tinggi. Penggunaan citra dengan tutupan awan rendah terbukti mampu meningkatkan ketelitian pemetaan vegetasi mangrove dan badan air, terutama dalam kajian perubahan tutupan lahan berbasis indeks vegetasi (Khan et al., 2025).

Selain data citra satelit, penelitian ini juga memanfaatkan data pendukung berupa peta administrasi wilayah, peta garis pantai, serta data referensi dan literatur ilmiah terkait ekosistem mangrove dan abrasi pantai. Peta administrasi digunakan untuk menentukan batas wilayah penelitian, sedangkan peta garis pantai berfungsi sebagai acuan spasial dalam analisis keterkaitan antara perubahan tutupan mangrove dan dinamika abrasi pantai. Literatur ilmiah digunakan sebagai dasar teoritis dan pembanding hasil penelitian agar interpretasi yang dihasilkan memiliki landasan ilmiah yang kuat (Amalo et al., 2023).

4. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan teknik pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini diawali dengan proses pra-pengolahan citra satelit yang bertujuan untuk menjamin konsistensi serta keterbandingan data antar waktu pengamatan. Pra-pengolahan citra meliputi koreksi radiometrik dengan menerapkan *scale factor* untuk mengkonversi nilai *Digital Number (DN)* menjadi reflektansi permukaan. Proses ini menjadi tahapan krusial karena analisis indeks spektral sangat sensitif terhadap ketidaktepatan nilai reflektansi, terutama pada wilayah pesisir yang memiliki dinamika atmosfer cukup tinggi. Selain itu, dilakukan koreksi geometrik guna memastikan kesesuaian posisi spasial antar citra multi-temporal sehingga tidak terjadi pergeseran lokasi yang dapat mempengaruhi hasil analisis perubahan tutupan mangrove. Tahapan pra-pengolahan selanjutnya adalah *clipping* citra berdasarkan batas wilayah penelitian atau *Area of Interest (AOI)* agar analisis terfokus pada wilayah studi dan beban komputasi dapat diminimalkan. Dengan tahapan pra-pengolahan yang sistematis, data citra yang dihasilkan menjadi lebih homogen dan siap digunakan untuk analisis lanjutan secara multi-temporal (Anand et al., 2025).

Analisis tutupan mangrove dilakukan menggunakan pendekatan indeks spektral, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* dan *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*. NDVI dihitung dari kombinasi band *Near Infrared (NIR)* dan *Red* dengan rumus $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$. Indeks ini banyak

digunakan dalam pemetaan vegetasi karena kemampuannya dalam membedakan vegetasi sehat dengan tutupan non-vegetasi. Nilai NDVI yang tinggi mengindikasikan vegetasi dengan kerapatan tinggi, termasuk mangrove yang secara karakteristik memiliki reflektansi NIR tinggi akibat struktur daun dan kandungan klorofilnya. Oleh karena itu, NDVI dinilai efektif dalam mengidentifikasi distribusi dan kerapatan vegetasi mangrove pada wilayah pesisir tropis (Saputra et al., 2022)

Penelitian ini juga menggunakan MNDWI untuk mendukung pemisahan badan air dari vegetasi dan lahan terbangun. MNDWI dihitung menggunakan band *Green* dan *Shortwave Infrared (SWIR)* dengan rumus $MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$. Indeks ini dinilai lebih efektif dibandingkan NDWI konvensional dalam mengidentifikasi badan air pada kawasan pesisir yang kompleks, seperti ekosistem mangrove, karena mampu menekan respons spektral lahan terbangun dan vegetasi non-air. Penggunaan MNDWI pada wilayah pesisir terbukti meningkatkan ketelitian pemisahan antara perairan terbuka dan vegetasi mangrove, terutama pada area transisi darat-laut (Zhang et al., 2025).

