

## Analisis Tutupan Mangrove Multitemporal dan Kerapatan Kanopi Menggunakan *Hemispherical Photography* di Pulau Panjang

Esty Kurniawati, Siti Mashawa Nanda Mirza, Falmi Yandri, Indah Kartika\*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji  
Jl. Politeknik Senggarang, Kecamatan Tanjung. Pinang Kota, Kota Tanjung Pinang, Kepulauan Riau 29115 Indonesia  
Corresponding author, e-mail: indahkartika@umrah.ac.id

**ABSTRAK:** Ekosistem mangrove di wilayah pulau kecil rentan terhadap perubahan tutupan lahan dan tekanan lingkungan, sehingga diperlukan informasi spasial yang tidak hanya menggambarkan dinamika luasan, tetapi juga kondisi kanopi vegetasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan mangrove secara multitemporal serta memetakan kerapatan kanopi mangrove pada tahun 2023 di Pulau Panjang. Metode yang digunakan meliputi analisis citra Landsat berbasis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk pemetaan tutupan mangrove multitemporal, serta klasifikasi kerapatan kanopi mangrove yang divalidasi menggunakan data lapangan *Hemispherical Photography*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tutupan mangrove mengalami dinamika spasial antar periode pengamatan, sementara kerapatan kanopi mangrove tahun 2023 didominasi oleh kelas kerapatan tinggi. Evaluasi akurasi klasifikasi kerapatan kanopi menghasilkan nilai overall accuracy sebesar 83% dengan tingkat kesesuaian yang baik antara hasil klasifikasi dan kondisi lapangan, meskipun masih terdapat keterbatasan dalam membedakan kelas kerapatan yang berdekatan akibat kompleksitas struktur kanopi mangrove. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis multitemporal tutupan mangrove dengan pemetaan kerapatan kanopi berbasis NDVI yang didukung oleh *Hemispherical Photography* pada skala pulau kecil. Simpulan penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan tersebut mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai kondisi dan kualitas ekosistem mangrove, sehingga berpotensi mendukung upaya pengelolaan dan pemantauan mangrove secara berkelanjutan di Pulau Panjang.

**Kata kunci:** Citra Landsat; *Google Earth Engine*; Mangrove; Pemetaan

### *Multitemporal Mangrove Cover and Canopy Density Using Hemispherical Photography in Pulau Panjang*

**ABSTRACT:** Mangrove ecosystems on small islands are highly vulnerable to land cover change and environmental pressures, highlighting the need for spatial information that describes not only changes in extent but also canopy conditions. This study aims to analyze multitemporal changes in mangrove cover and to map mangrove canopy density in 2023 on Pulau Panjang. The methods applied include Landsat image analysis based on the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) for multitemporal mangrove cover mapping, combined with canopy density classification validated using field data derived from *Hemispherical Photography*. The results indicate that mangrove cover exhibits spatial dynamics across the observation periods, while mangrove canopy density in 2023 is predominantly characterized by high-density classes. Accuracy assessment of the canopy density classification yields an overall accuracy of 83%, with a Kappa coefficient indicating good agreement between the classified map and field observations, although limitations remain in distinguishing closely related canopy density classes due to the complex structure of mangrove canopies. The novelty of this study lies in the integration of multitemporal mangrove cover analysis with NDVI-based canopy density mapping supported by *Hemispherical Photography* at a small-island scale. In conclusion, this approach provides more comprehensive information on the condition and quality of mangrove ecosystems and has the potential to support sustainable mangrove management and monitoring in Pulau Panjang.

**Keywords:** *Google Earth Engine*; Landsat Image; Mangrove; Mapping

## PENDAHULUAN

Secara ekonomi dan ekologi, mangrove berfungsi sebagai sumber bahan baku industri, habitat biota laut, dan benteng alami pantai dari abrasi dan gelombang. Oleh karena itu, mangrove merupakan ekosistem pesisir yang sangat penting (Hidayah *et al.*, 2023). Namun, aktivitas manusia dan lingkungan pesisir seringkali membuat ekosistem ini tidak stabil. Persentase tutupan kanopi adalah indikator penting untuk menilai kondisi kesehatan ekosistem ini. Degradasi biasanya ditunjukkan dengan penurunan kerapatan kanopi, yang dapat mengganggu rantai makanan dan fungsi metabolisme substrat (Dharmawan *et al.*, 2020; Akram *et al.*, 2023). Pemantauan kesehatan mangrove secara periodik menjadi instrumen penting dalam manajemen wilayah pesisir untuk menjamin keberlanjutan fungsi lingkungannya, terutama di wilayah yang memiliki sejarah intervensi manusia yang tinggi.

Penggunaan penginderaan jauh untuk memetakan dinamika mangrove telah banyak dibahas dalam penelitian literatur sebelumnya. Soniawati *et al.* (2025) menunjukkan bahwa gambar Landsat berhasil menunjukkan penurunan luasan mangrove yang signifikan sebagai hasil dari konversi lahan dan pembangunan infrastruktur. Sebaliknya, telah ditunjukkan bahwa pengolahan data geospasial skala besar yang sangat efisien dapat dicapai tanpa mengganggu keterbatasan perangkat keras melalui penggunaan teknologi berbasis cloud computing seperti *Google Earth Engine* (GEE) (Sukoco *et al.*, 2022; Turissa *et al.*, 2024). Sukoco *et al.* (2022) menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi berbasis *cloud computing* seperti *Google Earth Engine* (GEE) memberikan efisiensi tinggi dalam pengolahan data spasial skala besar tanpa terkendala oleh keterbatasan komputasi perangkat keras. Namun, sebagian besar penelitian masih berkonsentrasi pada daerah pesisir daratan utama, atau mainland, yang memiliki bentang lahan yang luas.

Sangat sedikit penelitian yang dilakukan untuk mengamati ekosistem mangrove di pulau-pulau kecil yang terisolasi, terutama di Pulau Panjang, Kepulauan Riau. Selama bertahun-tahun, pulau ini telah dieksploitasi sebagai bahan baku industri arang, yang telah menyebabkan kerusakan yang signifikan terhadap ekosistem mangrove. Karena itu, penelitiannya sangat penting. Saat ini, tidak ada data spasial yang lengkap yang menggambarkan bagaimana ekosistem di daerah tersebut pulih setelah eksploitasi. Selain itu, belum pernah terjadi sinkronisasi data kerapatan kanopi dari interpretasi citra satelit dengan validasi lapangan menggunakan metode Fotografi Hemispherical di wilayah pulau kecil seperti ini. Akibatnya, akurasi pemantauan berbasis penginderaan jauh di ekosistem serupa masih perlu divalidasi.

