

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE SENTINEL-1 *DUAL-POLARIZED WATER INDEX* (SDWI) BERBASIS DATA MULTITEMPORAL PADA GOOGLE EARTH ENGINE

(Shoreline Change Analysis with Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) Method based on Multitemporal Data using Google Earth Engine)

Nirmawana Simarmata^{1,2} Zulfikar Adlan Nadzir^{1,3} Dewi Nawang Sari¹

¹Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

²Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn, Germany

Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365 Indonesia

E-mail: nirmawana.simarmata@gt.itera.ac.id

Diterima: 15 September 2023; Direvisi: 28 Oktober 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2023

ABSTRAK

Analisis dinamika garis pantai di Provinsi Lampung sangat penting karena pengaruhnya yang besar terhadap ekosistem pesisir dan pemukiman manusia. Dinamika ini, yang merupakan hasil dari fenomena alam yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk erosi, sedimentasi, dan aktivitas manusia, menyoroti perlunya pemahaman yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perubahan garis pantai secara temporal, mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan garis pantai, dan memberikan kontribusi terhadap pengelolaan pesisir yang berkelanjutan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-1 tahun 2018 sampai 2023. Metode yang digunakan untuk mengekstrak garis pantai adalah *Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index* (SDWI). Hasil penelitian yang diperoleh adalah selama periode 2018 hingga 2023, panjang garis pantai mengalami fluktuasi yang signifikan. Mulai dari tahun 2018, panjang garis pantai mengalami penurunan berturut-turut hingga mencapai titik terendah pada tahun 2021 dengan 391,816 km. Namun, pada tahun 2022 terjadi peningkatan sebesar 8,583 km sedangkan pada tahun 2023 mengalami penurunan kembali yang menyebabkan panjang garis pantai berkurang sebesar 18,816 km, atau 4,70%. Perubahan ini dapat diatributkan oleh adanya akresi dan erosi, dimana di wilayah penelitian pada tahun 2022 terjadi akresi dengan peningkatan luas sebesar 118,383 ha. Sementara itu, pada tahun 2023, terjadi erosi yang signifikan, mengakibatkan pengurangan luas sebesar 116,496 Ha. Berdasarkan uji akurasi diatas didapatkan nilai $Pr(a)$ sebesar 0,9375 dan nilai $Pr(e)$ sebesar 0,5625. Nilai koefisien kappa Cohen sebesar 0,85714 dengan klasifikasi hasil uji akurasi kuat. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat reliabilitas data berkisar antara 64-81%.

Kata kunci: akresi, dinamika pesisir, erosi, radar

ABSTRACT

Shoreline dynamics analysis in Lampung Province is vital due to its profound influence on coastal ecosystems and human settlements. These dynamics, which result from natural phenomena that can be influenced by various factors, including erosion, sedimentation, and human activities, highlight the need for a comprehensive understanding. This research aims to analyze temporal patterns of shoreline change, identify areas vulnerable to shoreline change, and contribute to sustainable coastal management. The data used in this study are Sentinel-1 images from 2018 to 2023. The Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) was used to extract the coastline. The results show that during 2018–2023, the length of the coastline experienced significant fluctuations. Starting from 2018, the length of the coastline decreased successively until it reached its lowest point in 2021 with 391.816 km. However, it increased in 2022 by 8.583 km, while in 2023, there again was a decrease, causing the length of the coastline to decrease by 18.816 km or 4.70%. This change can be caused by erosion and accretion; in this region, in 2022, accretion occurred with an increase in the area of 118.383 ha. Meanwhile, in 2023, significant erosion occurred, resulting in a reduction in the area of 116.496 hectares. Based on the accuracy test above, the $Pr(a)$ value is 0.9375 and the $Pr(e)$ value is 0.5625. Cohen's kappa coefficient value is 0.85714, with a classification of strong accuracy test results. This shows that the data reliability value ranges from 64 to 81%.

Keywords: accretion, coastal dynamics, erosion, radar

PENDAHULUAN

Perubahan iklim memiliki konsekuensi penting terhadap tinggi muka laut dan garis pantai, yang mana menjadi ancaman yang signifikan bagi wilayah pesisir, seperti terindikasi dalam (Chang et al., 2022). Lokasi garis pantai terus berubah seiring dengan waktu, dipengaruhi oleh beberapa elemen seperti pasang surut, gelombang, dan angin, serta faktor-faktor geomorfologi pantai seperti erosi dan akresi. Selain itu, aktivitas sosial dan ekonomi manusia juga memengaruhi perubahan garis pantai, contohnya adalah reklamasi untuk permukiman ataupun pembuatan tambak (Yen & Kim, 2020). Pengelolaan kawasan pesisir yang efektif membutuhkan data yang detail dan terbaru akan garis pantai dan perubahannya. Hal ini menyebabkan diperlukannya pemantauan garis pantai secara kontinu dan berkelanjutan (Markiewicz et al., 2016; Bioresita & Isya, 2016).

Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki garis pantai yang panjang dan penting bagi aktivitas perekonomian dan sosial masyarakat. Beberapa aktivitas yang jamak dilakukan adalah sebagai tambak udang, tempat rekreasi dan sebagai pelabuhan antar pulau. Namun, garis pantai di Lampung rentan mengalami perubahan akibat berbagai faktor alami seperti erosi, sedimentasi, maupun faktor antropogenik, seperti aktivitas manusia (Tarigan et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang komprehensif untuk memantau dan mengukur perubahan garis pantai secara akurat dan efisien sebagai usaha memahami dinamika garis pantai lebih jauh.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan SIG saat ini terbukti menjadi alat yang paling baik dan dapat diandalkan untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai dan pemetaan (Suthakar, 2019; Wu et al., 2019; Sui et al., 2020). Karakteristik yang menonjol dari data penginderaan jauh adalah tersedianya data dalam lingkup global sejak era 1970an dan berulang hampir setiap bulan. Hal ini dapat menutupi kekurangan dari sebagian ketidakterediaan data lapangan yang dapat diandalkan (Refice et al., 2020). Salah satu jenis citra satelit yang dapat digunakan adalah citra radar. Salah satu sensor dari jenis citra radar adalah Sentinel-1 yang mengorbit dengan melintasi kutub Bumi sejak tahun 2014, dalam segala cuaca, siang dan malam, baik di darat dan lautan pada C-band (Markiewicz et al., 2016; Bioresita & Isya, 2016). Penggunaan C-band ini yang memberikan perbedaan khas akan Sentinel-1 dibandingkan satelit penginderaan jauh lainnya.

Teknologi radar *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dari satelit Sentinel-1 berpotensi besar dalam pemantauan garis pantai dengan menggunakan citra multi-temporal yang menggambarkan kondisi permukaan bumi dari waktu ke waktu. Deteksi

perubahan garis pantai dapat dilakukan dengan memilih parameter yang dapat diekstrak serta paling sesuai dari Sentinel-1, juga dengan menetapkan ambang batas pemisahan daratan dan perairan (Markiewicz et al., 2016; Suthakar, 2019). Beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa citra SAR band-X lebih banyak digunakan untuk deteksi garis pantai (Wu et al., 2019).

Algoritma yang digunakan adalah *Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index* (SDWI) dimana indeks SDWI memiliki akurasi yang tinggi ketika digunakan untuk ekstraksi badan air (Guo et al., 2021). Penelitian lainnya dengan data pada polarisasi vertikal-horizontal (VH) secara temporal selama satu tahun dan transformasi indeks air SDWI menggunakan Sentinel-1 dapat membedakan objek tambak dengan objek lainnya (Haris et al., 2022). Pemanfaatan data SAR dengan menggabungkan data *Light Detection and Ranging* (LIDAR) dapat digunakan untuk mendeteksi air permukaan dengan mengurangi efek bayangan (Irwin et al., 2017). Selain itu, penelitian lain menunjukkan kapabilitas citra radar untuk menghitung tinggi gelombang di laut (Nadzir et al., 2016), yang mana secara umum, semuanya menunjukkan bahwa Sentinel-1 memiliki potensi yang baik untuk topik-topik di area pesisir.

Analisis multi-frekuensi, multi-temporal, dan multi-polarisasi yang terintegrasi memungkinkan pemantauan dinamika objek yang berbeda untuk air di berbagai kelas tutupan lahan, seperti vegetasi herba, lahan basah, dan hutan (Refice et al., 2020). Metode analisis menggunakan teknik interferometri (InSAR) dan pengolahan citra radar untuk memperoleh informasi yang akurat (Sunu et al., 2019) tentang perubahan garis pantai dari waktu ke waktu dapat dilakukan menggunakan data mengenai perubahan garis pengamatan (*observation baseline*).