Hasil perhitungan NDVI dan MNDWI selanjutnya digunakan dalam proses klasifikasi tutupan mangrove. Klasifikasi dilakukan dengan metode *thresholding*, yaitu menentukan ambang batas nilai indeks untuk membedakan antara kelas mangrove dan non-mangrove. Penentuan ambang batas disesuaikan dengan karakteristik spektral mangrove tropis yang umumnya memiliki nilai NDVI tinggi dan nilai MNDWI tertentu yang membedakannya dari badan air terbuka. Metode *thresholding* banyak digunakan dalam pemetaan mangrove berbasis citra Landsat karena relatif sederhana, efisien, serta mampu memberikan hasil yang cukup akurat pada skala regional, khususnya untuk analisis perubahan jangka panjang (Amalo et al., 2023; Koga et al., 2026).

Analisis perubahan tutupan mangrove dilakukan menggunakan pendekatan *overlay* multi-temporal dengan membandingkan peta tutupan mangrove dari beberapa tahun pengamatan yang berbeda. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola perubahan spasial berupa peningkatan maupun penurunan luas mangrove dari waktu ke waktu. Luasan mangrove pada setiap periode dihitung menggunakan *tools* Tabulate Area, sehingga diperoleh informasi kuantitatif mengenai besaran perubahan tutupan mangrove pada wilayah penelitian. Metode *overlay* multi-temporal banyak digunakan dalam studi dinamika mangrove berbasis penginderaan jauh karena mampu menggambarkan perubahan ekosistem secara spasial dan temporal secara komprehensif serta mendukung analisis keterkaitan antara perubahan mangrove dan proses lingkungan pesisir seperti abrasi pantai (Li et al., 2025; Villamor et al., 2026)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

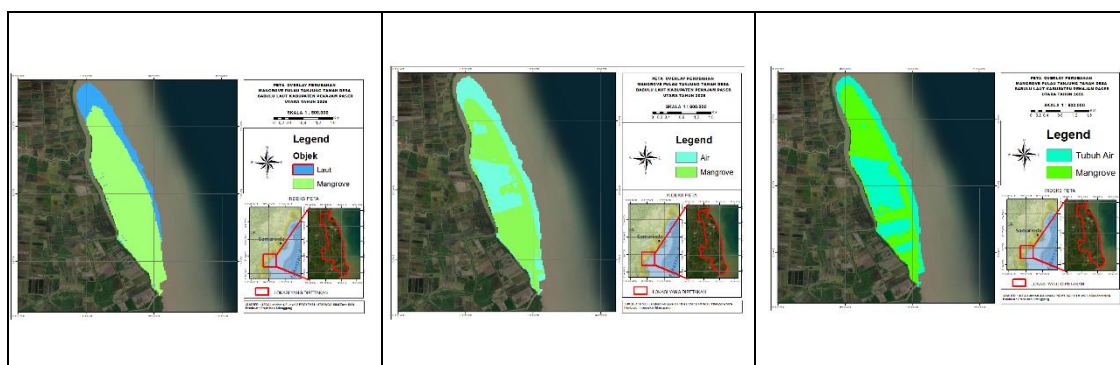
Hasil analisis citra Landsat multitemporal menggunakan pendekatan NDVI yang terlihat pada tabel 1 menunjukkan bahwa tutupan mangrove di wilayah pesisir Babulu Laut mengalami penurunan yang nyata dan konsisten selama 20 tahun pada

periode pengamatan tahun 2006, 2016, dan 2026. Pada tahun 2006, luas mangrove yang teridentifikasi mencapai sekitar $\pm 435,1$ ha, yang menggambarkan kondisi awal ekosistem mangrove dengan tingkat kerapatan vegetasi yang relatif baik serta masih membentuk sabuk vegetasi yang cukup kontinu di sepanjang garis pantai.