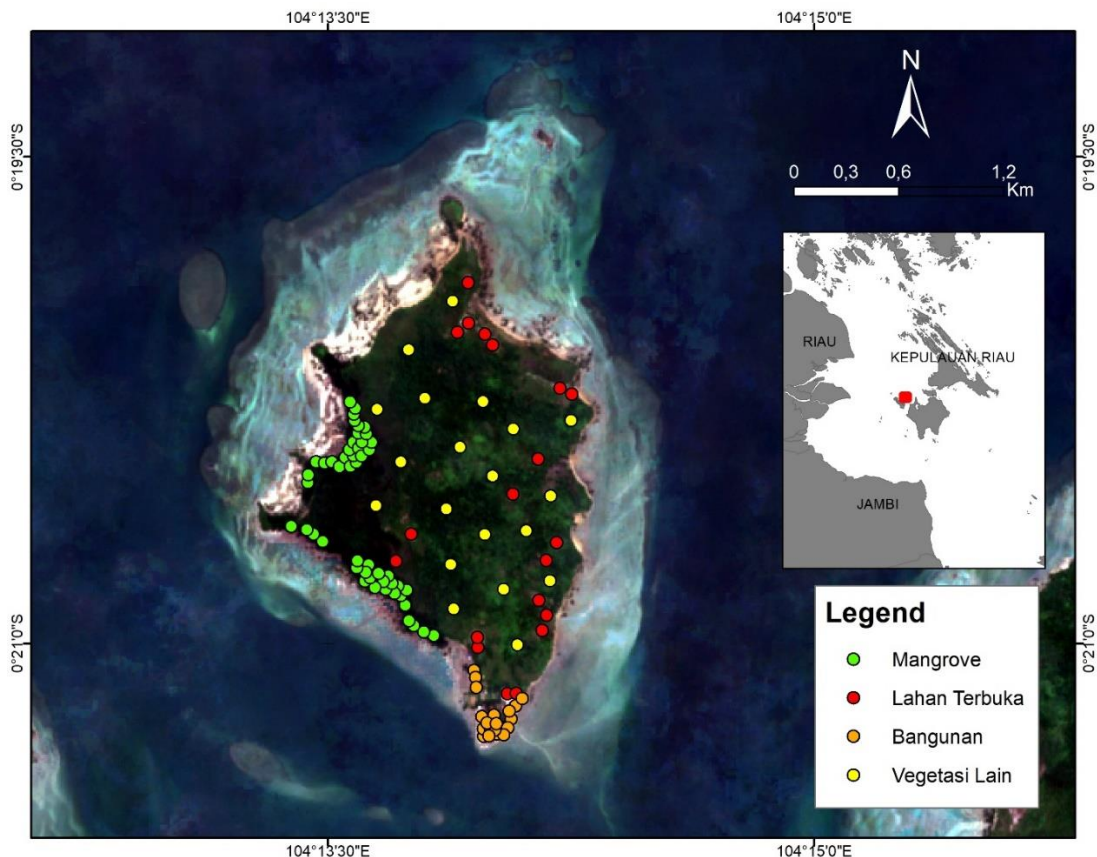
Algoritma *Random Forest* yang ada di *Google Earth Engine* (GEE) digunakan untuk mengklasifikasikan mangrove di pulau kecil. Didasarkan pada keunggulannya sebagai metode pembelajaran mesin, algoritma *Random Forest* dipilih karena dapat menangani data multivariat dan non-linier dengan tingkat akurasi tinggi dan risiko *overfitting* yang rendah. Integrasi metodologi ini dengan teknik *Hemispherical Photography* memberikan validasi struktur kanopi lapangan secara presisi, sehingga menghasilkan model pemantauan yang lebih valid dibandingkan sekadar interpretasi visual citra standar.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini akan menggunakan pendekatan penginderaan jauh dan validasi lapangan untuk mengisi kekosongan informasi tentang dinamika ekosistem mangrove Pulau Panjang. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan mangrove di Pulau Panjang secara multitemporal pada tahun 2003, 2013, dan 2023 menggunakan citra Landsat berbasis *Google Earth Engine* (GEE), sehingga dapat diidentifikasi pola perubahan dalam dua dekade terakhir pasca-eksploitasi intensif. Selanjutnya, penelitian ini juga memetakan tingkat kerapatan kanopi mangrove tahun 2023 untuk menggambarkan kondisi terkini struktur vegetasi, serta mengevaluasi tingkat akurasi model klasifikasi melalui validasi data lapangan menggunakan metode *Hemispherical Photography*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika spasial dan kondisi ekologis mangrove di pulau kecil yang telah mengalami tekanan antropogenik, sekaligus menyediakan informasi ilmiah yang dapat dijadikan dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan pesisir yang berkelanjutan di kawasan pulau-pulau kecil dengan karakteristik serupa.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 11-18 Agustus 2024 yang berlokasi di Pulau Panjang, Desa Busung Panjang, Kecamatan Kepulauan Posek, Kabupaten Lingga (Gambar 1). Data citra Landsat yang diperoleh melalui Platform *Google Earth Engine* (GEE) adalah citra yang diakusisi pada tahun 2003, 2013, dan 2023. Pemilihan citra dilakukan berdasarkan tingkat tutupan awan rendah (<10%). Citra tahun 2023 digunakan karena merupakan citra terbaru dengan kualitas terbaik (bebas awan dan cakupan spasial lengkap) yang tersedia di GEE, sementara citra tahun 2024 pada periode yang sebanding tidak memenuhi kriteria kualitas akibat tingginya tutupan awan. Pengambilan titik sampel dilakukan menggunakan metode *stratified random sampling*, yaitu pengambilan sampel secara acak pada setiap kelas tutupan lahan (Firmansyah & Dede, 2022). Pengambilan titik mangrove di lokasi penelitian berjumlah 50 titik dengan jarak antar plot lebih dari 10meter agar titik mangrove yang diperoleh tidak saling mengalami tumpang tindih. Serta pengambilan titik non mangrove dilakukan dengan visualisasi citra satelit yang berjumlah 60 titik sehingga secara keseluruhan titik yang digunakan untuk proses pengklasifikasian berjumlah 110 titik sampel.