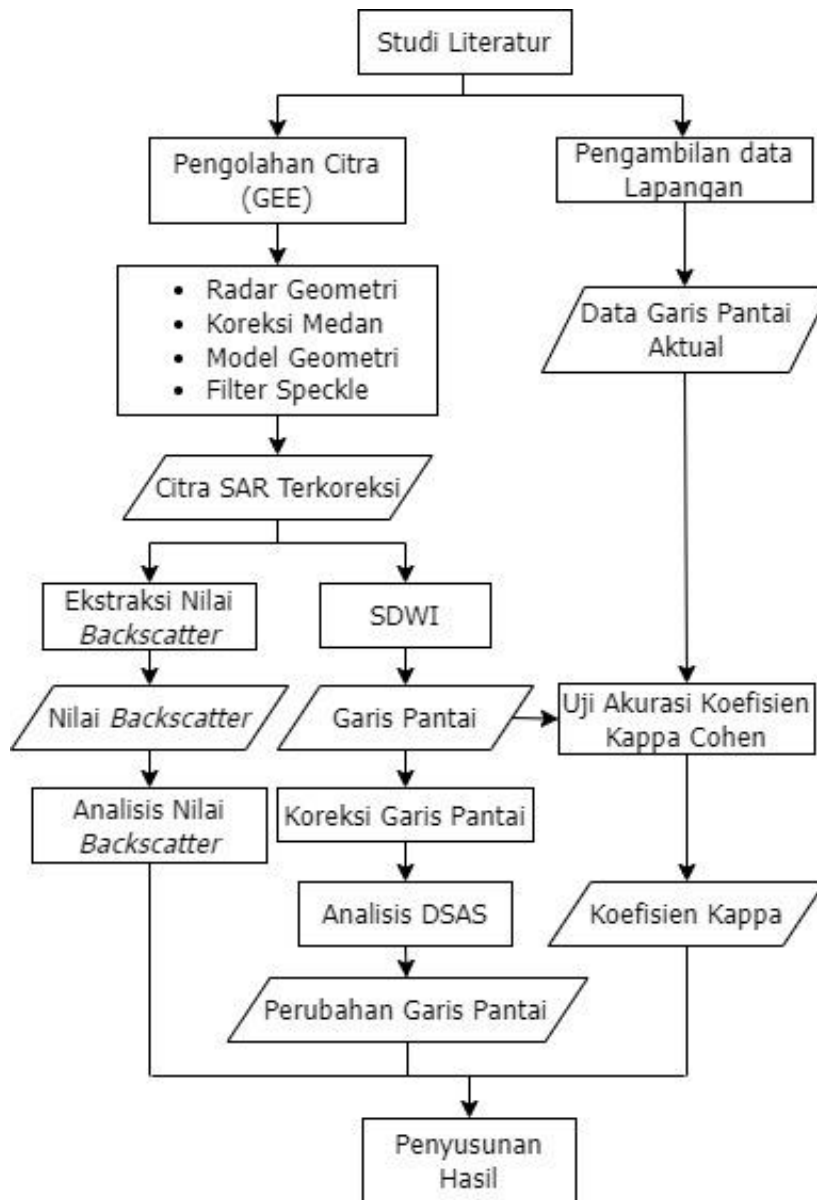
Pengolahan citra yang dilakukan berbasis *cloud computing*, menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). GEE berfungsi untuk melakukan analisis geospasial berskala besar berbasis awan (*cloud*) dengan bantuan komputasi dari Google yang masif. GEE dapat digunakan untuk mengatasi berbagai masalah yang berdampak besar tanpa harus melakukan pengunduhan data terlebih dahulu. Katalog data GEE tersedia untuk umum dengan berbagai data citra satelit, tutupan lahan, topografi, variabel lingkungan, cuaca, iklim dan masih banyak lainnya. Semua data yang tersedia sudah siap digunakan agar meminimalisir hambatan dalam manajemen data (Gorelick et al., 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mengkuantifikasi perubahan garis pantai di Provinsi Lampung secara lebih mendalam dan akurat serta menganalisis seberapa besar terjadinya erosi dan akresi di pesisir pantai. Penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dengan menggunakan data dari satelit Sentinel-1 dalam pendekatan berbasis SDWI untuk mengukur perubahan garis pantai di Provinsi

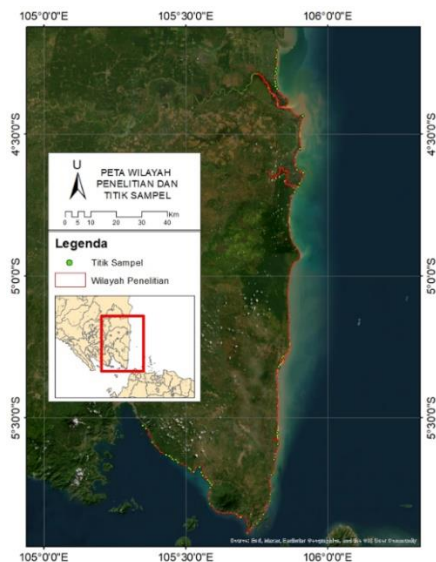
Lampung selama beberapa periode waktu. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang komprehensif tentang dinamika pesisir, termasuk erosi dan akresi, serta pola perubahan garis pantai. Data multi-temporal dari Sentinel-1 memungkinkan analisis yang akurat dan konsisten, dengan potensi untuk memberikan wawasan penting bagi manajemen pesisir dan perencanaan lingkungan di wilayah tersebut. Salah satu kegunaan praktis dari hasil penelitian ini adalah sebagai dasar awal skema pencegahan abrasi di area pesisir pantai.

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang ditunjukkan oleh diagram alir penelitian pada **Gambar 1**. Penelitian ini dilakukan di daerah pesisir timur dan selatan Provinsi Lampung, Indonesia, tepatnya di kabupaten Lampung Timur dan Lampung Selatan (**Gambar 2**). Kabupaten tersebut dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik pesisir yang sangat dinamis dan beragam. Wilayah ini dikenal karena memiliki garis pantai yang rentan terhadap erosi akibat kombinasi pasang surut, pola angin yang kuat, dan aktivitas manusia yang signifikan di sekitar garis pantai.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



Gambar 2. Lokasi penelitian.

Penelitian ini melibatkan serangkaian tahapan yang terstruktur yang meliputi pengumpulan data, pengolahan cita, analisis multitemporal, validasi dan verifikasi. Data Sentinel-1 yang bersifat multi-temporal harus dikumpulkan untuk wilayah pesisir Lampung selama periode tersebut. Data ini meliputi citra radar SAR yang dapat digunakan untuk memantau perubahan garis pantai dan data *ground truth* (Tabel 1).

Tabel 1. Data yang digunakan.

Date	Polarisasi	Kebutuhan
1/1/2018	VV/VH	
7/1/2019	VV/VH	
2/1/2020	VV/VH	Pemetaan garis pantai tahun 2018 - 2023
1/1/2021	VV/VH	
3/1/2022	VV/VH	
3/1/2023	VV/VH	
1/8/2023	-	Garis pantai aktual tahun 2023

Citra Sentinel 1 dengan mode polarisasi VV/VH diambil untuk melakukan pemetaan garis pantai pada periode tahun 2018 hingga 2023. Citra ini digunakan untuk memantau perubahan garis pantai dari waktu ke waktu.

Analisis nilai backscatter

Metode analisis nilai *backscatter* ini dapat memberikan informasi yang berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk pemetaan permukaan bumi, identifikasi dan klasifikasi objek, pemantauan perubahan, dan analisis lingkungan. Parameter yang mencerminkan nilai *backscatter* ini adalah sigma nol (*sigma-nought* σ_0) ataupun gamma nol (*gamma-nought* γ_0) yang bernilai rendah ketika dipantulkan oleh permukaan air. Analisis ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memetakan berbagai fitur permukaan seperti garis pantai, genangan air maupun penutup lahan lainnya. Secara fundamental, nilai *backscatter* inilah yang

akan menjadi parameter utama dalam membedakan permukaan air dan permukaan tanah.

