

Dinamika Spasial Abrasi dan Akresi Menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Berbasis Citra Sentinel-2 untuk Mendukung Pengelolaan Wilayah Pesisir Berkelanjutan di Estuari Sungai Batakan

**Gerarda Anastasya Bisa^{1*}, Efrinda Ari Ayuningtyas², Wisnu Putra Danarto³,
Indra Agung Pamuja⁴**

^{1,2,3,4}Jurusan Geografi, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, Jl. Brigjen H.Hasan Basry Kayu Tangi, Banjarmasin. Telp/fax. (0511) 3304595,
2210416220027@mhs.ulm.ac.id , efrinda.ayuningtyas@ulm.ac.id ,
wisnu.danarto@ulm.ac.id , indra.agung.pamuja@ulm.ac.id

*Korespondensi : 2210416220027@mhs.ulm.ac.id

Diterima: 06 Juni 2026 ; Review: 07 Juni 2026 ; Disetujui: 15 Juli 2026 ; Diterbitkan: 21 Juli 2026

Abstract

Shoreline change is an important indicator for understanding coastal environmental dynamics as it reflects the interaction between erosion and accretion processes occurring both temporally and spatially. The Batakan River Estuary, located in Panyipatan District, Tanah Laut Regency, is a coastal area influenced by the interaction of fluvial and marine processes, making it vulnerable to shoreline morphological changes. This study aims to analyze shoreline dynamics in the Batakan River Estuary during the 2020–2025 period using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) approach. The data consisted of shorelines extracted from Sentinel-2 imagery acquired between 2020 and 2025 and processed using Google Earth Engine. The analysis employed the Net Shoreline Movement (NSM) parameter to measure shoreline displacement and the End Point Rate (EPR) parameter to calculate the annual rate of shoreline change. The results indicate that shoreline changes occurred throughout the estuarine area, with distinct characteristics in each segment. Segment 1 was dominated by accretion, with NSM values ranging from 0.70 to 167.06 m and EPR values ranging from 0.35 to 33.41 m/year. Segment 2 exhibited a fluctuating pattern, with NSM values ranging from -19.93 to 21.37 m and EPR values ranging from -3.99 to 4.27 m/year. Segment 3 experienced the highest erosion intensity, characterized by a minimum NSM value of -79.60 m and a minimum EPR value of -15.92 m/year. Meanwhile, Segment 4 showed a mixed pattern, with NSM values ranging from -10.71 to 57.55 m and EPR values ranging from -2.14 to 11.51 m/year. These findings indicate that shoreline dynamics in the Batakan River Estuary are spatially heterogeneous, forming distinct patterns across different segments of the estuary. The spatial information generated from this study can serve as a basis for coastal zone management, environmental monitoring, erosion mitigation planning, and sustainable sediment management.

Keywords : *Shoreline change, coastal zone management, erosion, accretion, DSAS.*

Abstrak

Perubahan garis pantai merupakan indikator penting dalam memahami dinamika lingkungan pesisir karena mencerminkan interaksi antara proses abrasi dan akresi yang berlangsung secara temporal maupun spasial. Estuari Sungai Batakan di Kecamatan Panyipatan, Kabupaten Tanah Laut, merupakan kawasan pesisir yang dipengaruhi oleh interaksi proses fluvial dan marin sehingga rentan mengalami perubahan morfologi garis

pantai. Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika perubahan garis pantai Estuari Sungai Batakan periode 2020–2025 menggunakan pendekatan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Data yang digunakan berupa garis pantai hasil ekstraksi citra Sentinel-2 tahun 2020–2025 yang diproses melalui Google Earth Engine. Analisis dilakukan menggunakan parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mengukur besaran perubahan garis pantai dan *End Point Rate* (EPR) untuk menghitung laju perubahan tahunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan garis pantai terjadi pada seluruh wilayah estuari dengan karakteristik yang berbeda pada setiap segmen. Segmen 1 didominasi akresi dengan nilai NSM berkisar 0,70–167,06 m dan EPR 0,35–33,41 m/tahun. Segmen 2 menunjukkan karakter fluktuatif dengan nilai NSM antara -19,93 m hingga 21,37 m dan EPR antara -3,99 m/tahun hingga 4,27 m/tahun. Segmen 3 merupakan wilayah dengan tingkat abrasi tertinggi yang ditunjukkan oleh nilai NSM minimum -79,60 m dan EPR minimum -15,92 m/tahun. Sementara itu, Segmen 4 memperlihatkan pola campuran dengan nilai NSM berkisar -10,71 m hingga 57,55 m dan EPR antara -2,14 m/tahun hingga 11,51 m/tahun. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa dinamika garis pantai di Estuari Sungai Batakan tidak berlangsung secara homogen, melainkan membentuk variasi spasial yang berbeda pada setiap segmen. Informasi spasial yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengelolaan wilayah pesisir, pemantauan perubahan lingkungan, serta penyusunan strategi mitigasi abrasi dan pengelolaan sedimentasi secara berkelanjutan.

Kata kunci : perubahan garis pantai, pengelolaan wilayah pesisir, abrasi, akresi, DSAS.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan kawasan transisi antara daratan dan lautan yang memiliki karakteristik lingkungan sangat dinamis akibat interaksi berbagai proses fluvial, oseanografi, dan geomorfologi. Interaksi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan morfologi pantai yang berlangsung secara terus-menerus, salah satunya ditunjukkan melalui perubahan posisi garis pantai. Perubahan garis pantai menjadi indikator penting dalam menilai dinamika lingkungan pesisir karena berkaitan dengan keseimbangan proses erosi dan sedimentasi yang memengaruhi kondisi fisik wilayah, ekosistem pesisir, serta pemanfaatan ruang oleh masyarakat (Boak & Turner, 2005; Perillo dkk., 2019).

Secara geomorfologis, perubahan garis pantai terjadi melalui dua proses utama, yaitu abrasi dan akresi. Abrasi merupakan proses mundurnya garis pantai akibat dominasi erosi dan hilangnya material sedimen, sedangkan akresi merupakan proses bertambahnya daratan akibat deposisi sedimen yang lebih besar dibandingkan laju erosi (Mentaschi dkk., 2018). Dinamika kedua proses tersebut dikendalikan oleh berbagai faktor seperti gelombang, arus, pasang surut, suplai sedimen sungai, karakteristik morfologi pantai, serta aktivitas manusia yang memengaruhi keseimbangan sistem pesisir (Day Jr. dkk., 2012; Perillo dkk., 2019). Ketidakseimbangan proses tersebut dapat menyebabkan perubahan spasial garis pantai yang berbeda pada setiap segmen pesisir sehingga memerlukan pemantauan secara berkala.

Kawasan estuari merupakan salah satu lingkungan pesisir yang memiliki tingkat dinamika tinggi karena menjadi zona pertemuan antara proses fluvial dan marin. Interaksi antara aliran sungai, pasang surut, gelombang, dan transportasi sedimen menyebabkan estuari terus mengalami perubahan morfologi dari waktu ke waktu (Davies, 1973). Selain berfungsi sebagai habitat berbagai organisme perairan dan perangkap sedimen alami, estuari juga memiliki peran penting bagi aktivitas masyarakat pesisir seperti perikanan, transportasi perairan, dan pemanfaatan sumber daya pesisir (Sheaves dkk., 2015). Oleh karena itu, perubahan garis pantai pada kawasan estuari tidak hanya mencerminkan dinamika lingkungan fisik, tetapi juga berpotensi memengaruhi aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat yang bergantung pada kawasan pesisir.