Tabel 1. Luasan Mangrove 20 Tahun

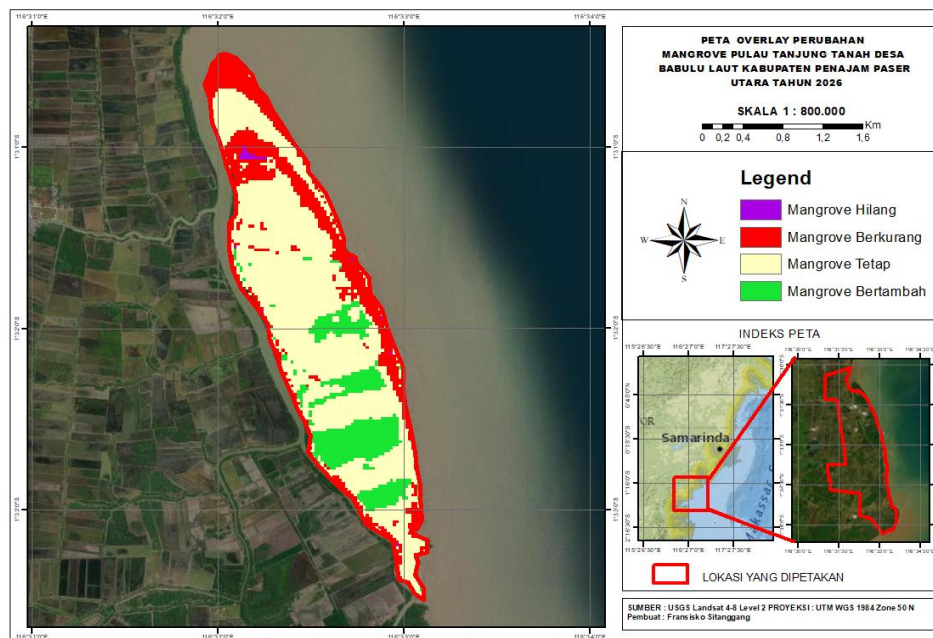
Luasan	2006	2016	2026
NDVI	435,1 Ha	351,9 Ha	320,9 Ha
MDWI	450,56 Ha	425,91 Ha	467,28 Ha

Kondisi ini menunjukkan bahwa pada periode awal pengamatan, mangrove masih berfungsi optimal sebagai pelindung alami pesisir, penahan sedimen, dan penyangga ekosistem perairan pantai. Namun, hasil analisis pada tahun 2016 menunjukkan terjadinya penurunan luas mangrove menjadi $\pm 351,9$ ha, atau berkurang sekitar $\pm 83,2$ ha dibandingkan tahun 2006. Penurunan ini mengindikasikan bahwa dalam kurun waktu sepuluh tahun telah terjadi degradasi mangrove yang cukup signifikan, yang kemungkinan besar dipicu oleh konversi lahan mangrove menjadi tambak, perluasan aktivitas pesisir, serta tekanan antropogenik lainnya yang berlangsung secara intensif di wilayah penelitian. Selanjutnya, pada tahun 2026, luas mangrove kembali mengalami penurunan hingga mencapai $\pm 320,9$ ha, sehingga secara kumulatif terjadi kehilangan tutupan mangrove sebesar $\pm 114,2$ ha atau sekitar 26,2% dari luas awal tahun 2006. Pola temporal ini menunjukkan bahwa degradasi mangrove di Babulu Laut tidak bersifat sporadis, melainkan berlangsung secara bertahap dan berkelanjutan dalam jangka waktu panjang. Selain perubahan tutupan mangrove, hasil analisis MNDWI menunjukkan dinamika perubahan kondisi perairan pesisir yang juga cukup menonjol.