Geometri dari Radar

Tahapan *radar geometri* mencakup perhitungan sudut pandang (*look angle*) dan sudut elevasi (*elevation angle*) yang berkaitan dengan orientasi antena radar dan objek di permukaan Bumi. Selain itu, terdapat perhitungan resolusi jarak (*range resolution*) yang menggambarkan kemampuan sistem radar dalam memisahkan objek yang berdekatan dalam arah sejajar dengan jalur gerak radar. Demikian juga, perhitungan resolusi sudut (*azimuth resolution*) mengukur kemampuan sistem radar untuk memisahkan objek yang berdekatan dalam arah tegak lurus dengan jalur gerak radar. Jarak (*range*) antara sistem radar dengan objek atau target juga dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang radar dari radar ke objek dan kembali (Mansourpour & Blais, 2006; Mansourpour et al., 2008).

Koreksi Medan

Data radar Sentinel-1, walau terbebas dari pengaruh siang-malam dan awan, masih memiliki kelemahan terhadap efek atmosfer dan topografi. Oleh karena itu, tahap koreksi atmosfer dan topografi diperlukan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh dari kedua efek tersebut.

Model Geometri

Tahapannya mencakup model pengiriman pulsa yang menjelaskan bagaimana pulsa radar dipancarkan dari antena radar ke permukaan Bumi, model perambatan gelombang yang menghitung perjalanan gelombang radar dari radar ke permukaan Bumi dan kembali, serta model interaksi dengan permukaan yang menjelaskan bagaimana pulsa radar berinteraksi dengan permukaan Bumi atau objek target. Selain itu, terdapat model resolusi dan pengolahan data yang mencakup perhitungan resolusi jarak dan sudut, serta menjelaskan bagaimana data radar diproses menjadi citra radar yang akhir (Mansourpour et al., 2008).

Speckle Filter

Speckle Filter merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan data Sentinel-1 untuk mengurangi noise speckle yang umumnya terjadi pada citra radar SAR (Synthetic Aperture Radar) (Mansourpour et al., 2008; Yu et al., 2018). Filter yang digunakan merupakan *Gamma filter* yang menggunakan histogram untuk menghitung parameter gamma yang akan digunakan dalam proses filtering (Mansourpour & Blais, 2006). Rumus

Gamma filter disajikan pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** berikut:

$$\gamma(x, y) = \frac{1}{\alpha} \ln + \left(\frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} (x_i) / I_i \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

$$I_i(x, y) = I(x, y) \left(\frac{I(x,y)}{I_b} \right)^{\gamma(x,y)} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

$I_i(x,y)$ adalah intensitas piksel yang telah difilter pada posisi (x, y) ,

$I(x,y)$ adalah intensitas piksel pada posisi (x, y) ,

I_i adalah intensitas dari piksel dengan indeks i dalam citra,

α adalah parameter yang dapat diatur,

L adalah jumlah piksel dalam citra,

I_b adalah intensitas median dari citra.

Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI)

SDWI merupakan indeks yang digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi perairan atau daerah yang tergenang air dalam citra radar Sentinel-1 yang memiliki dua polarisasi (*Dual-Polarized*) (Guo et al, 2021). Citra radar Sentinel-1 menyediakan dua mode polarisasi yang umumnya digunakan, yaitu VV (vertikal-vertikal) dan VH (vertikal-horizontal). Perbedaan antara dua polarisasi ini memungkinkan untuk mendapatkan informasi yang berbeda tentang permukaan bumi dan objek di atasnya. Mode polarisasi VV cenderung lebih sensitif terhadap permukaan yang kasar seperti air, sedangkan mode polarisasi VH lebih sensitif terhadap struktur vertikal atau objek yang tegak lurus dengan gelombang radar. SDWI merupakan salah satu cara untuk menggabungkan informasi dari dua mode polarisasi tersebut dan menghasilkan indeks yang dapat membedakan antara air dan daratan dalam citra radar. Indeks ini memanfaatkan perbedaan respons radar antara air dan daratan berdasarkan karakteristik polarisasi yang berbeda. Secara matematis (Guo et al, 2021), SDWI dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3**.

$$SDWI = \frac{(VV-VH)}{(VV+VH)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana VV adalah nilai intensitas dari mode polarisasi VV pada citra radar dan VH adalah nilai intensitas dari mode polarisasi VH pada citra radar. Hasil SDWI memiliki rentang nilai dari -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan adanya perairan, nilai negatif menunjukkan daratan, dan nilai mendekati nol menunjukkan area campuran antara air dan daratan atau area yang ambigu. Indeks SDWI digunakan untuk membangun fungsi biner (ya dan tidak) untuk mengekstrak informasi badan air.

Analisis Perubahan Garis Pantai Multi-Temporal

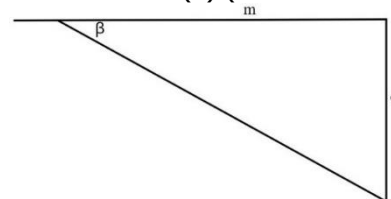
Data yang telah diolah akan digunakan untuk melakukan analisis multi-temporal guna mengidentifikasi dan mengukur perubahan garis pantai selama lima tahun. Proses analisis menggunakan bantuan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Metode pemrosesan data seperti interferometri diferensial atau perbandingan citra akan digunakan untuk mengekstrak perubahan garis pantai. Metode ini melibatkan perbandingan visual atau analisis numerik antara citra yang diambil pada waktu yang berbeda. Citra-citra tersebut dapat berupa citra radar atau citra optik dengan mode polarisasi yang sama (misalnya VV/VV atau VH/VH) atau berbeda (VV/VH atau VH/VV). Dengan membandingkan citra-citra ini, kita dapat mengidentifikasi perbedaan dalam penampilan garis pantai dari waktu ke waktu, termasuk pemanjangan atau pendekatan garis pantai (**Persamaan 4**).

$$\% = ((V_2 - V_1) / V_1) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

di mana V_1 adalah nilai atau panjang garis pantai pada waktu sebelumnya dan V_2 adalah nilai atau panjang garis pantai pada waktu sekarang (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014).

Koreksi Garis Pantai

Koreksi pasang surut dilakukan untuk menghilangkan pengaruh pasang surut air laut pada saat perekaman citra. Proses koreksi pasang surut menggunakan dua data utama yaitu data kedalaman laut dan data pasang surut. Kedua data tersebut digunakan untuk menentukan nilai kemiringan pantai sebagai dasar penentuan nilai koreksi. Nilai kemiringan pantai diperoleh dengan cara menghitung besar sudut antara jarak mendatar (m) dan kedalaman (d) (**Persamaan 5**).



Gambar 3. Skema perhitungan kemiringan pantai.

$$\tan \beta = \frac{d}{m} \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

d = Kedalaman

m = Jarak mendatar

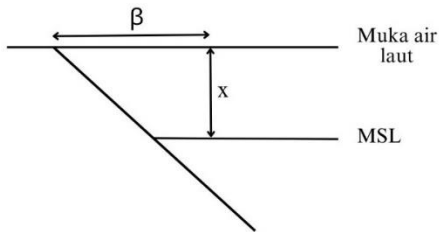
Nilai koreksi pasang surut dihitung berdasarkan selisih antara ketinggian muka air laut (x) saat perekaman citra terhadap nilai MSL. Nilai ketinggian muka air laut dan nilai MSL berdasarkan

nilai prediksi pasang surut dan konstanta harmonik pasang surut.

$$r = \frac{x}{\beta} \dots\dots\dots(6)$$

di mana:

- r = Jarak koreksi
- x = Selisih nilai pasut
- β = Kemiringan pantai



Gambar 4. Ilustrasi perhitungan jarak koreksi.

Berdasarkan **Gambar 4** apabila laut pasang maka koreksi dilakukan dengan pergeseran garis pantai sejauh nilai jarak koreksi (r). Jika saat perekaman sedang surut maka berlaku sebaliknya. Proses koreksi yang telah selesai dilanjutkan dengan proses analisis secara otomatis. Analisis perubahan garis pantai dilakukan untuk tahun 2018-2023 menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). DSAS menganalisis perubahan garis pantai dengan cara membentuk transeksi-transeksi dan menghasilkan data berupa jarak perubahan garis pantai.