Salah satu kawasan estuari yang menunjukkan dinamika lingkungan pesisir yang aktif adalah Estuari Sungai Batakan yang terletak di Kecamatan Panyipatan, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Kawasan ini merupakan wilayah transisi yang dipengaruhi oleh proses sedimentasi sungai dan dinamika gelombang Laut Jawa sehingga

membentuk karakteristik pesisir yang beragam. Penelitian Darmiati dkk. (2020) menunjukkan bahwa wilayah pesisir Kabupaten Tanah Laut mengalami dinamika abrasi dan akresi yang cukup intensif akibat variasi suplai sedimen dan pengaruh hidrodinamika pesisir. Selain itu, kawasan pesisir Batakan memiliki tipologi pesisir yang beragam, meliputi *sub-aerial deposition coast*, *marine deposition coast*, dan *volcanic coast*, yang menyebabkan respons perubahan garis pantai berbeda pada setiap segmen wilayah pesisir (Setiawan, 2023). Dinamika tersebut tercermin melalui kejadian banjir rob yang terjadi berulang, sedimentasi muara yang menyebabkan pendangkalan alur perairan, serta perubahan posisi garis pantai yang terus berlangsung dalam beberapa tahun terakhir.

Informasi mengenai pola perubahan garis pantai menjadi penting karena dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan wilayah pesisir yang lebih adaptif. Informasi spasial mengenai lokasi abrasi dan akresi memungkinkan identifikasi wilayah yang memerlukan pemantauan, mitigasi, maupun pengelolaan sedimentasi secara lebih efektif. Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis memungkinkan pemantauan perubahan garis pantai dilakukan secara efisien melalui analisis data multitemporal. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) yang mampu menghasilkan informasi kuantitatif mengenai besaran dan laju perubahan garis pantai berdasarkan posisi garis pantai pada periode yang berbeda (Himmelstoss & Henderson, 2021).

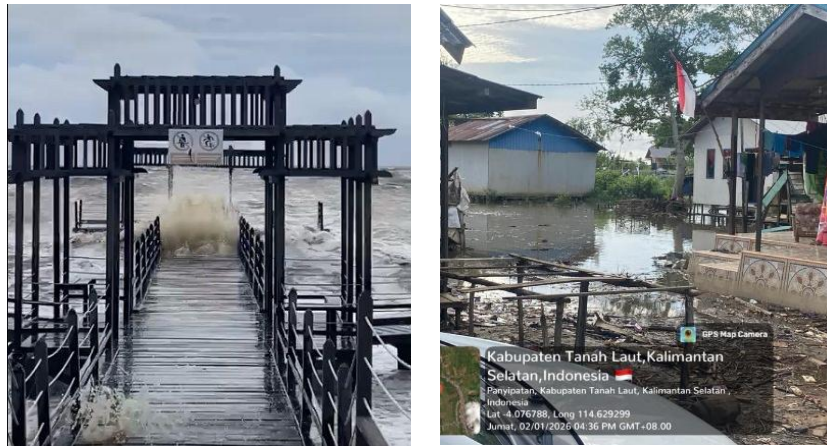
Meskipun dinamika lingkungan pesisir di Estuari Sungai Batakan telah menunjukkan indikasi perubahan morfologi yang cukup aktif, informasi spasial mengenai distribusi abrasi dan akresi pada kawasan ini masih relatif terbatas. Padahal, informasi tersebut diperlukan untuk memahami karakteristik perubahan garis pantai pada setiap segmen estuari serta mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika perubahan garis pantai Estuari Sungai Batakan periode 2020–2025 menggunakan pendekatan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Analisis difokuskan pada identifikasi pola abrasi dan akresi berdasarkan parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) yang didukung oleh *End Point Rate* (EPR) sehingga menghasilkan informasi spasial yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengelolaan wilayah pesisir dan pemantauan perubahan lingkungan di kawasan estuari.

2. ANALISIS SITUASI

Estuari Sungai Batakan yang terletak di Kecamatan Panyipatan, Kabupaten Tanah Laut, merupakan kawasan pesisir yang memiliki peranan penting bagi aktivitas masyarakat setempat. Kawasan ini dimanfaatkan sebagai jalur transportasi perairan, lokasi tambat perahu nelayan, serta area penangkapan ikan yang mendukung mata pencaharian masyarakat pesisir. Sebagai wilayah transisi antara daratan dan lautan, estuari juga dipengaruhi oleh interaksi proses fluvial dan marin yang menyebabkan kondisi lingkungan pesisir terus mengalami perubahan dari waktu ke waktu (Davis, 1973; Day Jr. dkk., 2012). Interaksi antara suplai sedimen dari aliran sungai, gelombang, arus pasang surut, dan dinamika oseanografi menjadikan kawasan estuari rentan mengalami abrasi maupun akresi. Abrasi menyebabkan kemunduran garis pantai akibat proses pengikisan, sedangkan akresi terjadi akibat pengendapan sedimen yang membentuk daratan baru atau memperluas wilayah pesisir. Kedua proses tersebut berlangsung secara dinamis dan menentukan stabilitas morfologi estuari serta keberlanjutan fungsi kawasan pesisir. Oleh karena itu, keberlanjutan fungsi kawasan estuari sangat dipengaruhi oleh stabilitas kondisi fisik pesisir, khususnya perubahan garis pantai.

Berdasarkan kondisi lapangan dan berbagai laporan, pada periode 2012–2025 kawasan pesisir Batakan menunjukkan dinamika lingkungan yang cukup aktif. Kejadian banjir rob yang dilaporkan pada tahun 2012 menyebabkan genangan di kawasan permukiman pesisir Batakan dan Tanjung Dewa (ANTARA News, 2012). Selanjutnya, proses sedimentasi di sekitar muara terus berlangsung hingga beberapa tahun berikutnya dan pada tahun 2026 dilaporkan telah menyebabkan pendangkalan alur perairan yang dimanfaatkan masyarakat untuk aktivitas transportasi dan perikanan (Wartabancar.com, 2026). Kondisi tersebut mengindikasikan adanya proses akresi pada beberapa bagian

estuari akibat pengendapan sedimen, sementara pada bagian lain berpotensi terjadi abrasi sebagai respons terhadap pengaruh gelombang, arus, dan pasang surut. Dinamika abrasi dan akresi yang terjadi secara spasial ini tidak hanya mengubah posisi garis pantai, tetapi juga berpotensi memengaruhi aksesibilitas jalur pelayaran nelayan, fungsi ekosistem pesisir, serta aktivitas sosial ekonomi masyarakat yang bergantung pada kawasan estuari.