Penelitian ini dilakukan dengan survei langsung ke lokasi penelitian guna untuk memvalidasi sebaran mangrove pada citra di lokasi kajian. Pengambilan data lapangan dilakukan dengan menentukan titik sampel mangrove yang berjumlah 50 titik. Tahapan pengambilan data di lapangan terbagi menjadi 2 perlakuan yaitu yang pertama melakukan pengambilan data koordinat objek mangrove dengan GPS. Kedua, pengambilan data tutupan kanopi mangrove. Pengambilan data tutupan kanopi mangrove menggunakan metode *Hemispherical Photography*, yaitu teknik pemotretan kanopi dari bawah tegakan yang bertujuan untuk merekam proporsi area kanopi dan celah antar tajuk, sehingga memungkinkan estimasi persentase tutupan kanopi secara kuantitatif



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian

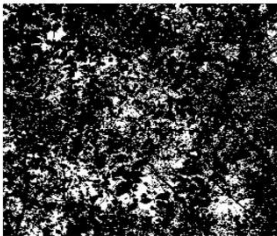
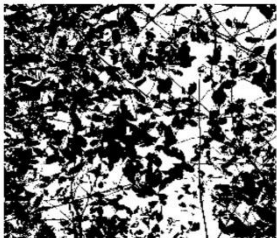

(Billah *et al.*, 2020). Pengambilan data dengan metode ini dilakukan pada luasan plot yang berukuran 30 x 30 meter sesuai dengan resolusi spasial citra Landsat. Dalam setiap plot tersebut dilakukan pengambilan foto tutupan kanopi mangrove menggunakan kamera *handphone* dengan posisi kamera tegak lurus ke atas (nadir), dengan kategori berupa pohon mangrove yang memiliki ciri-ciri batang pohon setinggi dada orang dewasa atau 1,3 meter dan diameter pohon mangrove >4 cm atau keliling batang >16 cm (Febrizhad *et al.*, 2023; Kuncahyo *et al.*, 2020). Pengambilan foto dilakukan pada kondisi cuaca cerah tanpa hujan, dan pada rentang waktu pagi hingga menjelang siang untuk meminimalkan bayangan tajuk dan efek sudut matahari. Foto tutupan kanopi mangrove akan dianalisis guna mendapatkan persentase dengan menggunakan perangkat lunak yaitu *ImageJ*. Hasil tersebut dianalisis kembali dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\% \text{ tutupan (cover) mangrove} = \frac{P_{255}}{\Sigma P} \times 100\%$$

$$\text{rata}^2 \text{ tutupan kanopi pada 1 plot} = \frac{\text{jumlah \% tutupan kanopi pada 1 plot}}{\text{banyak kanopi dalam 1 plot}}$$

Menurut Prasetyo *et al.*, (2024), kondisi kerapatan tutupan kanopi mangrove dikategorikan menjadi 3 kelas yaitu mangrove lebat, sedang, dan jarang (Tabel 1). Tahapan pemrosesan *Google Earth Engine* dilakukan melalui *Code Editor* yang tersedia pada *website* <https://code.earthengine.google.com/>. *Code Editor* berguna untuk menganalisis hingga memvisualisasikan data geospasial dengan menggunakan *JavaScript*. Dalam penelitian ini, data citra yang digunakan telah tersedia secara langsung di *Google Earth Engine*, dengan berbagai pilihan seperti MODIS, Sentinel, DEM, dan Landsat. Jenis citra yang digunakan adalah Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS, karena memiliki resolusi spasial 30 meter dan rentang waktu perekaman yang panjang, sehingga sesuai untuk analisis perubahan tutupan lahan mangrove. Tahap awal mencakup penentuan *geometry* atau batas wilayah penelitian serta penginputan titik

**Tabel 1.** Kelas kerapatan kanopi mangrove berdasarkan persentase

Kelas tutupan kanopi	Contoh	Persentase
Mangrove lebat		>70%
Mangrove sedang		50%-70%
Mangrove jarang		<50%

sampel yang mewakili kelas mangrove dan non-mangrove sebagai data pelatihan dan validasi. Selanjutnya dilakukan filter awan untuk meminimalisir pengaruh tutupan awan pada citra Landsat. Citra yang digunakan sudah melalui koreksi radiometrik BOA (*Bottom of Atmosphere*), sehingga nilai reflektansinya merepresentasikan kondisi permukaan sebenarnya. Tahapan berikutnya adalah perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang bertujuan untuk membedakan area vegetasi dengan non-vegetasi. Nilai NDVI dihitung berdasarkan kombinasi kanal *Near Infrared* (NIR) dan *Red* menggunakan persamaan berikut:

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

Nilai NDVI yang mendekati +1 menunjukkan tingkat kehijauan vegetasi yang tinggi seperti mangrove, sedangkan nilai mendekati 0 atau negatif mengindikasikan area non-vegetasi seperti badan air, pasir, atau permukiman. Hasil NDVI kemudian ditambahkan sebagai *band* baru pada citra untuk meningkatkan akurasi klasifikasi. Proses selanjutnya adalah klasifikasi citra menggunakan algoritma *Random Forest*, yang bekerja dengan membangun sejumlah pohon keputusan dan menentukan kelas akhir berdasarkan hasil mayoritas (*majority vote*) (Breiman, 2001). Pada penelitian ini, algoritma *Random Forest* diterapkan dengan jumlah pohon sebanyak 500 dan menggunakan seluruh variabel spektral citra serta *band* NDVI sebagai input. Pembagian data dilakukan dengan komposisi 70% untuk *training sample* (80 titik *training*) dan 30% untuk *data testing* (33 titik uji) dari total keseluruhan sample untuk mendapatkan hasil yang optimal (Dhawangkara, 2017). Hasil klasifikasi ini divisualisasikan dan dievaluasi menggunakan data validasi untuk memperoleh nilai akurasi peta yang dihasilkan. Uji akurasi dilakukan menggunakan metode analisis *confusion matrix* untuk menghitung nilai keakuratan antara kondisi di lokasi penelitian dengan hasil interpretasi citra (Congalton & Green 2009) (Gambar 2). Analisis tersebut akan menghasilkan informasi *producer accuracy* (PA), *overall accuracy* (OA), *user accuracy* (UA), dan koefisien kappa (Cohen, 1960).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kerapatan kanopi mangrove di Pulau Panjang diperoleh melalui pengambilan data foto tutupan kanopi mangrove, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data foto menggunakan *software ImageJ* untuk memperoleh persentase tutupan mangrove pada setiap titik. Contoh hasil data foto tutupan kanopi mangrove yang diperoleh dari lapangan dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan (b).

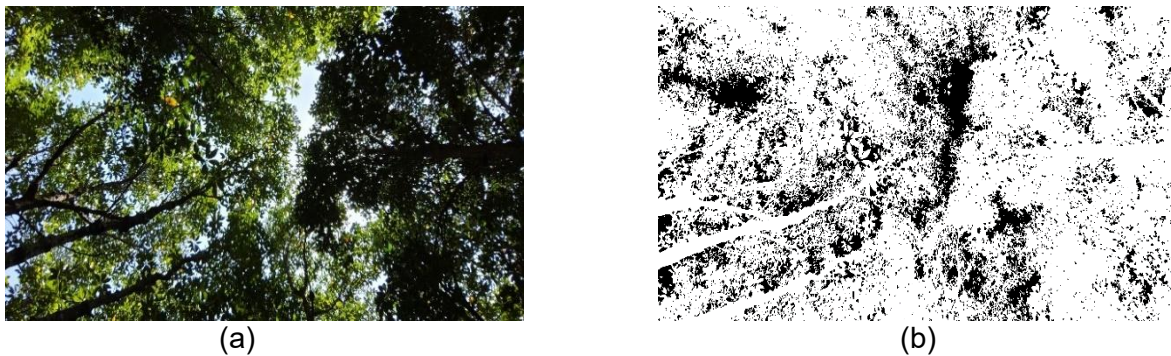
		j = Columns (Reference)			Row Total
		1	2	k	$n_{i+}$
i = Rows (Classification)	1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
	k	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
Column Total $n_{+j}$		$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	n