Uji Akurasi Hasil Ekstraksi Garis Pantai

Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan dua data yaitu data garis pantai hasil ekstraksi dan data garis pantai hasil pengukuran langsung di lapangan. Uji akurasi dilakukan dengan metode perhitungan koefisien kappa Cohen.

$$\kappa = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \dots\dots\dots(7)$$

di mana:

- κ = Koefisien kappa Cohen
- Pr(a) = Persentase jumlah pengukuran konsisten
- Pr(e) = Persentase jumlah perubahan pengukuran

Hasil koefisien kappa Cohen diklasifikasikan sebagai berikut: nilai ≤ 0 menunjukkan tidak ada hubungan, 0.01-0.20 sedikit berhubungan, 0.21-0.40 sebagai buruk, 0.41-0.60 sebagai sedang, 0.61-0.80 sebagai berhubungan kuat, dan 0.81-1.00 sebagai sempurna (Cohen, 1960).

Analisis Erosi dan Akresi

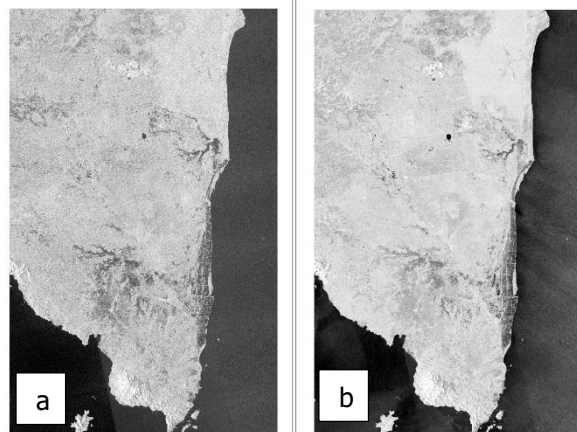
Metode analisis erosi dan akresi menggunakan citra Sentinel-1 sangat efektif karena citra radar SAR dapat menembus awan dan memberikan gambaran yang konsisten dari wilayah pesisir di berbagai kondisi cuaca. Hal ini memungkinkan pemantauan garis pantai secara berkala dan akurat, yang

menjadi landasan penting untuk pengelolaan wilayah pesisir dan mitigasi risiko erosi. Kondisi erosi didefinisikan sebagai perubahan garis pantai yang negatif (menjorok ke daratan). Sebaliknya, kondisi akresi adalah saat perubahan garis Pantai bernilai positif (mendekat ke laut).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi pada Citra Sentinel-1

Citra Sentinel-1 yang digunakan adalah citra sentinel yang diunduh pada platform GEE. Citra melalui beberapa proses koreksi sebelum dilakukan proses SDWI. Berikut merupakan gambar citra Sentinel-1 sebelum dan sesudah dikoreksi (**Gambar 5**). Citra Sentinel-1 dikoreksi dengan radar geometri, koreksi medan, model geometri dan *speckle filter*. Radar geometri berfungsi untuk menghitung sudut pandang dan sudut elevasi antara antenna radar dan objek di permukaan bumi (Mansourpour & Blais, 2006). Koreksi medan menghilangkan pengaruh topografi dan atmosfer bumi. Model geometri berfungsi untuk memodelkan pengiriman pulsa radar (Mansourpour et al., 2008). Proses koreksi yang terakhir adalah *speckle filter* untuk mengurangi *noise*.



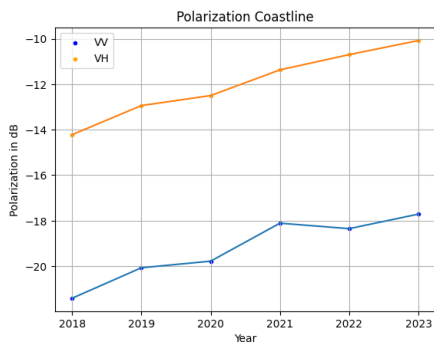
Gambar 5. Citra (a) sebelum dan (b) sesudah dikoreksi.

Perubahan hamburan balik dan deteksi garis pantai

Pada analisis *backscatter*, data citra radar SAR diolah untuk mengukur dan menggambarkan intensitas *backscatter* dari berbagai fitur atau objek dalam citra. Intensitas ini mencerminkan sifat permukaan atau material dari objek yang dipantau, termasuk tekstur, kemiringan, dan komposisi. Selain itu, analisis ini juga membantu dalam memahami perubahan morfologi pesisir dan dinamika garis pantai. Perubahan intensitas *backscatter* pada garis pantai dapat mengindikasikan proses erosi atau akresi, serta perubahan bentuk garis pantai dari waktu ke waktu (Liu, 2016). Dalam penelitian ini dengan membandingkan data citra radar multi-temporal,

analisis *backscatter* dapat mengungkapkan perubahan objek yang terjadi dari waktu ke waktu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Polarisasi VV memiliki nilai *backscatter* yang lebih rendah dibandingkan dengan polarisasi VH sepanjang tahun 2018 hingga 2023. Ini bisa menunjukkan bahwa objek atau permukaan bumi di wilayah yang diamati mungkin lebih menghasilkan pantulan yang lebih rendah terhadap polarisasi VV dibandingkan dengan VH. Lebih jelasnya, perubahan nilai *backscatter* disajikan secara visual pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Perbandingan nilai *backscatter*.

Nilai *backscatter* dalam polarisasi VV memiliki tren penurunan (semakin mendekati nol) dari tahun 2018 hingga 2023. Ini menunjukkan bahwa objek atau permukaan yang diukur dalam polarisasi VV cenderung semakin sedikit memantulkan energi radar dari waktu ke waktu (Simarmata & Murti, 2018). Demikian juga, nilai *backscatter* dalam polarisasi VH juga menunjukkan tren penurunan dari tahun 2018 hingga 2023. Ini mengindikasikan bahwa objek atau permukaan yang diukur dalam polarisasi VH juga cenderung semakin sedikit memantulkan energi radar dari waktu ke waktu. Nilai rata – rata *backscatter* garis pantai disajikan pada **Tabel 2**. Nilai *backscatter* VV dan VH bervariasi, terlihat pada perubahan signifikan dari tahun 2018 hingga 2020 dalam kedua parameter tersebut. Selain itu, perubahan dari 2021 ke 2022 lebih besar dari kombinasi tahun berurutan lainnya.

Tabel 2. Nilai rata – rata *backscatter*.

Tahun	Min (dB)		Max (dB)	
	VV	VH	VV	VH
2018	-24,29	-14,99	-14,12	-5,56
2019	-22,36	-14,10	-14,12	-5,56
2020	-27,59	-21,38	-15,35	-9,28
2021	-27,65	-21,60	-15,31	-9,10
2022	-22,9	-15,15	-14,09	-8,00
2023	-26,89	-20,09	-14,53	-8,39

Perubahan Garis Pantai

Berdasarkan hasil analisis garis pantai menggunakan transformasi indeks SDWI menunjukkan bahwa Nilai SDWI yang positif atau

mendekati 1 dapat mengindikasikan keberadaan air pada permukaan tanah. Semakin besar nilai SDWI positif, semakin besar kemungkinan ada air di area tersebut. Nilai positif SDWI sering digunakan untuk mendeteksi area air atau perubahan kondisi air, seperti banjir atau perairan (Haris et al., 2022). Nilai SDWI yang mendekati nol atau negatif cenderung menunjukkan permukaan yang lebih kering atau tidak memiliki air yang cukup banyak. Sementara nilai negatif SDWI dapat terjadi pada permukaan yang sangat kering atau terdiri dari bahan yang cenderung memantulkan radar secara berbeda pada dua polarisasi yang digunakan.