Gambar 1. Wilayah Terdampak Banjir Rob
Sumber: (Wartabanjar.com, 2026)

Perubahan garis pantai merupakan salah satu indikator penting untuk memahami dinamika lingkungan pesisir di Estuari Sungai Batakan. Proses abrasi dapat menyebabkan mundurnya garis pantai dan meningkatkan kerentanan wilayah pesisir, sedangkan akresi dapat memicu pembentukan daratan baru sekaligus mempercepat sedimentasi pada area tertentu (Boak & Turner, 2005; Mentaschi dkk., 2018). Oleh karena itu, informasi spasial mengenai lokasi, arah, dan besaran perubahan garis pantai diperlukan sebagai dasar pemantauan kondisi pesisir serta pendukung pengelolaan wilayah yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Informasi tersebut menjadi penting untuk mengidentifikasi segmen pesisir yang memerlukan perhatian lebih lanjut dalam upaya pengelolaan dan pemanfaatan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Estuari Sungai Batakan, Desa Batakan, Kecamatan Panyipatan, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Area penelitian mencakup kawasan estuari seluas $\pm 0,16$ km² yang berada pada koordinat 114°37'30,38" BT–114°37'45,36" BT dan 04°04'40,36" LS–04°04'28,32" LS. Untuk memudahkan analisis perubahan garis pantai, wilayah penelitian dibagi menjadi empat segmen yang terdiri atas dua segmen di bagian utara dan dua segmen di bagian selatan berdasarkan karakteristik spasial wilayah. Lokasi penelitian dan pembagian segmen disajikan pada Gambar 2.

Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) berdasarkan data garis pantai hasil ekstraksi citra Sentinel-2 tahun 2020–2025 yang diproses melalui Google Earth Engine (GEE). Garis pantai multitemporal dianalisis menggunakan transek yang dibangun tegak lurus terhadap garis pantai untuk menghitung besaran dan laju perubahan garis pantai pada setiap lokasi pengamatan. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data citra, ekstraksi garis pantai, pembuatan transek, analisis DSAS, serta interpretasi hasil perubahan garis pantai yang disajikan pada Gambar 3.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). NSM digunakan untuk mengukur besarnya perpindahan garis pantai antara tahun awal dan tahun akhir pengamatan yang dihitung menggunakan persamaan:

$$NSM = D_2 - D_1 \dots\dots\dots(1)$$

dengan NSM adalah perubahan garis pantai (m), D_2 merupakan posisi garis pantai tahun akhir, dan D_1 merupakan posisi garis pantai tahun awal. Nilai NSM positif menunjukkan akresi, sedangkan nilai negatif menunjukkan abrasi.

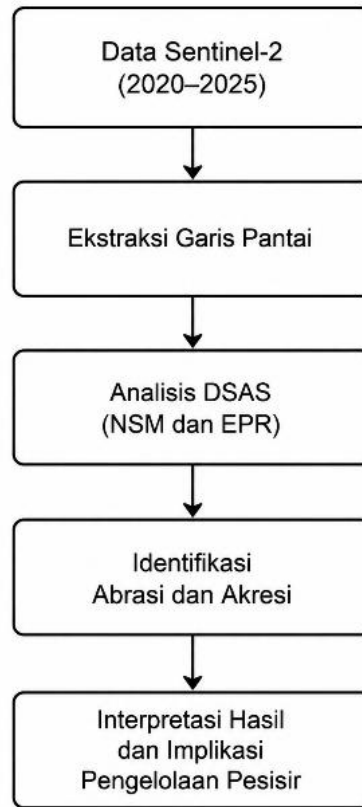
Laju perubahan garis pantai dihitung menggunakan parameter EPR dengan persamaan:

$$EPR = (D_2 - D_1)/(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2)$$

dengan EPR adalah laju perubahan garis pantai (m/tahun), D_2 merupakan posisi garis pantai tahun akhir, D_1 merupakan posisi garis pantai tahun awal, T_2 merupakan tahun akhir pengamatan, dan T_1 merupakan tahun awal pengamatan. Nilai EPR positif menunjukkan laju akresi, sedangkan nilai negatif menunjukkan laju abrasi. Hasil analisis NSM dan EPR kemudian digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik perubahan garis pantai pada setiap segmen Estuari Sungai Batakan (Himmelstoss dkk., 2024; Thieler dkk., 2009).



Gambar 2. Peta lokasi penelitian dan pembagian segmen analisis garis Pantai Estuari Sungai Batakan

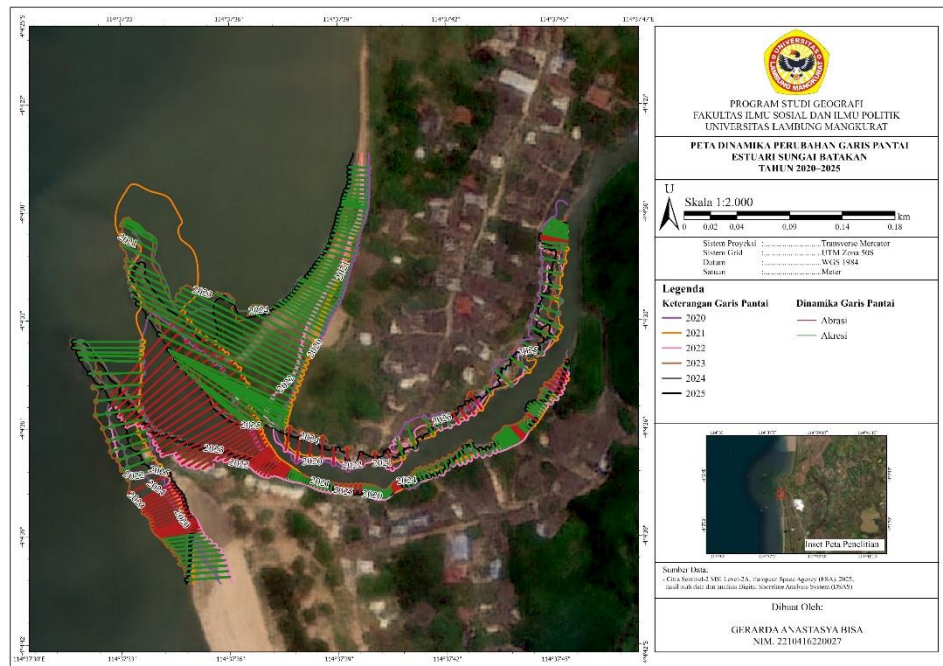


Gambar 3. Diagram alir penelitian perubahan garis pantai Estuari Sungai Batakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Dinamika Perubahan Garis Pantai Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025

Perubahan garis pantai merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dinamika lingkungan pesisir karena mencerminkan perubahan posisi batas antara daratan dan perairan dari waktu ke waktu (Boak & Turner, 2005). Pada lingkungan estuari, perubahan tersebut umumnya ditunjukkan melalui kemunculan zona abrasi dan akresi yang memiliki distribusi spasial berbeda sesuai dengan karakteristik masing-masing bagian wilayah. Oleh karena itu, identifikasi pola perubahan garis pantai menjadi langkah awal untuk memahami karakter dinamika pesisir yang terjadi di Estuari Sungai Batakan selama periode pengamatan.