**Gambar 2.** Contoh perhitungan *confusion matrix* (Congalton & Green 2009)

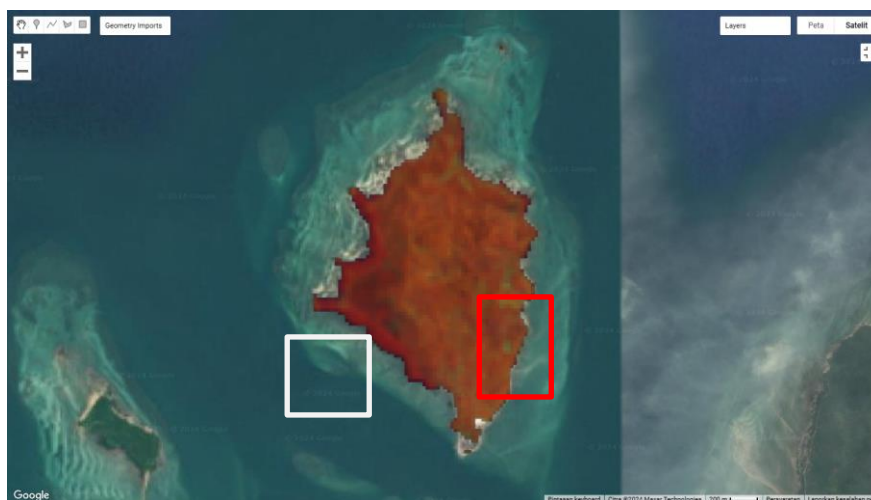
Tutupan kanopi mangrove yang terdapat di Pulau Panjang didominasi oleh kategori lebat sebanyak 47 titik dengan rentang nilai persentase 71,31% - 84,11%. Sedangkan sebanyak 3 titik termasuk kedalam kategori sedang dengan rentang nilai persentase 61,53% - 69,46%. Secara keseluruhan, rata-rata hasil persentase tutupan kanopi mangrove di Pulau Panjang, Kabupaten Lingga yaitu 77,15% menunjukkan tutupan kanopi mangrove termasuk ke dalam kategori lebat.

Berdasarkan tampilan Citra Landsat 8 dan 7, komposit RGB *false color* (NIR, SWIR, Red) terlihat perbedaan antara objek mangrove dengan objek bukan mangrove lainnya. *False Color Composite* digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan vegetasi mangrove yang umumnya ditampilkan dalam warna merah kecokelatan (Hanan *et al.*, 2020). Objek mangrove mempunyai warna merah kecokelatan, sedangkan untuk objek bukan mangrove seperti bangunan dan lahan terbuka ditunjukkan dengan warna hijau (Gambar 4).

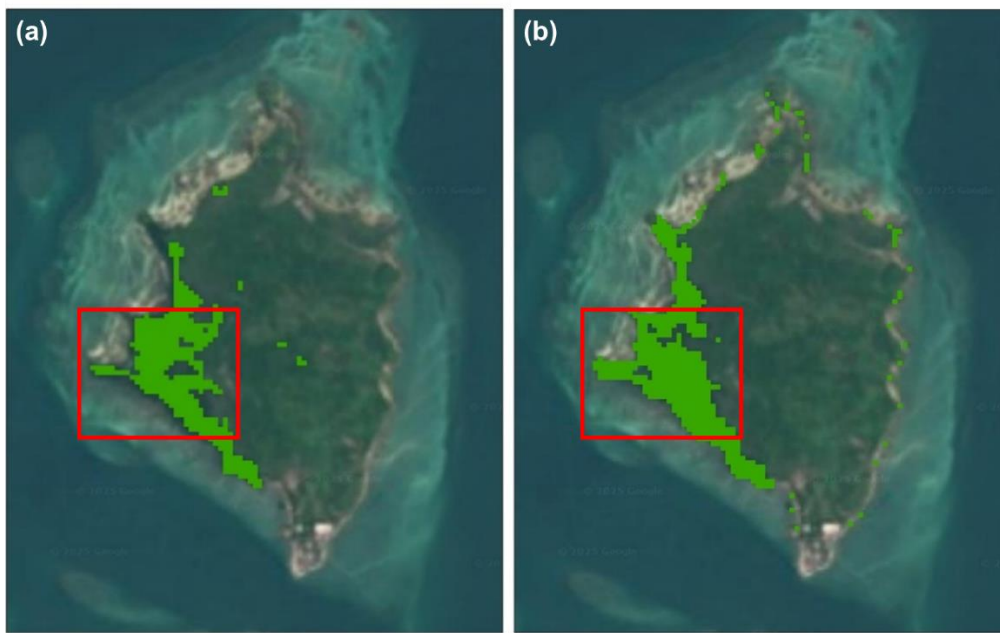
Pada platform *Google Earth Engine* (GEE), fungsi filter "*maskClouds*" digunakan untuk mengurangi keberadaan awan yang terdeteksi pada piksel citra. Gambar 5 menunjukkan hasil pengolahan data citra mangrove pada tahun 2013, baik sebelum maupun setelah penerapan filter *maskClouds*. Pada hasil klasifikasi sebelum dilakukan *filtering*, tidak tampak sebaran piksel mangrove di area sekitar daratan. Hal ini terjadi karena citra satelit tidak mampu mendeteksi objek tersebut akibat tertutup oleh awan dan bayangannya. Penurunan kualitas hasil klasifikasi tersebut kemudian dikoreksi melalui penerapan filter *maskClouds*. Setelah proses *filtering* dilakukan, terlihat bahwa sejumlah kesalahan klasifikasi yang sebelumnya muncul dapat diminimalkan atau diperbaiki.



**Gambar 3.** (a) Data foto sebelum diolah dengan software ImageJ, dan (b) Data foto setelah diolah dengan software ImageJ.



**Gambar 4.** Tampilan komposit untuk RGB *false color* (NIR, SWIR, Red). Kotak putih menunjukkan objek mangrove, sedangkan kotak merah menunjukkan bukan mangrove.



**Gambar 5.** Hasil Klasifikasi mangrove 2013 (a) sebelum diterapkan filter, dan (b) setelah diterapkan filter. Kotak merah menunjukkan perubahan area yang dipengaruhi proses *filtering*.