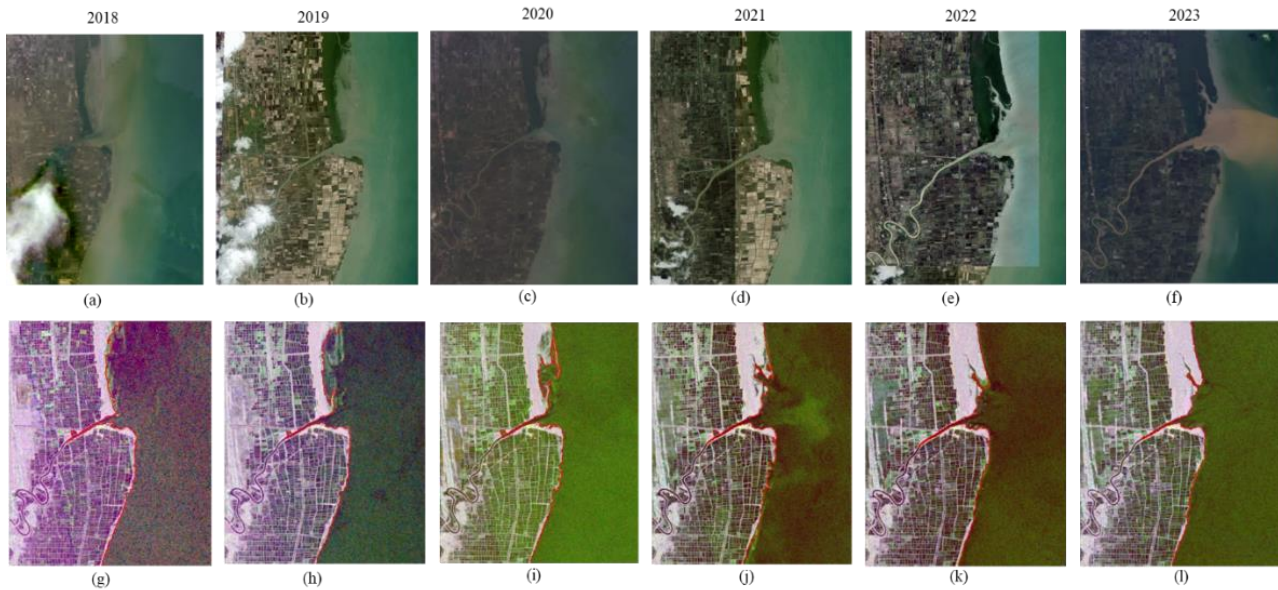
Hasil penelitian yang diperoleh merupakan perubahan garis pantai di berbagai lokasi selama 6 tahun terakhir. Analisis berfokus pada perubahan panjang garis pantai dan mengevaluasi dampaknya dengan memperhitungkan persentase perubahan terhadap panjang garis pantai awal. Berikut ini merupakan perbandingan perubahan garis pantai tahun 2018 – 2023 (**Gambar 7**).

Tabel 3. Persentase perubahan garis pantai.

Tahun	Panjang Garis Pantai (km)	Perubahan Panjang Pantai (km)	Persentase Perubahan tahun-per-tahun
2018	401,110		
2019	399,381	-1,729	0,43%
2020	396,267	-3,115	0,78%
2021	391,816	-4,451	1,12%
2022	400,399	8,583	2,19%
2023	381,583	-18,816	4,70%

Tabel 3 menampilkan data panjang garis Pantai dari tahun 2018 hingga 2023, perubahan panjang garis pantai serta persentase perubahan untuk setiap tahunnya. Pada tahun 2018, panjang garis pantai adalah 401,110 Km. Tahun berikutnya, pada tahun 2019, terjadi penurunan sebesar 1,729 Km, atau sekitar 0,43% dari panjang garis pantai pada tahun 2018. Artinya, garis pantai mengalami penurunan panjang pada tahun tersebut. Pada tahun 2020, terjadi penurunan sebesar 3,115 Km, atau sekitar 0,78% dari panjang garis pantai pada tahun 2019. Ini menandakan berlanjutnya kontraksi atau penyusutan pada garis pantai pada tahun tersebut.

Tren penurunan berlanjut di tahun 2021, dengan terjadinya penurunan sebesar 4,451 Km, atau sekitar 1,12% dari garis pantai pada tahun sebelumnya. Ini menunjukkan adanya proses erosi yang signifikan di wilayah pesisir sejak tahun 2018 sampai tahun 2021. Namun, di tahun 2022, tren sebaliknya terjadi, yaitu ada peningkatan yang cukup besar, sebesar 8,583 Km atau sekitar 2,19% dari panjang garis pantai pada tahun 2021. Peningkatan ini dapat disebabkan oleh proses akresi, yaitu penambahan material sedimen ke wilayah pesisir.

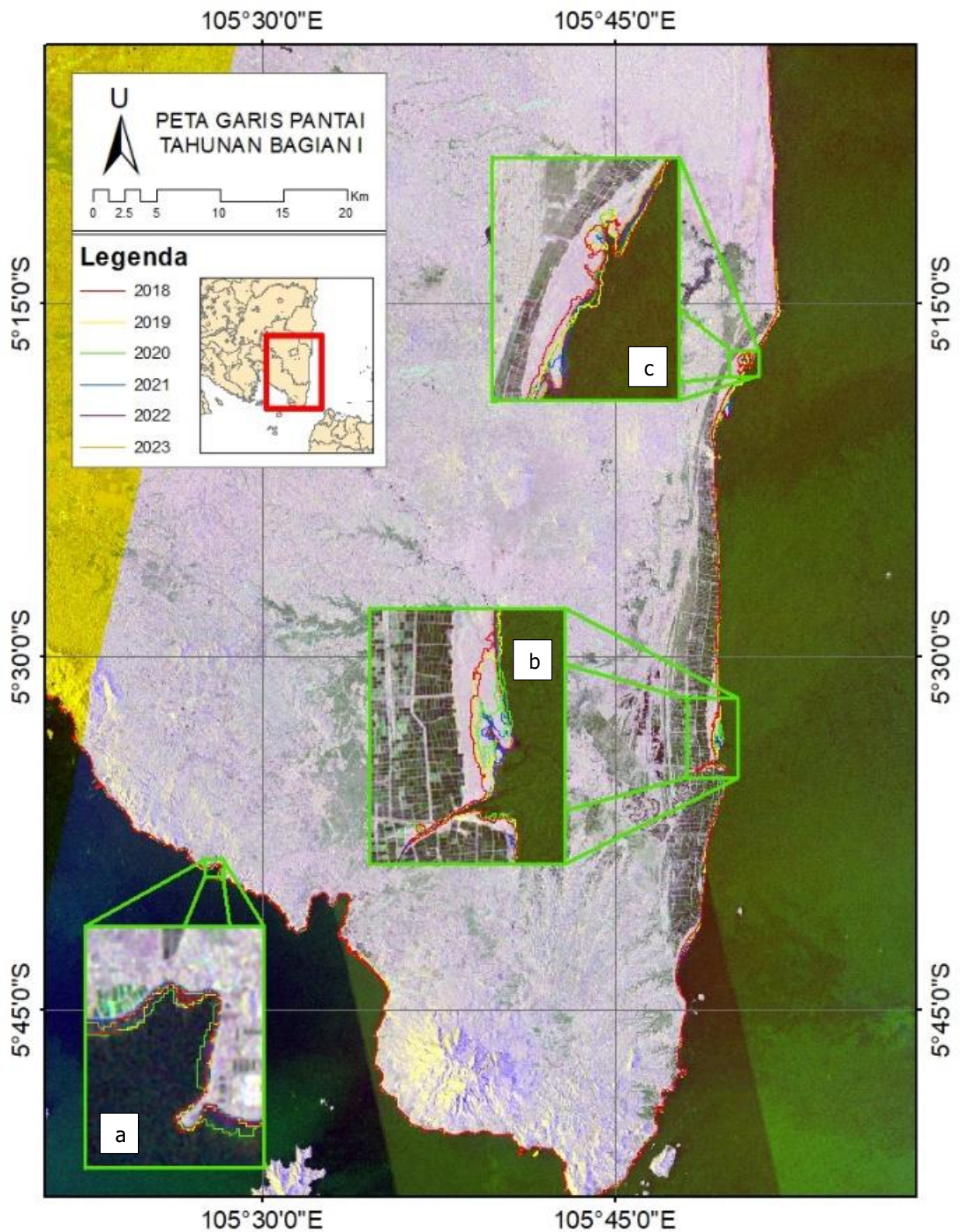


Gambar 7. Perubahan garis pantai di Lampung dari tahun 2018 hingga 2023. Batas merah menunjukkan hasil deteksi. (a) Citra optik tahun 2018; (b) Citra optik tahun 2019; (c) Citra optik tahun 2020; (d) Citra optik tahun 2021; (e) Citra optik tahun 2022; (f) Citra optik tahun 2023; (g) Citra SAR tahun 2018; (h) Citra SAR tahun 2019; (i) Citra SAR tahun 2020; (j) Citra SAR tahun 2021; (k) Citra SAR tahun 2022; (l) Citra SAR tahun 2023.