Gambar 4. Peta Dinamika Abrasi dan Akresi Garis Pantai Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025
Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Peta pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai terjadi pada seluruh bagian estuari dengan intensitas yang bervariasi. Sebaran area abrasi dan akresi tidak menunjukkan pola yang seragam, melainkan membentuk distribusi spasial yang berbeda antarbagian wilayah penelitian. Keberadaan zona berwarna hijau menunjukkan lokasi yang mengalami akresi, sedangkan area berwarna merah menunjukkan lokasi yang mengalami abrasi selama periode 2020–2025. Pola tersebut mengindikasikan bahwa perubahan garis pantai di Estuari Sungai Batakan berlangsung secara dinamis dan tidak terkonsentrasi pada satu lokasi tertentu.

Distribusi perubahan yang terlihat pada peta menunjukkan kecenderungan dominasi akresi pada bagian utara estuari, sementara bagian selatan lebih banyak memperlihatkan area yang mengalami abrasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa arah perubahan garis pantai pada wilayah penelitian tidak berlangsung secara homogen. Menurut Mentaschi dkk. (2018), akresi ditandai oleh pergeseran garis pantai ke arah laut yang menyebabkan bertambahnya daratan, sedangkan abrasi ditandai oleh kemunduran garis pantai akibat berkurangnya material pantai. Keberadaan kedua proses tersebut secara bersamaan menunjukkan bahwa perubahan garis pantai di Estuari Sungai Batakan berlangsung dalam bentuk redistribusi spasial antara area yang mengalami penambahan dan pengurangan daratan.

Selain memperlihatkan dominasi perubahan yang berbeda antara bagian utara dan selatan, beberapa lokasi juga menunjukkan keberadaan abrasi dan akresi dalam jarak yang relatif berdekatan. Fenomena tersebut menggambarkan bahwa karakter perubahan garis pantai memiliki variasi spasial yang cukup tinggi pada skala estuari. Variasi tersebut menyebabkan setiap segmen memiliki karakteristik perubahan yang berbeda, baik dari sisi arah maupun besaran perubahan garis pantai. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih rinci pada masing-masing segmen untuk mengidentifikasi pola abrasi dan akresi berdasarkan nilai *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR).

4.2 Analisis Perubahan Garis Pantai Berdasarkan Nilai NSM dan EPR

Dinamika perubahan garis pantai pada Estuari Sungai Batakan dianalisis menggunakan parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). NSM merepresentasikan besarnya pergeseran posisi garis pantai antara tahun 2020 dan 2025, sedangkan EPR menunjukkan laju perubahan garis pantai per tahun berdasarkan selisih posisi garis pantai pada kedua periode pengamatan (Himmelstoss & Henderson, 2021; Thieler dkk., 2009). Nilai positif mengindikasikan pergeseran garis pantai ke arah laut yang mencerminkan akresi, sementara nilai negatif menunjukkan kemunduran garis pantai ke arah daratan yang mengindikasikan abrasi. Analisis kedua parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi karakter perubahan garis pantai pada masing-masing segmen estuari secara kuantitatif. Statistik nilai NSM dan EPR disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Nilai NSM dan EPR pada Setiap Segmen Estuari Sungai Batakan

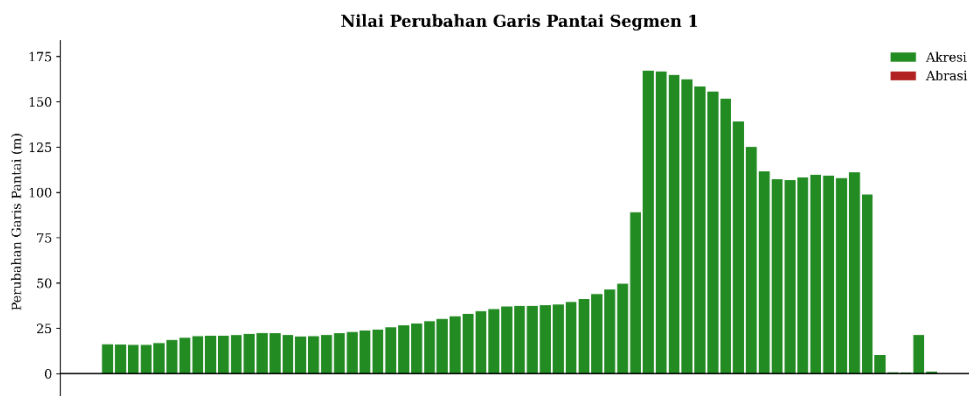
Segmen	Jumlah Transek	NSM Minimum (m)	NSM Maksimum (m)	EPR Minimum (m/tahun)	EPR Maksimum (m/tahun)	Karakter Dominan
Segmen 1	65	0,70	167,06	0,35	33,41	Akresi
Segmen 2	42	-19,93	21,37	-3,99	4,27	Fluktuatif
Segmen 3	127	-79,60	10,90	-15,92	2,18	Abrasi
Segmen 4	42	-10,71	57,55	-2,14	11,51	Akresi

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa dinamika perubahan garis pantai di Estuari Sungai Batakan memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap segmen. Segmen 1 dan Segmen 4 memperlihatkan dominasi akresi dengan seluruh atau sebagian besar transek menunjukkan nilai positif. Sebaliknya, Segmen 3 didominasi oleh abrasi dengan nilai NSM negatif yang jauh lebih besar dibandingkan nilai akresi yang terjadi. Segmen 2 menunjukkan kondisi yang lebih dinamis karena memperlihatkan keberadaan abrasi dan akresi dalam proporsi yang relatif seimbang. Variasi tersebut menunjukkan bahwa perubahan garis pantai pada lingkungan estuari berlangsung secara spasial dan tidak terdistribusi secara seragam. Menurut Davidson-Arnott. (2019), perbedaan karakter perubahan garis pantai antar lokasi merupakan fenomena umum pada sistem pesisir karena setiap bagian pantai menerima pengaruh hidrodinamika dan distribusi sedimen yang berbeda.

4.2.1 Segmen 1 (Utara)

Karakter perubahan garis pantai pada Segmen 1 dianalisis berdasarkan distribusi nilai NSM pada seluruh transek pengamatan. Distribusi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola akresi dan abrasi yang terjadi selama periode 2020–2025.



Gambar 5. Distribusi Nilai NSM Segmen 1 Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025
Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Distribusi nilai NSM pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa seluruh transek di Segmen 1 memiliki nilai positif. Tidak ditemukan satu pun transek yang menunjukkan nilai negatif sehingga seluruh bagian segmen mengalami akresi selama periode pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan daratan merupakan proses dominan yang berlangsung pada bagian utara estuari.

Nilai NSM pada segmen ini berkisar antara 0,70 m hingga 167,06 m. Sebagian besar transek menunjukkan nilai akresi lebih dari 20 m dan cenderung meningkat pada bagian tengah segmen. Pola tersebut menunjukkan bahwa akresi tidak hanya terjadi secara lokal pada beberapa titik tertentu, tetapi berlangsung pada hampir seluruh bagian segmen dengan intensitas yang bervariasi.