Klasifikasi tutupan lahan di Pulau Panjang, Kecamatan Kepulauan Posek, Kabupaten Lingga menggunakan algoritma *Random Forest*. Klasifikasi tutupan lahan di Pulau Panjang terbagi menjadi 4 kelas yaitu bangunan, lahan terbuka, vegetasi lain, dan mangrove (Gambar 6). Adapun luasan tutupan lahan Pulau Panjang pada tahun 2003, 2013, dan 2023 terlihat pada Tabel 2.

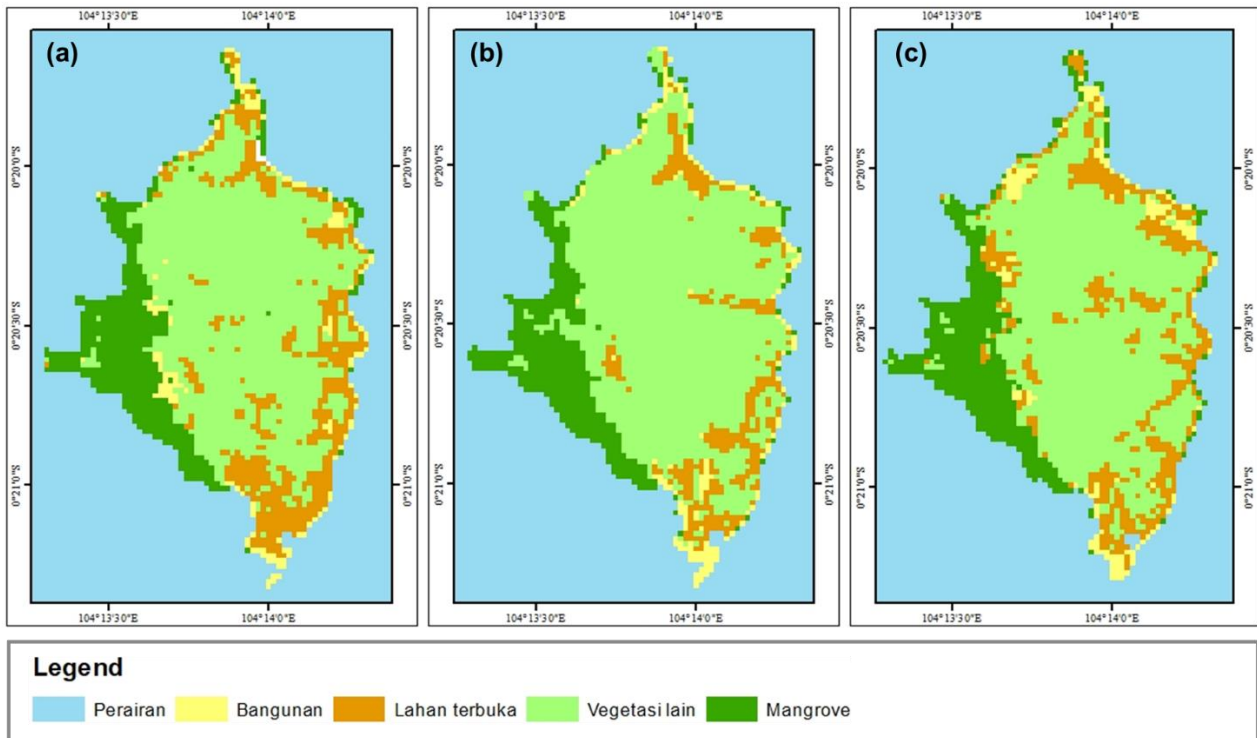
Berdasarkan analisis perubahan luasan lahan, dinamika tutupan lahan selama periode 2003-2023 menunjukkan variasi yang jelas antar periode. Pada periode 2003-2013, terjadi penurunan luasan tutupan lahan terbuka sebesar 19.94 ha yang diikuti peningkatan vegetasi lain sebesar 23.42 ha, mengindikasikan proses penutupan lahan terbuka oleh vegetasi. Pada periode yang sama, mangrove mengalami penurunan sebesar 2.77 ha, sementara luasan bangunan cenderung stabil. Sebaliknya, pada periode 2013-2023 terjadi peningkatan tutupan lahan terbuka sebesar 17.34 ha yang beriringan dengan penutupan vegetasi lain sebesar 22.35 ha, menunjukkan adanya pembukaan atau degradasi tutupan vegetasi. Pada periode ini, luasan mangrove justru meningkat sebesar 3.66 ha, yang mengindikasikan adanya proses pemulihan atau rehabilitasi ekosistem mangrove.

Hasil analisis perubahan luasan tutupan lahan di Pulau Panjang ditampilkan pada **Gambar 7**. Pada tahun 2003 luasan mangrove berkisar 49,79 ha. Pada tahun 2013 luasan tutupan mangrove menjadi 47,02 ha hingga di tahun 2023 luasan menjadi 50,69 ha. Berdasarkan hal tersebut, luasan tutupan mangrove di Pulau Panjang, Kabupaten Lingga dari tahun 2003 sampai tahun 2013 mengalami penurunan sekitar 2,77 ha dan tahun 2013 sampai tahun 2023 mengalami penambahan luasan mangrove sekitar 3,67 ha.

Secara spasial, perubahan tutupan mangrove di Pulau Panjang terkonsentrasi pada pesisir barat hingga barat daya pulau. Pada periode 2003-2013, area ini mengalami penurunan luasan mangrove paling besar dibandingkan dengan bagian pesisir lainnya. Selanjutnya, pada periode 2013-2023, peningkatan luasan mangrove juga dominan terjadi pada zona yang sama, menunjukkan adanya pemulihan tutupan mangrove setelah penurunan di periode sebelumnya. Sementara itu, di bagian timur dan utara pulau, relative lebih stabil dengan perubahan yang tidak signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pesisir barat dan barat daya merupakan wilayah dengan dinamika perubahan mangrove tertinggi di Pulau Panjang, Kabupaten Lingga.

**Tabel 2.** Luasan tutupan lahan di Pulau Panjang (ha)

Tipe Lahan (ha)	Tahun			Perubahan luasan area	
	2003	2013	2023	$\Delta$ 2003–2013 (ha)	$\Delta$ 2013–2023 (ha)
Bangunan	15.46	15.1	15.28	-0.36	+0.18
Lahan Terbuka	52.21	32.27	49.61	-19.94	+17.34
Vegetasi lain	164.4	187.82	165.47	+23.42	-22.35
Mangrove	49.79	47.02	50.68	-2.77	+3.66

**Gambar 6.** Klasifikasi tutupan lahan di Pulau Panjang pada tahun (a) 2003, (b) 2013, (c) 2023

Pendugaan penurunan dari tahun 2003-2013 disebabkan oleh aktivitas dapur arang yang beroperasi di Pulau Bandahara dan Pulau Posek, di mana Pulau Panjang termasuk dalam wilayah yang menjadi bagian dari kawasan operasional tersebut. Berdasarkan hasil wawancara lapangan dengan masyarakat setempat, mangrove pada periode tersebut dimanfaatkan sebagai bahan baku utama untuk pembuatan arang. Sedangkan penambahan luasan dari tahun 2013-2023 diduga karena terhentinya aktivitas dapur arang dan rendahnya aktivitas pemanfaatan mangrove oleh masyarakat. Kondisi ini memberikan kesempatan bagi ekosistem mangrove di Pulau Panjang untuk pulih dan berkembang secara alami tanpa tekanan signifikan dari aktivitas manusia. Hidayah *et al.*, (2023) menyebutkan bahwa faktor utama dalam bertambahnya luasan hutan mangrove adalah keberadaan mangrove yang terus tumbuh menjamin ketersediaan benih secara alami. Selain itu, pemanfaatan mangrove oleh masyarakat setempat dilakukan dengan menebang mangrove untuk bahan pembuatan perahu dan selebihnya mangrove tersebut mati karena faktor alam.