Gambar 2. Perubahan mangrove selama 20 tahun

Pada tahun 2006, luas badan air di wilayah penelitian tercatat sebesar $\pm 450,56$ ha, yang mencerminkan kondisi perairan pesisir dan peralihan darat-laut yang masih relatif seimbang dengan keberadaan vegetasi mangrove. Pada tahun 2016, luas badan air menurun menjadi $\pm 425,91$ ha, yang dapat dikaitkan dengan variasi temporal kondisi pasang surut, sedimentasi, maupun perubahan sementara penggunaan lahan pesisir. Namun, pada tahun 2026 terjadi peningkatan luas badan air yang cukup signifikan hingga mencapai $\pm 467,28$ ha, atau bertambah sekitar $\pm 41,37$ ha dibandingkan tahun 2016. Peningkatan luasan badan air ini mengindikasikan adanya ekspansi area perairan atau genangan, yang secara spasial banyak terjadi pada zona pesisir dan area yang sebelumnya tertutup mangrove. Hasil overlay peta NDVI dan MNDWI menunjukkan bahwa sebagian area yang mengalami penurunan nilai NDVI pada periode akhir pengamatan berasosiasi langsung dengan peningkatan nilai MNDWI, yang menandakan terjadinya peralihan dari vegetasi mangrove menjadi area berair.



Gambar 3. Peta Overlay perubahan mangrove

Peta perubahan tutupan mangrove (Gambar 3) memperlihatkan bahwa kehilangan mangrove paling dominan terjadi di sepanjang garis pantai dan di sekitar muara sungai, serta membentuk pola linier mengikuti arah pantai. Pada peta tahun 2006, mangrove tampak membentuk sabuk vegetasi yang relatif lebar dan kontinu, terutama pada zona pesisir yang langsung berhadapan dengan laut. Namun, pada peta tahun 2016 mulai terlihat fragmentasi sabuk mangrove, ditandai dengan menyempitnya lebar vegetasi dan munculnya celah-celah yang didominasi oleh area tambak dan badan air. Kondisi ini semakin jelas pada peta tahun 2026, di mana sabuk mangrove terlihat semakin terputus-putus dan pada beberapa lokasi mengalami peralihan fungsi menjadi perairan terbuka. Pola spasial tersebut menunjukkan bahwa degradasi mangrove di Babulu Laut bersifat terfokus pada zona transisi darat-laut dan berkorelasi erat dengan aktivitas manusia serta dinamika lingkungan pesisir.

Penurunan luas tutupan mangrove yang teridentifikasi pada Gambar 3 terutama dipengaruhi oleh kombinasi aktivitas antropogenik dan proses dinamika pesisir. Konversi lahan mangrove menjadi tambak perikanan merupakan faktor dominan yang menyebabkan hilangnya vegetasi mangrove, khususnya pada zona pesisir yang mudah diakses dan memiliki kondisi hidrologi yang mendukung aktivitas budidaya. Hilangnya tutupan mangrove pada zona pantai menyebabkan berkurangnya fungsi sistem akar mangrove dalam menahan sedimen dan meredam energi gelombang, sehingga mempercepat proses abrasi dan mendorong kemunduran garis pantai. Proses ini bersifat saling memperkuat, di mana degradasi mangrove meningkatkan kerentanan pantai terhadap abrasi, sementara abrasi yang berkelanjutan semakin menghambat regenerasi mangrove pada area pesisir Babulu Laut.

2. Pembahasan

Penurunan nilai NDVI yang teridentifikasi pada periode 2006–2026 menunjukkan terjadinya degradasi mangrove yang tidak hanya bersifat spasial, tetapi juga struktural. Secara spektral, vegetasi mangrove yang sehat memiliki reflektansi tinggi pada kanal *near-infrared* akibat kandungan klorofil dan struktur daun yang rapat, sehingga penurunan NDVI mencerminkan berkurangnya kerapatan dan vitalitas vegetasi (Pratiwi & Ndraha, 2018; Sari et al., 2025). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa degradasi mangrove akibat tekanan antropogenik dapat terdeteksi secara konsisten melalui analisis NDVI multitemporal berbasis Landsat (Isnaini & Mutaqin, 2025). Peningkatan nilai MNDWI dan luasan badan air pada periode akhir pengamatan mengindikasikan adanya ekspansi perairan pesisir yang berkaitan dengan proses abrasi pantai dan perubahan keseimbangan darat–laut. Abrasi pantai merupakan hasil interaksi kompleks antara kenaikan muka air laut, energi gelombang, dan berkurangnya perlindungan alami pesisir (Aviezena et al., 2025; Zhang et al., 2025). Peningkatan luasan badan air yang berasosiasi dengan area kehilangan mangrove menunjukkan bahwa degradasi mangrove berkontribusi terhadap melemahnya kemampuan pesisir dalam menahan energi gelombang dan sedimen (Khan et al., 2025; Masrokah et al., 2026).