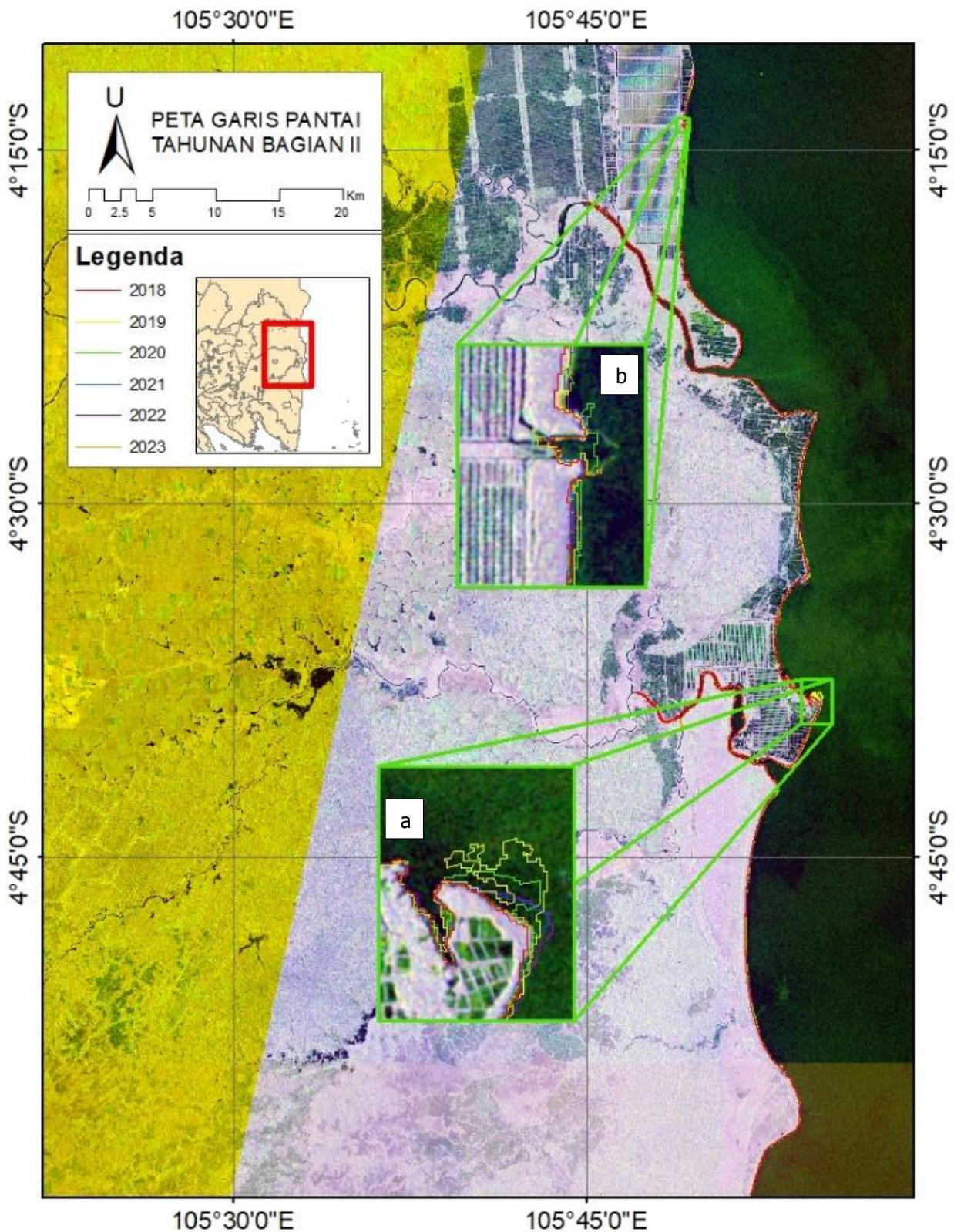
Tahun 2023 kembali menunjukkan penurunan yang signifikan, dengan terjadinya penurunan sebesar 18,816 Km, atau sekitar 4,70% dari panjang garis pantai pada tahun sebelumnya (**Gambar 8**). Ini menandakan adanya proses erosi kuat yang menyebabkan penurunan drastis pada panjang garis pantai. Data tersebut menunjukkan bahwa wilayah pesisir tersebut mengalami perubahan dinamis selama periode lima tahun. Proses erosi dan akresi adalah fenomena alami yang dapat terjadi di wilayah pesisir karena pengaruh gelombang, arus, dan proses geologis lainnya (Suthakar, 2019). Informasi ini dapat menjadi penting untuk pengelolaan wilayah pesisir dan perlindungan lingkungan di masa depan, khususnya dalam menghadapi ancaman perubahan iklim dan meningkatnya tingkat kenaikan permukaan laut.

Perubahan garis pantai pada bagian 1 (**Gambar 8**), menunjukkan terdapat 3 lokasi yang

menjadi *highlight* pada peta. Wilayah b dan c pada **Gambar 8** merupakan wilayah dengan tutupan lahan berupa ekosistem mangrove. Wilayah b secara lebih jelas ditunjukkan pada **Gambar 7**. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa dari tahun 2018 hingga tahun 2023 terjadi perubahan tutupan lahan mangrove sehingga menyebabkan berubahnya garis pantai. Perubahan luas area mangrove terjadi karena adanya pengaruh dari laju sedimentasi yang terjadi di sepanjang garis pantai. Sedimentasi yang terjadi menjadi tutupan lahan mangrove (Ghazali, 2020). Selain itu, perubahan garis pantai yang berasal dari akresi dan abrasi merupakan efek dari proses pasang surut yang berkelanjutan. Ditambah lagi dengan adanya kenaikan muka air laut secara global yang bernilai kecil tetapi konsisten selama 100 tahun terakhir. Kombinasi dari faktor-faktor di atas mengakibatkan dinamika dari garis pantai.



Gambar 8. Perubahan garis pantai Lampung bagian Selatan. (a) Desa Suak, Lampung Selatan; (b) Pasir Sakti, Lampung Timur; (c) Labuhan Maringgai, Lampung Timur



Gambar 9. Perubahan garis pantai Lampung Timur. (a) Dente Teladas, Tulang Bawang; (b) Rawa Jitu Timur, Tulang Bawang.

Analisis Pasang Surut

Pasang surut mempengaruhi proses erosi dan akresi dimana pada saat pasang tinggi, gelombang memiliki energi lebih besar, dan proses erosi cenderung lebih intens karena gelombang yang kuat dapat mengikis pantai dengan lebih efektif.

Namun, pasang tinggi juga dapat membawa material sedimen ke daratan, memfasilitasi proses akresi. Sebaliknya, selama pasang rendah, energi gelombang lebih rendah, dan biasanya terjadi lebih sedikit erosi pantai karena gelombang tidak memiliki energi yang cukup untuk mengikis material dari garis pantai. Pada saat yang sama proses akresi

cenderung lebih dominan karena gelombang membawa lebih banyak sedimen ke daratan. Selain itu, perbedaan waktu pengambilan citra satelit mengakibatkan perbedaan garis Pantai yang terekam karena pasang surut tersebut. Sehingga, perlu adanya koreksi/pengurangan efek pasang surut terhadap garis Pantai yang terekam di setiap citra satelit agar perubahan yang terekam dapat diatributkan secara penuh kepada dinamika yang sekular, bukan siklik. Berikut merupakan data rata – rata pasang surut di lokasi penelitian.

Tabel 4. Rata – rata tinggi pasang surut.

Tanggal	Tahun	Rata-rata (Timur) [m]	Rata – rata (Selatan) [m]
20180101	2018	0,030118	-0,013302
20190107	2019	-0,040792	0,026003
20200102	2020	0,034581	-0,309719
20210101	2021	-0,077109	0,1314198
20220103	2022	-0,034065	0,0105617
20230103	2023	0,011775	-0,060621

Tabel 4 menggambarkan data analisis mengenai perubahan tinggi air laut atau fluktuasi pasang surut dalam dua wilayah berbeda, yaitu wilayah Pantai Timur (**Gambar 9**) dan Pantai Selatan (**Gambar 8**), selama periode enam tahun dari 2018 hingga 2023. Pada tahun 2018, terlihat bahwa wilayah Timur mengalami rata-rata peningkatan sekitar 0,0301 m dalam tinggi air laut, sementara wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,0133 m. Ini mengindikasikan bahwa pada tahun tersebut, wilayah Timur mengalami peningkatan pasang surut sedangkan wilayah Selatan mengalami penurunan.