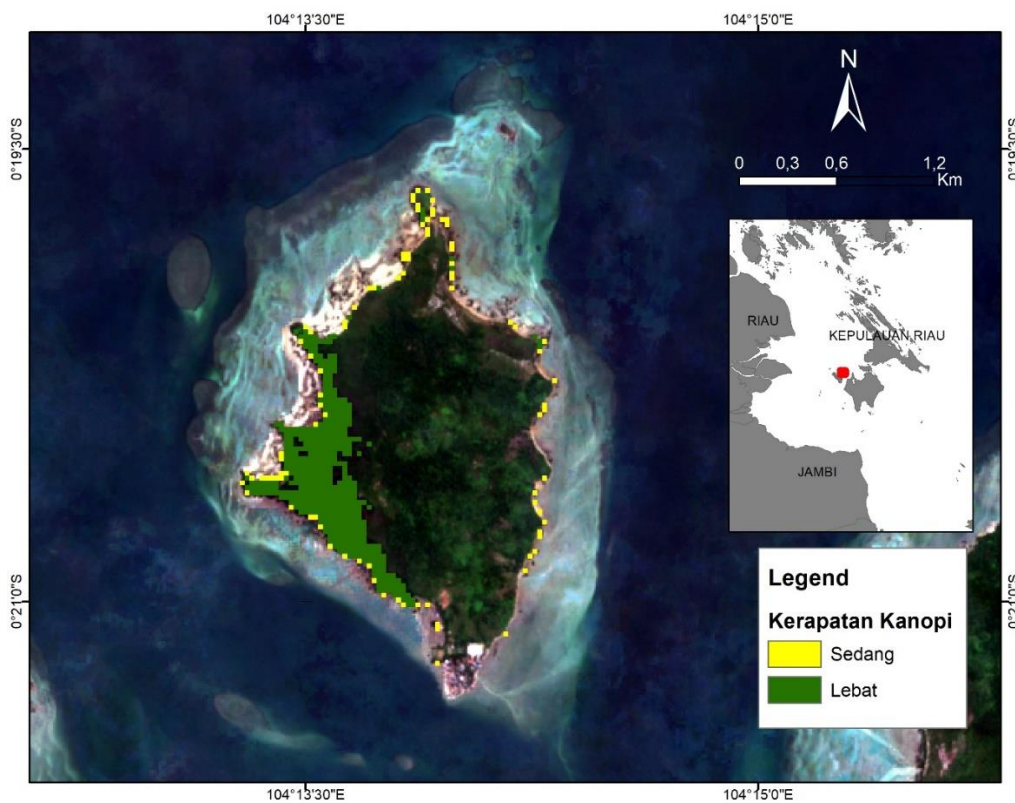
Temuan mengenai perubahan luasan akibat pemanfaatan kayu ini sejalan dengan penelitian Soniawati *et al.* (2025) di Kecamatan Bua, yang juga menyoroti bahwa aktivitas manusia merupakan faktor determinan utama dalam perubahan spasial mangrove, namun dengan kontrol yang tepat, pemulihan luasan dapat terjadi secara signifikan. Selain itu, dominasi kerapatan kanopi lebat di Pulau Panjang (rata-rata 77,15%) menunjukkan kemiripan dengan kondisi ekosistem mangrove di

Lampung Selatan yang diteliti oleh Kuncahyo *et al.* (2020), di mana wilayah yang mulai minim gangguan cenderung mempertahankan tutupan kanopi di atas 70%. Secara metodologis, efektivitas penggunaan platform Google Earth Engine (GEE) dalam studi ini menghasilkan akurasi yang tinggi. Hal ini memperkuat proposisi bahwa integrasi data penginderaan jauh multitemporal dan validasi lapangan yang presisi menjadi instrumen krusial dalam memantau keberhasilan pemulihan ekosistem di wilayah pulau kecil.

Hasil uji akurasi menunjukkan persentase *overall accuracy* (OA) sebesar 97% pada masing-masing citra (2003, 2013, dan 2023), dengan koefisien kappa pada tahun 2003 dan 2023 senilai 0,96 serta tahun 2013 mempunyai koefisien kappa senilai 0.95 (Tabel 3). Menurut Zulfajri *et al.*, (2021), jika tingkat ketelitiannya mencapai minimal 80-85%, maka hasil interpretasi tersebut layak untuk digunakan dalam keperluan analisis. Dengan demikian, peta perubahan luasan mangrove tahun 2003, 2013, dan 2023, serta kerapatan kanopi mangrove di Pulau Panjang, Kecamatan Kepulauan Posek, Kabupaten Lingga yang dihasilkan dari algoritma *Random Forest* pada *Google Earth Engine* sudah layak untuk digunakan cara validasi.