Hilangnya sabuk mangrove yang rapat dan kontinu berdampak langsung terhadap penurunan fungsi ekosistem pesisir sebagai pelindung alami pantai. Berbagai studi menegaskan bahwa pendekatan berbasis solusi alami atau *nature-based solutions* dengan mempertahankan dan merehabilitasi ekosistem mangrove merupakan strategi yang efektif dan berkelanjutan dalam mengurangi risiko abrasi pantai (Sofikiti et al., 2025). Oleh karena itu, hasil penelitian ini memperkuat urgensi penerapan pengelolaan pesisir terpadu yang mengintegrasikan perlindungan mangrove, pengendalian alih fungsi lahan, dan pemantauan berbasis penginderaan jauh sebagai dasar pengambilan kebijakan pesisir di Babulu Laut dan wilayah pesisir Kalimantan Timur secara umum. Penurunan tutupan mangrove yang ditunjukkan oleh nilai NDVI secara konsisten sejalan dengan teori ekologi pesisir yang menyatakan bahwa mangrove merupakan ekosistem yang sangat sensitif terhadap tekanan antropogenik, khususnya konversi lahan menjadi tambak dan perubahan tata guna lahan pesisir. Ekosistem mangrove memiliki reflektansi Near Infrared (NIR) yang tinggi akibat struktur daun dan kandungan klorofilnya,

sehingga penurunan nilai NDVI secara langsung mencerminkan berkurangnya kerapatan dan luas vegetasi mangrove (Zhang et al., 2025). Pola penurunan NDVI yang terjadi secara bertahap selama dua dekade menunjukkan bahwa degradasi mangrove di Babulu Laut tidak bersifat insidental, melainkan merupakan proses kumulatif akibat tekanan aktivitas manusia yang berlangsung terus-menerus di wilayah pesisir.

Hubungan berlawanan antara perubahan NDVI dan MNDWI memperkuat indikasi adanya keterkaitan erat antara degradasi mangrove dan dinamika perairan pesisir. Peningkatan luasan badan air pada tahun 2026 terjadi bersamaan dengan penurunan signifikan tutupan mangrove, yang mendukung teori bahwa hilangnya vegetasi mangrove akan mengurangi kemampuan pesisir dalam menahan sedimen dan meredam energi gelombang laut (Anand et al., 2025; Purwanto et al., 2025). Ketika struktur akar mangrove berkurang, sedimen menjadi lebih tidak stabil dan mudah tererosi oleh arus serta gelombang, sehingga mempercepat proses abrasi dan mendorong meluasnya area perairan. Narasi peta perubahan mangrove menunjukkan bahwa area kehilangan mangrove secara spasial banyak terjadi di zona transisi darat dan laut dan sekitar muara sungai, yang secara geomorfologis merupakan kawasan paling dinamis dan paling rentan terhadap perubahan akibat interaksi proses hidrodinamika dan aktivitas manusia (Arifanti et al., 2025; Dooley et al., 2025).