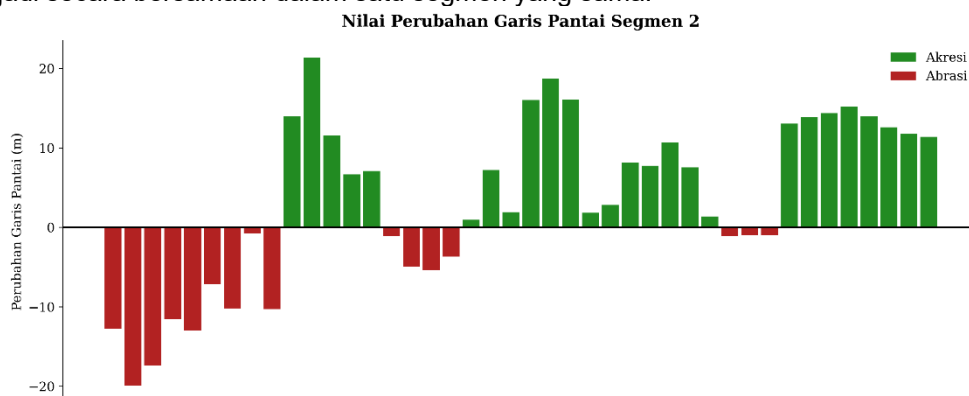
Perubahan yang paling menonjol terlihat pada kelompok transek 42–49 yang menunjukkan lonjakan nilai NSM secara signifikan. Akresi maksimum tercatat sebesar 167,06 m dengan nilai EPR mencapai 33,41 m/tahun. Nilai tersebut merupakan perubahan terbesar yang ditemukan pada seluruh wilayah penelitian. Besarnya nilai NSM dan EPR mengindikasikan bahwa terjadi penambahan daratan yang sangat intensif selama periode pengamatan.

Dominasi nilai positif pada seluruh transek menunjukkan bahwa Segmen 1 memiliki karakter deposisional yang kuat. Menurut Perillo dkk. (2019), lingkungan estuari sering berfungsi sebagai lokasi akumulasi sedimen akibat interaksi antara proses fluvial dan marin yang memungkinkan material terendapkan pada bagian-bagian tertentu estuari. Fenomena tersebut sejalan dengan pola yang terlihat pada Segmen 1, di mana hampir seluruh transek menunjukkan kecenderungan akresi dengan intensitas yang relatif tinggi.

Nilai EPR yang seluruhnya positif dengan rentang 0,35–33,41 m/tahun juga menunjukkan bahwa tren perubahan garis pantai selama lima tahun terakhir cenderung mengarah pada penambahan daratan. Dengan demikian, Segmen 1 dapat dikategorikan sebagai wilayah yang mengalami perkembangan garis pantai ke arah laut secara progresif selama periode penelitian.

4.2.2 Segmen 2 (Utara)

Karakter perubahan garis pantai pada Segmen 2 memperlihatkan kondisi yang berbeda dibandingkan Segmen 1. Variasi nilai NSM menunjukkan bahwa abrasi dan akresi terjadi secara bersamaan dalam satu segmen yang sama.



Gambar 6. Distribusi Nilai NSM Segmen 2 Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025
Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Berdasarkan Gambar 6, nilai NSM berkisar antara -19,93 m hingga 21,37 m. Rentang nilai tersebut menunjukkan bahwa Segmen 2 mengalami perubahan yang relatif fluktuatif dengan keberadaan transek abrasi dan akresi yang saling berdekatan. Pada bagian awal segmen terlihat dominasi nilai negatif yang menunjukkan abrasi, sedangkan bagian tengah hingga akhir segmen lebih banyak memperlihatkan nilai positif yang menunjukkan akresi.

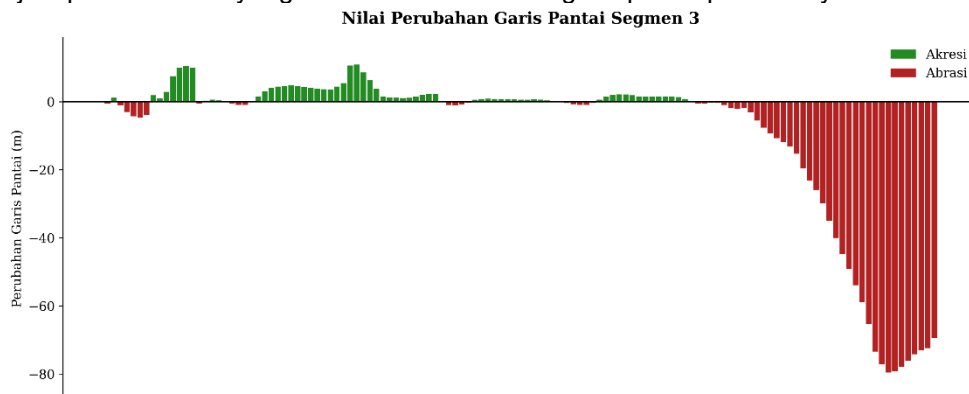
Abrasi terbesar tercatat sebesar -19,93 m dengan EPR -3,99 m/tahun, sedangkan akresi terbesar mencapai 21,37 m dengan EPR 4,27 m/tahun. Perbedaan nilai maksimum abrasi dan akresi yang relatif seimbang menunjukkan bahwa tidak terdapat satu proses yang benar-benar mendominasi seluruh segmen.

Pola distribusi nilai NSM menunjukkan beberapa kali perubahan arah dari negatif ke positif maupun sebaliknya. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa garis pantai pada Segmen 2 berada dalam kondisi yang lebih dinamis dibandingkan Segmen 1. Menurut Komar (1998), perubahan yang bersifat fluktuatif sering menunjukkan adanya redistribusi sedimen secara lokal sehingga sebagian lokasi mengalami kehilangan material sementara lokasi lain mengalami penambahan material dalam periode yang sama.

Nilai EPR pada Segmen 2 berkisar antara -3,99 hingga 4,27 m/tahun. Rentang tersebut menunjukkan bahwa laju abrasi dan akresi relatif moderat dibandingkan segmen lainnya. Oleh karena itu, Segmen 2 dapat dikategorikan sebagai zona transisi yang memperlihatkan keseimbangan relatif antara proses abrasi dan akresi.

4.2.3 Segmen 3 (Selatan)

Segmen 3 merupakan bagian estuari yang menunjukkan karakter perubahan paling berbeda dibandingkan segmen lainnya. Dominasi nilai negatif menunjukkan bahwa abrasi menjadi proses utama yang membentuk dinamika garis pantai pada wilayah ini.



Gambar 7. Distribusi Nilai NSM Segmen 3 Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025
Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Gambar 7 memperlihatkan bahwa sebagian besar transek pada Segmen 3 memiliki nilai NSM negatif. Meskipun terdapat beberapa transek yang mengalami akresi, jumlah dan besaran nilainya jauh lebih kecil dibandingkan abrasi yang terjadi. Nilai NSM berkisar antara -79,60 m hingga 10,90 m.

Pada bagian awal hingga tengah segmen, perubahan garis pantai cenderung relatif kecil dengan nilai yang berfluktuasi di sekitar nol. Namun pada bagian akhir segmen terjadi peningkatan abrasi yang sangat signifikan dan membentuk kelompok transek dengan nilai negatif tinggi secara berurutan. Pola tersebut menunjukkan bahwa kemunduran garis pantai tidak terjadi secara acak, melainkan terkonsentrasi pada satu bagian wilayah tertentu.