**Tabel 3.** Uji akurasi tutupan lahan tahun 2023 di Pulau Panjang

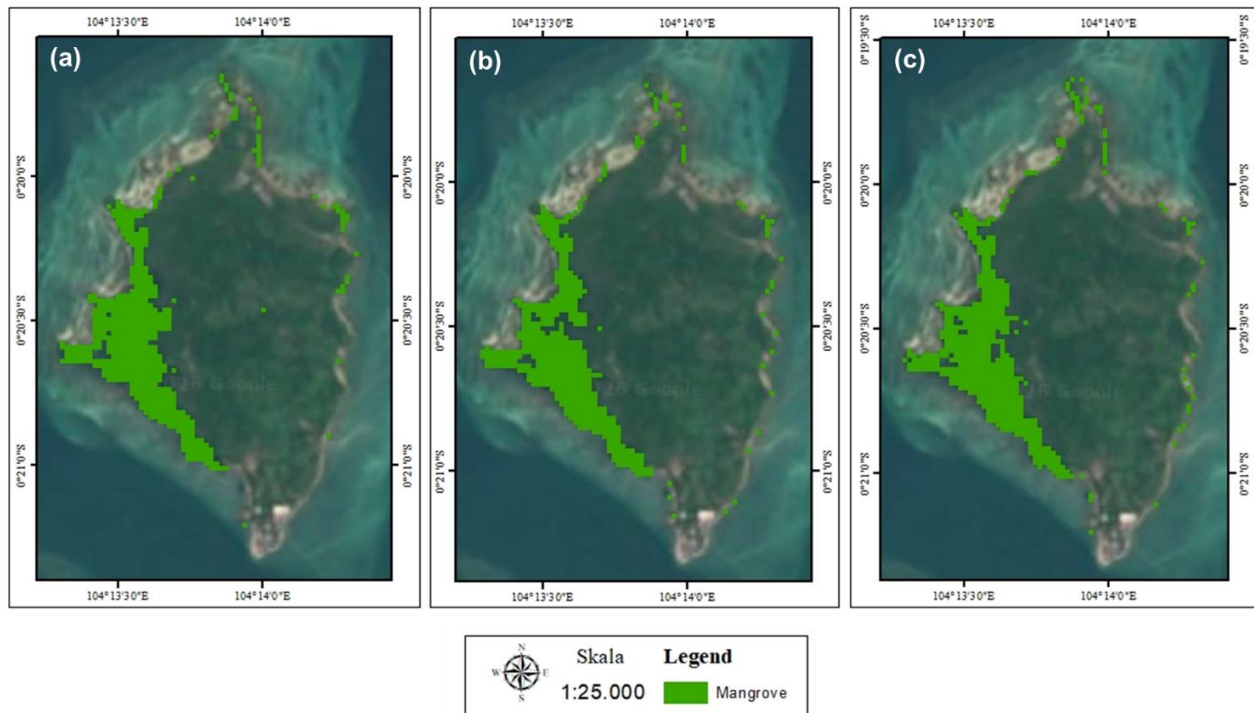
Kelas	Data Lapangan				Total	UA (%)
	Bangunan	Lahan	Vegetasi	Mangrove		
Bangunan	7	1	0	0	8	88%
Lahan	0	7	0	0	7	100%
Vegetasi	0	0	4	0	4	100%
Mangrove	0	0	0	14	14	100%
Total	7	8	4	14	33	
PA (%)	100%	13%	100%	100%		
OA (%)						97%
Koefisien Kappa						0,96



**Gambar 8.** Peta kerapatan kanopi mangrove di Pulau Panjang

**Tabel 4.** Klasifikasi kerapatan kanopi mangrove dan rentang nilai NDVI (Departemen Kehutanan, 2006)

Kerapatan Kanopi	Persentase Tutupan	Nilai NDVI
Jarang	< 50%	<0,32
Sedang	50% - 70%	0,33 - 0,42
Lebat	70% >	0,43>



**Gambar 7.** Peta distribusi mangrove di Pulau Panjang pada tahun (a) 2003, (b) 2013, dan (c) 2023.

Transformasi NDVI dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerapatan kanopi mangrove pada citra Landsat. Nilai NDVI berkaitan erat dengan kerapatan kanopi mangrove sehingga dapat digunakan untuk mengklasifikasikan vegetasi mangrove berdasarkan kerapatannya (Billah *et al.*, 2020). Nilai kerapatan kanopi mangrove pada klasifikasi jarang atau kurang dari 50% dinilai NDVI kurang dari 0,3272. Klasifikasi sedang atau 50%-69% berada pada rentang nilai NDVI 0,3272 - 0,413, dan klasifikasi lebat atau lebih dari 70% berada pada nilai NDVI lebih dari 0,414 (Tabel 4).

Pada penelitian Billah *et al.* (2020), hubungan antara nilai NDVI dengan nilai kerapatan kanopi mangrove adalah korelasi positif sebesar 0,93 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat atau berbanding lurus, dimana semakin tinggi nilai NDVI maka semakin tinggi pula nilai kerapatan kanopi mangrove dan begitupun sebaliknya. Selain itu juga, penelitian lain seperti Kresnabayu *et al.* (2017) yang menunjukkan korelasi positif sebesar 0,929 antara nilai NDVI dengan kerapatan kanopi mangrove. Berdasarkan rentang nilai NDVI diperoleh luasan kerapatan kanopi mangrove pada tahun 2023 di Pulau Panjang, Kecamatan Kepulauan Posek, Kabupaten Lingga. Kategori sedang mempunyai luasan 3,84 ha, dan kategori lebat yang paling dominan mempunyai luasan 42,46 ha. Hasil analisis kerapatan kanopi mangrove menunjukkan bahwa kerapatan kanopi mangrove di Pulau Panjang pada tahun 2023 didominasi oleh kelas lebat, yang terutama tersebar di pesisir barat hingga barat daya pulau (Gambar 8). Pola sebaran ini mengindikasikan kondisi vegetasi mangrove yang relative baik dengan tingkat penutupan tajuk yang tinggi. Sementara itu, kelas kerapatan sedang memiliki luasan yang lebih terbatas secara terfragmentasi di beberapa bagian pesisir, yang umumnya berada pada zona transisi dan area yang mengalami tekanan lingkungan.

**Tabel 5.** Uji akurasi kerapatan kanopi mangrove

Kelas	Data Lapangan			UA (%)
	Sedang	Lebat	Total	
Sedang	3	10	13	23%
Lebat	0	47	50	94%
Total	3	57	60	
PA (%)	100%	18%		
OA (%)			83%	

Uji akurasi kerapatan kanopi mangrove menunjukkan nilai *Overall Accuracy* sebesar 83% (Tabel 5), yang menunjukkan bahwa klasifikasi kerapatan kanopi mangrove memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik. Kelas kerapatan lebat memiliki *user's accuracy* sebesar 94% menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi dalam merepresentasikan kondisi lapangan. Menurut Zulfajri *et al.*, (2021), jika tingkat ketelitiannya mencapai minimal 80-85%, maka hasil interpretasi tersebut layak untuk digunakan dalam keperluan analisis. Sebaliknya, kelas kerapatan sedang memiliki tingkat *producer's accuracy* sebesar 100%, namun dengan *user's accuracy* yang rendah, yang mengindikasikan adanya tumpang tindih spektral antara kelas kerapatan sedang dan lebat. Kondisi ini mencerminkan kompleksitas struktur kanopi mangrove serta keterbatasan resolusi citra dalam membedakan tingkat kerapatan yang berdekatan, di mana dalam klasifikasi berbasis piksel, satu piksel citra optik sering kali mewakili campuran dari beberapa kondisi tutupan lahan, terutama pada area vegetasi yang heterogen, sehingga dapat menghasilkan nilai spektral yang tidak sepenuhnya mewakili salah satu kelas tertentu dan menurunkan akurasi klasifikasi (Maurya *et al.*, 2021).

## KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi analisis multitemporal berbasis *Google Earth Engine* dan validasi lapangan melalui *Hemispherical Photography* sangat efektif untuk memantau dinamika ekosistem di pulau kecil. Implikasi pengelolaannya menunjukkan bahwa pemulihan luasan mangrove di Pulau Panjang merupakan peluang besar bagi pemerintah daerah untuk menetapkan zona perlindungan ketat guna menjamin keberlanjutan fungsi benteng alami pesisir. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam membedakan kelas kerapatan kanopi yang sangat rapat akibat resolusi spasial citra yang terbatas. Oleh karena itu, disarankan bagi penelitian lanjutan untuk menggunakan citra satelit resolusi tinggi dan menambah parameter biomassa untuk akurasi yang lebih presisi. Secara ilmiah, studi ini memberikan kontribusi berupa model pemantauan efisien yang dapat direplikasi untuk mendukung strategi konservasi mangrove yang tepat sasaran dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akram, H., Hussain, S., Mazumdar, P., Chua, K.O., Butt, T.E., & Harikrishna, J.A., 2023. Mangrove health: A review of functions, threats, and challenges associated with mangrove management practices. *Forests*, 14(9):1698. DOI: 10.3390/f14091698
- Billah, M., Arthana, I.W., Restu, I.W., & As-syakur, A.R., 2020. Analisis perubahan luasan dan kerapatan tajuk mangrove di Kecamatan Borong Kabupaten Manggarai Timur. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 6(1):43–52. DOI: 10.24843/jmas.2020.v06.i01.p06
- Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1):5–32.
- Cahyono, B.E., Febriawan, E.B., & Nugroho, A.T., 2019. Analisis tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi tidak terbimbing citra Landsat di Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Teknotan*, 13(1):8–14.

- Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1):37–40.
- Congalton, R.G., & Green, K., 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton: CRC Press.
- Departemen Kehutanan, 2006. *Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Mangrove*. Jakarta: Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial (RLPS).
- Dharmawan, I.W.E., 2020. *Hemispherical Photography: Analisis Persentase Tutupan Kanopi Komunitas Mangrove*. Makassar: CV. Nas Media Pustaka.
- Febrihad, I., Aditia, T., Anggraini, N., & Farhaby, A.M., 2023. Analisis tutupan kanopi dengan metode hemispherical photography di Dusun Batu Ampar Desa Riding Panjang Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 25(2):139–145. DOI: 10.14710/bioma.2023.58576
- Firliansya, A.R., 2024. *Pemetaan Kerapatan Mangrove di Cilacap Menggunakan Google Earth Engine (GEE)*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Firmansyah, D., & Dede., 2022. Teknik pengambilan sampel umum dalam metodologi penelitian: Literature review. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik (JIPH)*, 1(2):85–114.
- Hanan, A.F., Pratikto, I., & Soenardjo, N., 2020. Analisa distribusi spasial vegetasi mangrove di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3):271–280.
- Hasanah, F.T., 2020. Karakteristik wilayah daratan dan perairan di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(13):1–5.
- Hidayah, Z., Rachman, H.A., & As-Syakur, A.R., 2023. Pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura dengan pendekatan Mangrove Health Index memanfaatkan citra satelit Sentinel-2. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(1):84–94. DOI: 10.22146/mgi.78136
- Kalsum, U., Purwanto, R.H., Faida, L.R.W., & Sumardi., 2022. Destruction to mangrove forests in East Luwuk, Banggai Regency, Central Sulawesi. *Journal of Sylva Indonesiana*, 5(2):124–136. DOI: 10.32734/jsi.v5i02.7622
- Karimah., 2017. Peran ekosistem hutan mangrove sebagai habitat untuk organisme laut. *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2):51–57. DOI: 10.29303/jbt.v17i2.497
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2004. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kresnabayu, I.M.P., Putra, I.D.N.N., & Suteja, Y., 2017. Kerapatan hutan mangrove berbasis data penginderaan jauh di Estuari Perancak Kabupaten Jembrana-Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(1):31–37. DOI: 10.24843/jmas.2018.v4.i01.31-37
- Kuncahyo, I., Pribadi, R., & Pratikto, I., 2020. Komposisi dan tutupan kanopi vegetasi mangrove di Perairan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Marine Research*, 9(4):444–452. DOI: 10.14710/jmr.v9i4.27915
- Maurya, K., Mahajan, S., & Chaube, N., 2021. Remote sensing techniques: Mapping and monitoring of mangrove ecosystem—A review. *Complex & Intelligent Systems*, 7:2797–2818. DOI: 10.1007/s40747-021-00457-z
- Prasetyo, A.T., Sukmono, A., & Ardiansyah, R., 2024. Analisis spasial perubahan luas mangrove berbasis citra Sentinel-2A di Delta Upang, Kabupaten Banyuwangi. *Journal of Marine Research*, 13(3):585–594. DOI: 10.14710/jmr.v13i3.53021
- Rafsenja, U., Muh, L., Jaya, G., & Rahim, S., 2020. Analisis perbandingan citra Landsat 8 dan citra Sentinel 2-A untuk mengidentifikasi sebaran mangrove. *JAGAT (Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi)*, 4(1):63–70.
- Sesa, F.S., Ponisri, P., & Farida, A., 2023. Pemanfaatan pohon mangrove sebagai bahan baku perahu oleh masyarakat Kampung Usili Distrik Aimas Kabupaten Sorong. *Agriva Journal*, 1(1): 1–10.
- Soniawati., Rauf, A., & Asmidar., 2025. Pemetaan perubahan luasan mangrove melalui analisis citra satelit di Kecamatan Bua Kabupaten Luwu. *Jurnal Ilmiah Wahana Laut Lestari (JIWaLL)*, 2(2):109–118.

- Sukoco, B., Fadly, R., Teknik, F., & Lampung, U., 2022. Kajian pemanfaatan teknologi Google Earth Engine untuk bidang penginderaan jauh. *Jurnal Penelitian Geografi*, 10(2):79–88. DOI: 10.23960/jpg.v10.i2.24219
- Turissa, P., Nababan, B., Siregar, V.P., Kushardono, D., Madduppa, H.H., Nandika, M.R., & Firmansyah, S., 2024. Sentinel-2A multispectral image analysis for seagrass mapping in Bintan's shallow water ecosystem: A case study of Teluk Bakau, Malang Rapat, and Berakit villages. *Kuwait Journal of Science*, 51(4):100286. DOI: 10.1016/j.kjs.2024.100286
- Zulfajri., Danoedoro, P., & Murti, S.H., 2021. Klasifikasi penutup/penggunaan lahan data Landsat-8 OLI menggunakan metode random forest. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 3(1):1–7.
- Zurqani, H.A., Post, C.J., Mikhailova, E.A., Schlautman, M.A., & Sharp, J.L., 2018. Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69:175–185. DOI: 10.1016/J.JAG.2017.12.006