Hasil penelitian ini konsisten dengan berbagai temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa penurunan kerapatan dan lebar sabuk mangrove berkorelasi dengan meningkatnya abrasi pantai di wilayah pesisir Indonesia (Anand et al., 2025; Sofikiti et al., 2025). Mangrove dengan sabuk vegetasi yang rapat dan kontinu terbukti mampu menurunkan energi gelombang secara signifikan, sehingga degradasi mangrove di Babulu Laut. Hasil dan pembahasan ini menegaskan bahwa perubahan tutupan mangrove dan dinamika perairan yang teridentifikasi melalui NDVI dan MNDWI merupakan indikator kuat terjadinya degradasi ekosistem mangrove dan peningkatan risiko abrasi pantai, sekaligus menunjukkan pentingnya pemantauan multitemporal berbasis citra satelit sebagai dasar pengelolaan pesisir yang berkelanjutan.

Meskipun penelitian ini mampu menggambarkan perubahan tutupan mangrove dan dinamika abrasi pantai secara spasial dan temporal, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, analisis ini menggunakan citra Landsat dengan resolusi spasial menengah (30 m), sehingga perubahan mangrove berskala kecil, terutama pada sabuk mangrove yang sempit atau terfragmentasi, belum sepenuhnya dapat terdeteksi secara detail. Faktor oseanografi seperti tinggi gelombang, arus laut, pasang surut, serta data sedimentasi tidak dianalisis secara langsung, sehingga hubungan kausal antara degradasi mangrove dan abrasi pantai belum dapat dijelaskan secara kuantitatif mendalam. Penelitian selanjutnya juga dapat mengkaji aspek sosial-ekonomi dan kebijakan pesisir, terutama terkait konversi mangrove menjadi tambak dan permukiman, sehingga hasil penelitian tidak hanya bersifat deskriptif-spasial, tetapi juga mampu mendukung perumusan

strategi pengelolaan pesisir terpadu dan berkelanjutan di wilayah Babulu Laut dan kawasan pesisir Kalimantan Timur secara lebih luas.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis spasial multitemporal menggunakan citra Landsat Collection 2 Level-2 dengan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), penelitian ini menyimpulkan bahwa ekosistem mangrove di wilayah pesisir Babulu Laut, Kabupaten Penajam Paser Utara, telah mengalami degradasi yang signifikan dan berkelanjutan selama periode 2006–2026. Luas tutupan mangrove menurun secara konsisten dari sekitar ±435,1 ha pada tahun 2006 menjadi ±320,9 ha pada tahun 2026, dengan total kehilangan mencapai ±114,2 ha atau sekitar 26,2% dari luas awal. Penurunan ini menunjukkan bahwa degradasi mangrove di wilayah penelitian bukan merupakan fenomena sementara, melainkan proses jangka panjang yang dipengaruhi oleh tekanan antropogenik dan dinamika lingkungan pesisir.

Penurunan tutupan mangrove tersebut diikuti oleh perubahan dinamika perairan pesisir yang ditandai dengan peningkatan luasan badan air pada periode akhir pengamatan, yang mengindikasikan terjadinya ekspansi perairan dan meningkatnya abrasi pantai. Pola spasial kehilangan mangrove yang terkonsentrasi di sepanjang garis pantai dan sekitar muara sungai menunjukkan melemahnya fungsi mangrove sebagai pelindung alami pantai dalam menahan sedimen dan meredam energi gelombang. Secara metodologis, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi citra Landsat multitemporal dengan analisis NDVI dan MNDWI merupakan pendekatan yang efektif untuk memantau perubahan mangrove dan dinamika abrasi pantai secara objektif. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan pesisir terpadu melalui perlindungan dan rehabilitasi mangrove serta pengendalian alih fungsi lahan pesisir sebagai upaya menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove dan stabilitas wilayah pesisir Babulu Laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mulawarman, khususnya Program Studi Geografi, atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini, serta kepada para dosen pembimbing dan penguji atas arahan dan masukan yang konstruktif. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada *United States Geological Survey* (USGS) atas ketersediaan data citra satelit *Landsat Collection 2 Level-2* yang digunakan dalam penelitian ini, serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, diskusi ilmiah, dan bantuan teknis selama proses pengolahan data dan penyusunan naskah penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Alhafizin, M. (2025). Development of Ecotourism Based on Ecosystem Services in the Tanjung Batu Mangrove Ecosystem , Central Sekotong , Indonesia, *1*(3), 147–155. <https://doi.org/10.65622/ijtb.v1i3.187>
- Amalo, L. F., Fadilah, T., Ramadhani, N., Dwi, L., & Handayani, W. (2023). Temporal Assessment of Mangrove Restoration Success Using NDVI from Remote Sensing Data