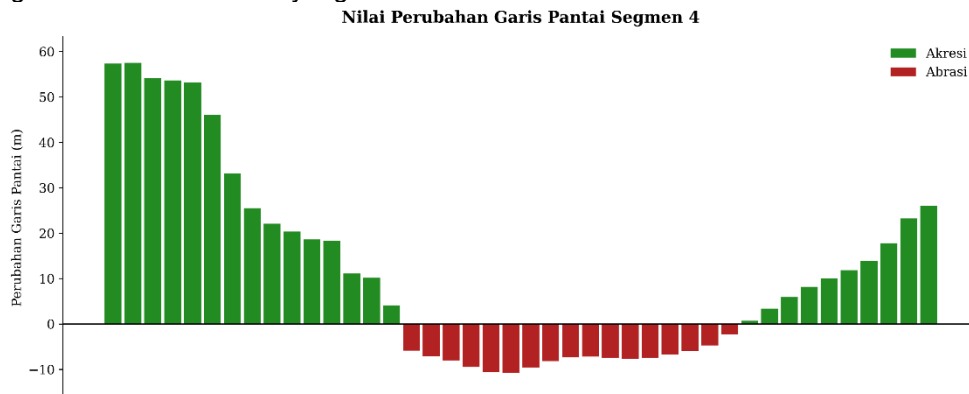
Nilai abrasi maksimum mencapai -79,60 m dengan EPR sebesar -15,92 m/tahun. Besarnya nilai tersebut menjadikan Segmen 3 sebagai lokasi dengan tingkat abrasi tertinggi di seluruh wilayah penelitian. Sementara itu, nilai akresi maksimum hanya mencapai 10,90 m dengan EPR 2,18 m/tahun. Perbedaan yang sangat besar antara nilai abrasi dan akresi menunjukkan dominasi kuat proses kemunduran garis pantai.

Menurut Anthony (2015), abrasi yang terkonsentrasi pada suatu bagian pantai sering menghasilkan pola kemunduran garis pantai yang bersifat progresif sehingga membentuk zona erosi yang lebih dominan dibandingkan wilayah sekitarnya. Pola tersebut terlihat jelas pada Segmen 3 yang memperlihatkan akumulasi transek abrasi dengan nilai negatif tinggi pada bagian akhir segmen.

Nilai EPR yang didominasi angka negatif menunjukkan bahwa tren perubahan garis pantai selama periode pengamatan mengarah pada kehilangan daratan. Dengan demikian, Segmen 3 dapat diidentifikasi sebagai wilayah dengan tingkat kerentanan abrasi tertinggi di Estuari Sungai Batakan.

4.2.4 Segmen 4 (Selatan)

Meskipun berada pada bagian selatan estuari, karakter perubahan garis pantai pada Segmen 4 berbeda dengan Segmen 3. Segmen ini memperlihatkan dominasi akresi dengan keberadaan abrasi yang relatif terbatas.



Gambar 8. Distribusi Nilai NSM Segmen 4 Estuari Sungai Batakan Tahun 2020–2025
Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Nilai NSM pada Segmen 4 berkisar antara -10,71 m hingga 57,55 m dengan rentang perubahan yang didominasi oleh nilai positif. Transek awal memperlihatkan akresi relatif tinggi yang berada pada kisaran 53,26–57,55 m, kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai 4,11 m pada transek ke-15. Setelah itu terjadi perubahan arah pergerakan garis pantai yang ditunjukkan oleh munculnya nilai negatif pada transek ke-16 hingga transek ke-32. Besaran abrasi pada kelompok transek tersebut relatif rendah hingga sedang dengan nilai maksimum mencapai -10,71 m.

Perubahan kembali mengarah pada akresi mulai transek ke-33 yang ditandai oleh nilai NSM positif sebesar 0,70 m dan terus meningkat hingga mencapai 26,03 m pada transek terakhir. Pola tersebut membentuk tiga kelompok perubahan yang berbeda, yaitu zona akresi pada bagian awal segmen, zona abrasi pada bagian tengah, dan zona akresi kembali pada bagian akhir segmen. Karakter seperti ini menunjukkan bahwa perubahan garis pantai tidak berlangsung secara seragam sepanjang segmen pengamatan.

Perbedaan arah perubahan antar kelompok transek tercermin pula pada nilai EPR yang berkisar antara -2,14 m/tahun hingga 11,51 m/tahun. Nilai EPR tertinggi ditemukan pada transek yang mengalami akresi kuat di bagian awal segmen, sedangkan nilai EPR negatif terkonsentrasi pada kelompok transek abrasi di bagian tengah. Sebaran nilai tersebut menunjukkan bahwa laju perubahan garis pantai pada Segmen 4 relatif bervariasi meskipun secara umum masih didominasi oleh proses penambahan daratan.

Keberadaan zona abrasi dan akresi yang saling berdekatan merupakan karakter yang umum dijumpai pada lingkungan pesisir dan estuari. Menurut Masselink dan Hughes (2003), redistribusi sedimen dapat menyebabkan sebagian lokasi mengalami kehilangan material sementara lokasi lain menerima akumulasi sedimen pada periode yang sama. Fenomena tersebut tercermin pada Segmen 4 melalui kemunculan kelompok transek abrasi yang diapit oleh dua kelompok transek akresi.

Besarnya nilai akresi maksimum yang mencapai 57,55 m jauh melampaui nilai abrasi maksimum sebesar -10,71 m. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan garis pantai pada Segmen 4 lebih banyak dicirikan oleh penambahan daratan dibandingkan kehilangan daratan selama periode pengamatan 2020–2025.

4.3 Status Perubahan dan Implikasinya terhadap Pengelolaan Wilayah

Perubahan garis pantai merupakan salah satu indikator penting dalam pengelolaan wilayah pesisir karena mencerminkan respons lingkungan terhadap interaksi berbagai proses oseanografi, geomorfologi, hidrologi, dan aktivitas manusia yang berlangsung secara terus-menerus. Informasi mengenai lokasi, arah, serta besaran perubahan garis pantai menjadi dasar dalam mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap abrasi maupun sedimentasi sehingga dapat digunakan sebagai landasan pengambilan keputusan dalam pengelolaan pesisir. Menurut Kay dan Alder (2017), pengelolaan wilayah pesisir yang efektif memerlukan informasi spasial yang mampu menggambarkan kondisi aktual dan kecenderungan perubahan lingkungan secara akurat. Dalam konteks tersebut, hasil analisis perubahan garis pantai Estuari Sungai Batakan periode 2020–2025 memberikan informasi penting mengenai wilayah yang mengalami penambahan daratan maupun kehilangan daratan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan strategi pengelolaan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Karakteristik perubahan garis pantai yang berbeda pada setiap segmen menunjukkan bahwa kebutuhan pengelolaan wilayah pesisir tidak dapat dilakukan dengan pendekatan yang seragam. Variasi nilai NSM dan EPR yang ditemukan mengindikasikan adanya perbedaan intensitas proses geomorfologi pesisir pada masing-masing segmen. Oleh karena itu, strategi pengelolaan perlu disesuaikan dengan karakter dominan perubahan yang terjadi agar upaya mitigasi maupun pemanfaatan wilayah dapat berjalan secara lebih efektif. Ringkasan implikasi pengelolaan berdasarkan karakter perubahan garis pantai disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Implikasi Pengelolaan Wilayah Pesisir Berdasarkan Karakter Perubahan Garis Pantai Estuari Sungai Batakan