Pada tahun 2019, tren berbalik. Wilayah Timur mencatatkan rata-rata penurunan sekitar 0,0408, sedangkan wilayah Selatan mengalami peningkatan sekitar 0,0260. Pola ini berlanjut hingga tahun 2020, dengan wilayah Timur mengalami kenaikan rata-rata 0,0346 dan wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,0310. Namun, perubahan signifikan terjadi pada tahun 2021. Wilayah Timur mencatatkan penurunan tajam sekitar 0,0771, sementara wilayah Selatan mengalami peningkatan signifikan sekitar 0,1314. Tren ini mengindikasikan adanya fluktuasi yang kuat dalam pola pasang surut pada tahun tersebut. Pada tahun 2022, kedua wilayah mengalami penurunan pasang surut, meskipun dengan tingkat yang berbeda. Wilayah Timur mengalami penurunan rata-rata 0,0341 sementara wilayah Selatan mengalami peningkatan ringan sekitar 0,0106. Pada tahun terakhir, 2023, wilayah Timur mengalami peningkatan rata-rata 0,0118, sementara wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,0606.

Secara keseluruhan, data dalam tabel ini mencerminkan fluktuasi yang dinamis dalam tinggi

air laut di kedua wilayah selama enam tahun terakhir. Variabilitas dalam pola pasang surut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk perubahan cuaca, perubahan iklim, dan dinamika lingkungan pesisir. Pasang surut berperan penting dalam proses erosi dan akresi pantai. Selama pasang besar, gelombang yang lebih tinggi mencapai pantai, yang dapat menyebabkan erosi pantai. Selama surut besar, air laut mundur, dan proses akresi (penumpukan endapan) dapat terjadi (Setyawan et al., 2021). Pada proses perhitungan erosi dan akresi serta dalam perbandingan hasil perhitungan garis pantai tiap tahun, sudah dikurangi dengan efek pasang surut. Selain itu, untuk meminimalisir lebih jauh efek dari pasang surut di hasil, data yang diambil di setiap tahun diusahakan memiliki tanggal yang berdekatan (pekan pertama bulan Januari dari tahun 2018 sampai 2023).

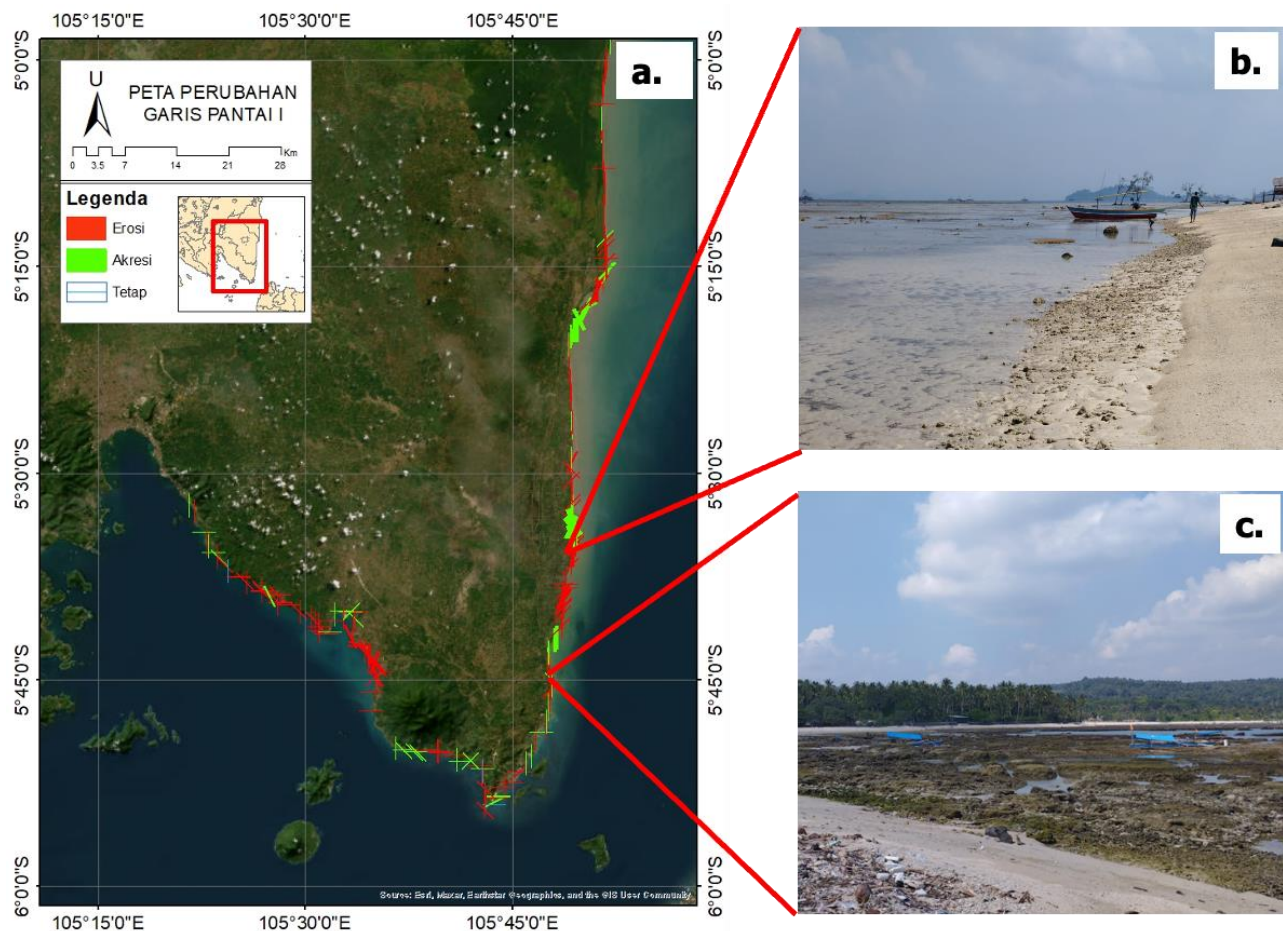
Akurasi pemetaan

Data perubahan garis pantai yang diperoleh dari analisis yang diukur berdasarkan data garis pantai terkoreksi yang diekstrak dari citra SAR tahun 2023 harus dibandingkan dengan data garis pantai *ground truth* tahun 2023. Perbandingan ini akan memberikan informasi tentang tingkat akurasi dari pemantauan garis pantai yang telah dilakukan. Proses uji akurasi menggunakan metode koefisien kappa cohen (**Tabel 5**).

Tabel 5. Koefisien kappa cohen.

Prediksi	Aktual		Total
	Ya	Tidak	
Ya	12	0	12
Tidak	1	3	4
Total	13	3	16

Berdasarkan hasil analisis **Tabel 5** yang menunjukkan prediksi dan aktual, dimana nilai Pr(a) adalah 0,9375, yang menggambarkan tingkat kesepakatan yang tinggi antara prediksi dan aktual. Di sisi lain, Pr(e) adalah 0,5625, yang mengindikasikan tingkat kesepakatan yang dapat diharapkan jika prediksi dilakukan secara acak. Berdasarkan analisis koefisien Kappa Cohen, diperoleh nilai 0,85714. Nilai ini dianggap menunjukkan hasil uji akurasi yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi memiliki tingkat kesepakatan yang tinggi dengan data aktual. Dengan kata lain, data yang dianalisis memiliki tingkat reliabilitas yang baik, dengan tingkat kesepakatan berkisar antara 64% hingga 81%. Oleh karena itu, hasil analisis menunjukkan bahwa data dapat diandalkan dan dapat digunakan dengan keyakinan tinggi dalam konteks yang relevan. Validasi lapangan dilakukan untuk membandingkan hasil pengolahan citra dengan kondisi di lapangan (**Gambar 10**).



Gambar 10. (a) Perubahan garis pantai, (b) lokasi pengamatan di Ketapang (c) lokasi pengamatan di Bakauheni.

Perubahan Erosi dan Akresi

Penelitian ini memberikan pemahaman tentang dinamika alami garis pantai dan bagaimana proses erosi dan akresi berinteraksi dengan faktor-faktor lingkungan seperti gelombang, arus, dan bentuk topografi pesisir. Hasil penelitian menunjukkan perubahan bentuk dan ukuran garis pantai dari waktu ke waktu. Data ini penting untuk memahami tingkat perubahan dan tingkat kerentanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim dan aktivitas manusia.

Tabel 6. Panjang perubahan garis pantai.