- (2021 – 2023), 1–13.
- Anand, S., Kumar, H., Kumar, P., & Kumar, M. (2025). Analyzing landscape changes and their relationship with land surface temperature and vegetation indices using remote sensing and AI techniques. *Geoscience Letters*. <https://doi.org/10.1186/s40562-024-00372-4>
- Arifanti, V. B., Basyuni, M., Suharti, S., Slamet, B., Sidik, F., Helbert, H., ... Ihrami, Y. (2025). Assessing the Environmental and Socioeconomic Impacts of Mangrove Loss in Indonesia : A Synthesis for Science-Based Policy Assessing the Environmental and Socioeconomic Impacts of Mangrove. *Forest Science and Technology*, 21(4), 430–446. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2536595>
- Aviezana, I., Sukma, S., Rambe, U., & Wahyuningtiyas, L. (2025). NDVI Based Vegetation Dynamics in Jember Regency from 2019 to 2024 Using Multitemporal Landsat 8 Imagery, 4(2), 62–76.
- Bilar, A., Lamberti, P. P., Oliveira, D. R., Nogueira, M. L., Ivan, C., Brito, R., ... Pedrozo, P. (2026). Global trends in vegetation carbon stock monitoring using Google Earth Engine and NDVI : a systematic review (2017 – 2024) Nutzungsbedingungen / Terms of use : Remote Sensing Applications : Society and Environment Global trends in vegetation carbon stoc, 0–12.
- Dooley, A. J., Seyoum, W. M., Reilly, C. M. O., Dooley, A. J., Seyoum, W. M., & Reilly, C. M. O. (2025). Spectrum of the lakes : using satellite remote sensing to unveil water color in Minnesota ' s Sentinel Lakes for water quality monitoring ABSTRACT. *Inland Waters*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/20442041.2025.2509528>
- Duan, X., Haseeb, M., Tahir, Z., Mahmood, S. A., Tariq, A., Jamil, A., & Ullah, S. (2025). OPEN A geospatial and statistical analysis of land surface temperature in response to land use land cover changes and urban heat island dynamics, 1–19.
- Friess, D. A., Adame, M. F., Lovelock, C. E., & Adams, J. B. (2022). Mangrove forests under climate change in a 2 C world, (March), 1–15. <https://doi.org/10.1002/wcc.792>
- Girma, W. (2025). Evaluation of water extraction indices for spatial mapping of surface water bodies using Sentinel -2 : GIS and remote sensing approaches : the case of, 8(5), 402–421. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2025.002>
- Isnaini, P. A., & Mutaqin, B. W. (2025). Anthropogenic marine debris in a tropical mangrove conservation area : an insight from Yogyakarta coastal area of Indonesia. *Anthropocene Coasts*. <https://doi.org/10.1007/s44218-025-00080-2>
- Kedhaton, A. S. (2023). The Existence Of Settlements And The Geography, 25(2), 109–121. <https://doi.org/10.55981/jmb.2023.2066>
- Kedhaton, A. S., Clinton, P., & Christian, I. (2026). Transformasi demografis dan evaluasi infrastruktur pelayanan dasar di Muara Mahakam, 7, 122–132. <https://doi.org/10.37373/bemas.v7i1.2066>
- Khan, Z., Ullah, S., Didier, A., Castillo, D. S., Khan, Z., Ullah, S., ... Remote, A. (2025). A Remote Sensing (RS) Approach Using Normalized Difference Vegetation Index And Normalized Difference Water Index (NDVI & NDWI) For Mapping The Archaeological Landscape Of Loralai District , Balochistan To cite this version : HAL Id : hal-05396716 ARC.
- Koga, K., Kayo, C., Mar, J., Quevedo, D., & Kohsaka, R. (2026). Forest Ecology and Management What drives mangrove forest gains ? Evidence from six Southeast Asian countries using fixed effects panel data models. *Forest Ecology and Management*, 601(September 2025), 123330. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.123330>
- Li, J., Xiao, Z., Sun, R., Song, J., & Shi, C. (2025). Retrieval of leaf area index from the Landsat surface reflectance using multi-task adversarial transfer learning. *International Journal of Digital Earth*, 8947, 1–26. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2520002>
- Masrokah, S., Nur, N., Rosidik, A., Oktavia, M., & Utomo, B. (2026). Analysis of the impact of mangrove forest land use on coastline changes using Landsat 8 satellite imagery on the coast of Ogan Komering Ilir Regency , South Sumatra province, 71, 83–94. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/22124>