Segmen	Karakter Perubahan	Temuan Utama	Implikasi Pengelolaan
Segmen 1	Akresi sangat dominan	NSM maksimum 167,06 m dan seluruh transek menunjukkan akresi	Monitoring sedimentasi estuari, evaluasi perkembangan daratan baru, pengendalian pemanfaatan ruang pada lahan hasil sedimentasi, serta pemantauan perubahan morfologi muara
Segmen 2	Fluktuatif	Abrasi dan akresi terjadi secara bersamaan dengan intensitas relatif seimbang	Pemantauan garis pantai secara berkala, pembaruan data spasial pesisir, serta identifikasi area transisi yang berpotensi berubah menjadi zona abrasi atau akresi dominan
Segmen 3	Abrasi dominan	NSM minimum -79,60 m dan abrasi mendominasi sebagian besar transek	Prioritas mitigasi abrasi, rehabilitasi vegetasi pantai, perlindungan kawasan rentan, serta penguatan sistem monitoring perubahan garis pantai
Segmen 4	Akresi–abrasi campuran	Akresi dominan dengan abrasi lokal pada bagian tengah segmen	Pengelolaan adaptif berbasis kondisi lokal, pengawasan redistribusi sedimen, dan evaluasi perubahan garis pantai secara berkelanjutan

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Karakter perubahan pada Segmen 1 menunjukkan dominasi akresi yang sangat kuat dengan seluruh transek mengalami penambahan daratan selama periode pengamatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses deposisi sedimen masih menjadi mekanisme geomorfologi utama yang mengontrol perkembangan garis pantai pada bagian estuari ini. Pertambahan daratan yang mencapai lebih dari 160 meter pada beberapa transek menunjukkan bahwa akumulasi sedimen berlangsung secara intensif dan berkelanjutan. Menurut Perillo (1995), lingkungan estuari merupakan sistem yang sangat dinamis karena berfungsi sebagai lokasi pertemuan proses fluvial dan marin yang berperan dalam transportasi serta pengendapan sedimen. Oleh karena itu, implikasi utama pada Segmen 1 bukanlah mitigasi abrasi, melainkan pengawasan perkembangan daratan baru yang berpotensi mengubah konfigurasi muara, pola aliran air, dan fungsi ekologis estuari. Pemantauan sedimentasi secara berkala juga diperlukan untuk mendukung pengelolaan ruang pesisir yang lebih terarah.

Segmen 2 memperlihatkan karakter perubahan yang lebih kompleks dibandingkan segmen lainnya karena menunjukkan keberadaan abrasi dan akresi dalam proporsi yang relatif berimbang. Variasi nilai NSM dan EPR yang terjadi antartransek menunjukkan bahwa perubahan garis pantai berlangsung secara fluktuatif dan tidak membentuk pola yang seragam. Kondisi seperti ini umumnya menunjukkan adanya redistribusi sedimen yang aktif sehingga lokasi deposisi dan erosi dapat berubah dalam waktu tertentu. Masselink dan Hughes (2003) menjelaskan bahwa keberadaan abrasi dan akresi yang terjadi secara bersamaan dalam satu sistem pesisir merupakan indikasi adanya pergerakan sedimen antarlokasi yang berlangsung secara dinamis. Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang paling relevan pada segmen ini adalah pemantauan periodik melalui survei garis pantai dan pembaruan basis data spasial secara berkala sehingga perubahan kecenderungan proses geomorfologi dapat dideteksi lebih awal.

Berbeda dengan dua segmen sebelumnya, Segmen 3 menunjukkan tingkat kerentanan tertinggi terhadap abrasi. Dominasi nilai NSM negatif hingga mencapai -79,60 m menunjukkan terjadinya kemunduran garis pantai yang relatif besar selama periode pengamatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kehilangan daratan masih menjadi proses utama yang berlangsung pada bagian ini. Menurut Nicholls dan Cazenave (2010), abrasi yang terjadi secara terus-menerus dapat mengakibatkan berkurangnya luas daratan pesisir, kerusakan habitat alami, serta meningkatnya kerentanan wilayah terhadap berbagai ancaman lingkungan di masa mendatang. Oleh karena itu, Segmen 3 perlu ditempatkan sebagai kawasan prioritas dalam program mitigasi abrasi. Upaya yang dapat dilakukan meliputi rehabilitasi vegetasi pesisir, perlindungan kawasan rentan, pengawasan aktivitas pemanfaatan ruang, serta peningkatan frekuensi monitoring perubahan garis pantai. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ayuningtyas dan Bisa (2025) yang menunjukkan bahwa wilayah pesisir yang mengalami tekanan abrasi memerlukan strategi pengelolaan yang disesuaikan dengan karakteristik fisik wilayah, termasuk perlindungan pantai, rehabilitasi vegetasi pesisir, dan penguatan sistem pemantauan lingkungan pesisir.

Segmen 4 menunjukkan karakter perubahan yang lebih beragam karena memperlihatkan keberadaan akresi dan abrasi dalam satu sistem pesisir yang sama. Akresi mendominasi bagian awal dan akhir segmen, sedangkan abrasi terkonsentrasi pada bagian tengah. Pola tersebut menunjukkan bahwa distribusi sedimen tidak berlangsung secara merata sehingga menghasilkan respons geomorfologi yang berbeda antartransek. Menurut Davidson-Arnott (2019), variasi spasial perubahan garis pantai merupakan fenomena umum pada lingkungan pesisir yang dipengaruhi oleh perbedaan suplai sedimen, energi gelombang, dan karakteristik morfologi lokal. Kondisi tersebut mengharuskan penerapan pendekatan pengelolaan yang lebih adaptif karena strategi yang efektif pada satu lokasi belum tentu sesuai untuk lokasi lainnya dalam segmen yang sama.

Selain memberikan informasi mengenai tingkat kerentanan wilayah, hasil penelitian ini juga memiliki nilai strategis bagi pemerintah daerah dalam mendukung perencanaan pembangunan pesisir berbasis bukti (*evidence-based coastal management*). Data perubahan garis pantai dapat digunakan untuk menentukan prioritas lokasi pengelolaan, mengidentifikasi kawasan yang memerlukan tindakan mitigasi, serta mengevaluasi efektivitas program perlindungan pesisir yang telah dilakukan. Ayuningtyas dan Bisa (2025) menegaskan bahwa pengelolaan wilayah pesisir yang efektif perlu mempertimbangkan karakteristik fisik dan tipologi pesisir karena setiap tipologi memiliki potensi sumber daya, tingkat kerentanan, dan kebutuhan pengelolaan yang berbeda. Pendekatan tersebut memungkinkan penyusunan kebijakan yang lebih sesuai dengan kondisi lingkungan setempat serta mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan wilayah pesisir.