Jumlah Transek	Panjang Perubahan (Km)	Keterangan
481	24,425	Erosi
163	12,891	Akresi
15	0	Tidak Berubah

Analisis dari **Tabel 6** yang mewakili perubahan garis pantai dari tahun 2018 sampai 2023 menunjukkan bahwa sebanyak 481 transek di wilayah ini mengalami erosi, hal ini berarti terjadi penurunan atau kerusakan pada lapisan tanah atau lingkungan yang menyebabkan perubahan sekitar 24,425 kilometer panjang wilayah. Sementara perubahan garis pantai yang dianalisis sebanyak

163 transek yang mengalami akresi, yang berarti wilayah ini mengalami penambahan atau pertumbuhan sekitar 12,891 kilometer panjang wilayahnya, mungkin karena sedimentasi atau peningkatan lapisan tanah. Di wilayah ini, sebanyak 15 transek tidak mengalami perubahan dalam panjangnya, yang berarti wilayah ini tetap stabil tanpa perubahan yang signifikan dalam karakteristik geografis atau lingkungan.

Nilai erosi dan akresi berkaitan dengan perubahan panjang garis pantai yang terjadi. Berdasarkan **Tabel 3**, pada tahun 2022 pertambahan panjang garis pantai mencapai 8,583 Km. Hal tersebut berkaitan dengan pertambahan luas sebesar 118,383 ha yang menandakan bahwa terjadi akresi pada tahun 2022. Perubahan garis pantai yang signifikan juga ditunjukkan pada tahun 2023 terjadi pengurangan panjang garis pantai sepanjang 18,816 km. Berdasarkan analisis, terjadi perubahan luasan garis pantai pada tahun 2023 seluas 116,496 ha dikarenakan erosi. Perubahan besar terjadi pada rentang waktu 2018-2023 dengan luasan perubahan 262,746 ha. Perubahan terjadi akibat akresi yang terjadi pada tahun 2020. Hasil analisis ini memiliki kecenderungan yang sama dengan studi sebelumnya (Tarigan et al., 2021), menunjukkan bahwa di erosi dan akresi terjadi secara berdampingan di lokasi penelitian. Dari kedua proses tersebut, erosi lebih dominan

(merubah garis pantai dua kali lipat) dari akresi. Faktor yang mempengaruhi hal ini secara antropogenik adalah dikarenakan kurangnya upaya pengurangan efek erosi seperti penanaman mangrove dan menjaga tata guna lahan dari pantai menjadi lahan tambak. Selain itu, tentunya faktor lingkungan dan perubahan iklim berpengaruh dalam proses erosi dan akresi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra Sentinel 1 dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan garis pantai menggunakan nilai *backscatter* dari polarisasi VV dan VH di sebagian pantai timur Provinsi Lampung. Analisis perubahan panjang garis pantai dalam kurun waktu 2018 hingga 2023 menunjukkan variasi yang signifikan yang dapat diatribusikan kepada proses erosi dan akresi. Pada tahun 2022, terjadi pertambahan panjang garis pantai sebesar 8,583 km, yang menunjukkan terjadinya akresi dengan pertambahan luas sebesar 118,383 Ha. Namun, pada tahun 2023, terjadi pengurangan panjang garis pantai sebesar 18,816 km, mencerminkan erosi pantai yang parah dengan pengurangan luas sebesar 116,496 Ha.

Analisis selama periode 2018-2023 terjadi perubahan luas pantai secara keseluruhan sebesar 262,746 Ha, yang terutama dipengaruhi oleh proses akresi yang signifikan pada tahun 2020. Hasil analisis ini memberikan wawasan penting tentang dinamika pesisir dan perubahan lingkungan yang berkaitan dengan erosi dan akresi, yang merupakan informasi yang sangat berharga dalam pengelolaan dan pemeliharaan ekosistem pesisir yang rentan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan model numerik atau analisis spasial dapat membantu dalam memprediksi perubahan garis pantai di masa depan yang akan membantu dalam perencanaan dan mitigasi risiko erosi di daerah pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim surveyor yang luar biasa berperan penting dalam mengumpulkan data yang menjadi landasan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). SNI 8033:2014: Metode penghitungan perubahan tutupan hutan berdasarkan hasil penafsiran citra penginderaan jauh optik secara visual (in Bahasa). Jakarta.

Bioresita, F., & Isya, N. (2016). Coastline Changes Detection Using Sentinel-1 Satellite Imagery In Surabaya, East Java, Indonesia. *Geoid*, 11, 190. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i2.1265>

Chang, L., Chen, Y. T., Wu, M. C., Alkhaleefah, M., & Chang, Y. L. (2022). U-Net for Taiwan Shoreline Detection from SAR Images. *Remote Sensing*, 14(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs14205135>

Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

Ghazali, M. F. (2020). Spektral Analisis Untuk Pengamatan Keragaman Vegetasi Mangrove di Labuhan Maringgai, Lampung Timur. (Studi Pendahuluan). *Seminal Nasional Konservasi*. Lampung: LPPM UNILA.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Guo, J., Luan, Y., Li, Z., Liu, X., Li, C., & Chang, X. (2021). Mozambique Flood (2019) Caused by Tropical Cyclone Idai Monitored From Sentinel-1 and Sentinel-2 Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3107279>

Haris, N. A., Jatmiko, R. H., & Farda, N. M. (2022). Pemanfaatan Citra Optik dan Citra Radar dalam Identifikasi Tambak di Pesisir Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Environmental Science*, 4(2). <https://doi.org/10.35580/jes.v4i2.29832>

Irwin, K., Beaulne, D., Braun, A., & Fotopoulos, G. (2017). Fusion of SAR, Optical Imagery and Airborne LiDAR for Surface Water Detection. *Remote Sensing*, Vol. 9. <https://doi.org/10.3390/rs9090890>

Liu, C. (2016). Analysis of Sentinel-1 SAR data for mapping standing water in the Twente region. *University of Twente - ITC*, 47.

Mansourpour, M., Rajabi, M. a, & Rezaee, Z. (2008). *Radiometric and Geometric Correction Methods for Active Radar and SAR Imageries*.

Mansourpour, M., & Blais, R. (2006). Effects and performance of speckle noise reduction filters on active radar and SAR images. *Proc. ISPRS*.

Markiewicz, Ł., Mazurek, P., & Chybicki, A. (2016). Coastline change-detection method using remote sensing satellite observation data. *Hydroacoustics*, 19, 277–284.

Nadzir, Z. A., Jaelani, L. M., & Sulaiman, A. (2016). Estimasi Tinggi Gelombang Laut menggunakan Citra Satelit ALOS-PALSAR, Studi Kasus Perairan Pulau Poteran, Sumenep. *Jurnal Geosaintek*, 3(3), 173–184.

Refice, A., Zingaro, M., D'Addabbo, A., & Chini, M. (2020). Integrating C- and L-Band SAR Imagery for Detailed Flood Monitoring of Remote Vegetated Areas. *Water*, 12, 27. <https://doi.org/10.3390/w12102745>

Setyawan, F. O., Sari, W. K., & Aliviyaniti, D. (2021). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.22>

Simarmata, N., & Heru Murti, S. (2018). *Karakteristik Backscatter Citra Alos Palsar Polarisasi HH Dan HV Terhadap Parameter Biofisik Hutan Di Sebagian Taman Nasional Kerinci Seblat*.

- Sui, L., Wang, J., Yang, X., & Wang, Z. (2020). Spatial-Temporal Characteristics of Coastline Changes in Indonesia from 1990 to 2018. *Sustainability*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/su12083242>
- Sunu, H. A., Yuwono, B. D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Ketelitian DSM Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17–26.
- Suthakar, K. (2019). *Detection of Coastline Change in Koddigar Bay of Trincomalee District using Remotely Sensed Imageries and GIS Technology*.
- Tarigan, T., Nurisman, N., & Simarmata, N. (2021). *Identification of Coastal Problem along the East Coast of Lampung Indonesia*. (Isoceen 2019), 138–142. <https://doi.org/10.5220/0010059201380142>
- Wu, L., Tajima, Y., Yamanaka, Y., Shimozone, T., & Sato, S. (2019). Study on characteristics of SAR imagery around the coast for shoreline detection. *Coastal Engineering Journal*, 61(2), 152–170. <https://doi.org/10.1080/21664250.2018.1560685>
- Yen, N. H., & Kim, T. L. T. (2020). Coastline changes detection from Sentinel – 1 satellite imagery using spatial fuzzy clustering and interactive thresholding method in Phan Thiet , Binh Thuan. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, 2020(6), 1–10. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(6\).1](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(6).1)
- Yu, Z., Wang, W., Li, C., Liu, W., & Yang, J. (2018). Speckle Noise Suppression in SAR Images Using a Three-Step Algorithm. *Sensors*, Vol. 18. <https://doi.org/10.3390/s18113643>