- Pratiwi, D. (2025). The role of mangrove forests in socio-economic adaptation to coastal morphological changes: Community-based strategies for shoreline shifts and environmental degradation, *2*(2), 68–85.
- Purwanto, A., Andrasgoro, D., Poedjirahajoe, E., Taufik, M., & Hermawan, T. (2025). Mapping Using GIS and of Analysis at Nanga Pinoh West Changes in the ecological system coastal areas of Bantul and Kulon Progo Kalimantan Regencies Area, *54*(3), 157–165. <https://doi.org/10.22146/ijg.100952>
- Santoso, D., Suroso, A., & Maureen, N. K. (2025). Sustainable Restoration Strategies of a Major Degraded Mangrove Ecosystem Using Social- Ecological System Framework : A Case Study of Pondok Bali , North Coast of Java , Indonesia, 1–28.
- Saputra, M. A. A., Ghazali, A., Pramesti, B. G. P., & Purwanto, M. Q. (2022). Pola Distribusi Ruang Terbuka Hijau Terhadap Temperatur Wilayah Kota Samarinda. *Citizen : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, *2*(3), 419–436. <https://doi.org/10.53866/jimi.v2i3.108>
- Sari, T., Ardhani, P., Kusmana, C., Bengen, D. G., Rahajoe, J. S., Sagala, P. M., & Hanggara, B. B. (2025). Restoration of declining soil carbon stocks and lost surface elevations in degraded mangroves on the northern coast of Java , Indonesia, (July), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2025.1448702>
- Sofikiti, E., Tsironis, V., & Karantzalos, K. (2025). Evaluating Different Methods for the Estimation of Bare Soil Surface Reflectance Using Multispectral Satellite Image Time Series, *XLVIII*(May), 26–29.
- Suryadi, R., & Ernawati. (2021). Perbandingan Efektivitas Multimedia Pembelajaran Interaktif Dan Media Presentasi Terhadap Hasil Belajar Geografi Siswa SMA, *32*(3), 167–186.
- Villamor, F. A. B., Ayag, K. J. M., Tabirara, P. B. D., Ritzy, J., Buenaflor, C., Corcino, C. M. N., ... Escarian, P. F. (2026). MANGROVE : Mapping and Analyzing the Geomorphological Roles of Mangrove Vegetation and its contribution to erosion control for sustainable coastal development in Baganga , Davao Oriental, *01011*, 1–6.
- Werorilangi, S., & Saru, A. (2025). The impact of mangrove forest density on marine debris accumulation : Implications for ecosystem health and sustainable coastal management, *2*(2), 105–121.
- Zhang, J., Zhou, X., Liu, X., Wang, X., & He, G. (2025). Harmonizing Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI : an assessment of surface reflectance and vegetation index consistency Harmonizing Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI : an assessment of. *International Journal of Digital Earth*, *8947*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2484667>