Informasi perubahan garis pantai juga memiliki manfaat langsung bagi masyarakat pesisir. Identifikasi wilayah yang mengalami abrasi maupun akresi dapat membantu masyarakat memahami dinamika lingkungan yang terjadi di sekitar kawasan aktivitas mereka. Ketersediaan informasi tersebut memungkinkan masyarakat untuk melakukan penyesuaian terhadap pola pemanfaatan ruang, kegiatan ekonomi, maupun strategi

adaptasi terhadap perubahan lingkungan pesisir. Keterlibatan masyarakat dalam proses pemantauan dan pengelolaan wilayah pesisir juga menjadi faktor penting dalam mewujudkan pengelolaan yang berkelanjutan karena masyarakat merupakan pihak yang berinteraksi langsung dengan lingkungan pesisir setiap hari (Beatley dkk., 1994).

Dalam perspektif jangka panjang, hasil penelitian ini dapat berfungsi sebagai data dasar (*baseline data*) untuk kegiatan monitoring perubahan garis pantai pada periode berikutnya. Data historis perubahan garis pantai memungkinkan evaluasi tren perkembangan wilayah pesisir secara berkelanjutan serta mendukung identifikasi perubahan yang bersifat progresif maupun fluktuatif. Sebagaimana dikemukakan oleh Boak dan Turner (2005), data perubahan garis pantai yang diperoleh secara berkelanjutan memiliki peran penting dalam mendukung pengelolaan wilayah pesisir karena mampu memberikan informasi mengenai arah perkembangan pesisir dan efektivitas tindakan pengelolaan yang telah diterapkan. Dengan demikian, informasi spasial yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai dokumentasi dinamika garis pantai Estuari Sungai Batakan, tetapi juga sebagai dasar ilmiah dalam perencanaan, mitigasi, pemantauan, dan pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini menunjukkan bahwa analisis perubahan garis pantai menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) berbasis citra Sentinel-2 mampu mengidentifikasi dinamika spasial abrasi dan akresi di Estuari Sungai Batakan selama periode 2020–2025. Hasil analisis memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai tidak terjadi secara homogen, tetapi bervariasi pada setiap segmen. Segmen 1 dan Segmen 4 didominasi oleh proses akresi yang ditunjukkan oleh dominasi nilai Net Shoreline Movement (NSM) dan End Point Rate (EPR) positif, sedangkan Segmen 3 mengalami abrasi paling intensif dengan nilai NSM minimum sebesar $-79,60$ m dan EPR minimum sebesar $-15,92$ m/tahun. Sementara itu, Segmen 2 menunjukkan dinamika yang fluktuatif akibat berlangsungnya abrasi dan akresi secara bersamaan pada berbagai transek.

Temuan tersebut menjawab tujuan penelitian bahwa pemetaan dinamika spasial abrasi dan akresi mampu memberikan informasi mengenai tingkat kerentanan perubahan garis pantai pada setiap segmen estuari. Berdasarkan hasil analisis, Segmen 3 direkomendasikan sebagai prioritas pengelolaan melalui upaya mitigasi abrasi karena memiliki laju kemunduran garis pantai tertinggi, sedangkan Segmen 1 dan Segmen 4 memerlukan pengelolaan terhadap perkembangan daratan akibat proses akresi yang berpotensi memengaruhi morfologi muara dan alur pelayaran. Adapun Segmen 2 memerlukan pemantauan berkala karena perubahan garis pantainya bersifat fluktuatif.

Dengan demikian, informasi spasial yang dihasilkan dari analisis DSAS berbasis citra Sentinel-2 dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan strategi pengelolaan wilayah pesisir yang adaptif, penentuan prioritas mitigasi abrasi, pemantauan perubahan lingkungan estuari secara berkala, serta sebagai data pendukung dalam perencanaan pembangunan dan pengelolaan kawasan pesisir yang berkelanjutan di Estuari Sungai Batakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcaras, E., Amoroso, P. P., Figliomeni, F. G., Parente, C., & Prezioso, G. (2025). Implementasi Machine Learning dalam Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Google Earth Engine (GEE): Studi Kasus di Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Penelitian Ilmiah Multidisipliner*.
- Aldiansyah, S., & Saputra, R. A. (2023). Monitoring Shoreline Changes for Evaluation of Regional Spatial Plans Using Google Earth Engine in West Wawonii District. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 20(1). <https://doi.org/10.15294/jg.v20i1.36768>
- Astuti, W. R., & Arrofiqoh, E. N. (2024). Mapping Shoreline Changes Using Digital Shoreline Analysis System in Coastal Areas of Bantul and Kulon Progo Regencies.

- Journal of Geospatial Science and Technology, 2(2).
<https://doi.org/10.22146/jgst.v2i2.16172>
- Ayuningtyas, E. A., & Bisa, G. A. (2025). Physical Typology of Tanjung Dewa Coastal Village for Regional Management: A Qualitative Geomorphological Review. *Media Komunikasi Geografi*, 26(2), 292–309.
- Bishop-Taylor, R., et al. (2021). Efficient measurement of large-scale decadal shoreline change with increased accuracy in tide-dominated coastal environments with Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 181, 385–399. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.09.021>
- Damayanthi, I. D. A. M., Pujianiki, N. N., & Tonyes, S. G. (2025). Cloud-based multitemporal shoreline change analysis using Google Earth Engine and DSAS: A case study of Canggu Beach, Bali, Indonesia. *Journal of Infrastructure Planning and Engineering*, 4(2), 83–91. <https://doi.org/10.22225/jipe.4.2.2025.83-91>
- Fitton, J. M., Rennie, A. F., Hansom, J., & Muir, F. M. E. (2021). Remotely Sensed Mapping of the Intertidal Zone: A Sentinel-2 and Google Earth Engine Methodology. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100499>
- Himmelstoss, E. A., & Henderson, R. E. (2021). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 User Guide*. <https://doi.org/10.5066/P9H1S1PV>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Farris, A. S., Kratzmann, M. G., Bartlett, M. K., Ergul, A., McAndrews, J., Cibaj, R., Zichichi, J. L., & Thielier, E. R. (2024). *Digital Shoreline Analysis System version 6.0*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P13WIZ8M>
- Islam, M. R., et al. (2022). Performance Study of Imageries from MODIS, Landsat 8 and Sentinel-2 on Measuring Shoreline Change at a Regional Scale. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100816. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100816>
- Rostami, E., Sharifi, M. A., & Hasanlou, M. (2023). Shoreline Extraction Using Time Series of Sentinel-2 Satellite Images by Google Earth Engine Platform. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4/W1-2022, 653–659. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-653-2023>
- Sharifi, M. A., Rostami, E., & Hasanlou, M. (2022). Monitoring of Shoreline Changes Using Sentinel-2 Satellite Imagery in the Google Earth Engine Platform: A Case Study of Broome, Australia. *Proceedings of the 4th International Electronic Conference on Remote Sensing*.
- Setiawan, K. P. (2023). Kajian Pengelolaan Pesisir berbasis Tipologi di Kabupaten Tanah Laut. *Spatial: Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi*.
- Wartabancar.com. (2026). Banjir Rob 3 Meter Berpotensi Rendam Kawasan Pesisir Tanah Laut, Tanah Bumbu dan Kotabaru Pagi Ini. *Wartabancar*. <https://wartabancar.com/2026/04/19/banjir-rob-3-meter-berpotensi-rendam-kawasan-pesisir-tanah-laut-tanah-bumbu-dan-kotabaru-pagi-ini/2/?pgrelated=7586>