

ANALISIS SPASIO-TEMPORAL DINAMIKA PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PESISIR DESA BURUK BAKUL, BENGKALIS BERBASIS *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)* TAHUN 2005-2025

Spatio-Temporal Analysis of The Shoreline Changes Dynamics in The Coast of Buruk Bakul Village, Bengkalis Based on The Digital Shoreline Analysis System 2005-2025

**Nabila Afifah Azuga^{1,2*}, Alifma Syarani¹, M. Adam Bahtiar¹, Athiyyah Salwaa Andini¹, Annisa Ulfa
Khaira¹, Sefni Hendris¹, Ilham Ilahi¹**

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau Kampus Bina Widya, Jalan HR.
Soebrantas Km. 12.5, Simpang Baru, Kecamatan Binawidya, Kota Pekanbaru, Riau, Kode Pos 28293

²Pusat Unggulan Iptek (PUI) Gambut dan Kebencanaan LPPM Universitas Riau Kampus Bina Widya, Jalan HR.
Soebrantas Km. 12.5, Simpang Baru, Kecamatan Binawidya, Kota Pekanbaru, Riau, Kode Pos 28293

Email: nabila.afifahazuga@lecturer.unri.ac.id

Diserahkan tanggal: 6 Juli 2026, Revisi diterima tanggal: 15 September 2026

ABSTRAK

Perubahan garis pantai merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh interaksi faktor oseanografi dan aktivitas antropogenik di wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika spasio-temporal perubahan garis pantai di pesisir Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis, selama periode 2005-2025 menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Analisis dilakukan berdasarkan citra satelit multi-temporal Landsat tahun 2005, 2010, 2015, 2020, dan 2025 dengan pendekatan *End Point Rate (EPR)*. Penelitian ini juga mengintegrasikan analisis pasang surut dan pola arus melalui pemodelan hidrodinamika dua dimensi, serta analisis fraksi sedimen untuk mengidentifikasi jenis sedimen sebagai faktor yang memengaruhi perubahan garis pantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pesisir Desa Buruk Bakul didominasi oleh proses abrasi yang berlangsung secara konsisten selama periode pengamatan. Kecepatan arus tertinggi terjadi pada fase transisi pasang menuju surut dengan kisaran 0,9-1,35 m/s yang berperan dalam meningkatkan proses transportasi dan penggerusan sedimen. Analisis sedimen menunjukkan dominasi fraksi lumpur dengan persentase 72,25-81,51% yang menyebabkan kawasan pesisir lebih rentan mengalami erosi. Interaksi antara dinamika arus, karakteristik sedimen, dan pasang surut menjadi faktor utama yang mengontrol perubahan garis pantai di wilayah penelitian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam mendukung upaya pengelolaan dan mitigasi abrasi pesisir secara berkelanjutan di kawasan Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis.

Kata Kunci: Abrasi, Akresi, Bengkalis, Pemodelan Hidrodinamika, Perubahan Garis Pantai

ABSTRACT

Shoreline change is a dynamic phenomenon influenced by the interaction between oceanographic factors and anthropogenic activities in coastal areas. This study aimed to analyze the spatio-temporal dynamics of shoreline changes along the coast of Buruk Bakul Village, Bengkalis Regency, during 2005-2025 using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The analysis was conducted using multi-temporal Landsat imagery from 2005, 2010, 2015, 2020, and 2025 with the End Point Rate (EPR) approach. This study also integrated tidal analysis, two-dimensional hydrodynamic modeling, and sediment fraction analysis to identify factors influencing shoreline changes. The results showed that the coast of Buruk Bakul Village was predominantly affected by abrasion throughout the observation period. The highest current velocity occurred during the transition from high tide to low tide, ranging from 0.9-1.35 m/s, which enhanced sediment transport and erosion processes. Sediment analysis indicated a dominance of mud fractions (72.25-81.51%), making the coastal area more vulnerable to erosion. The interaction between current dynamics, sediment characteristics, and tidal conditions was identified as the primary factor controlling shoreline changes in the study area. This study is expected to provide a scientific basis for sustainable management and mitigation of coastal abrasion in Buruk Bakul Village, Bengkalis Regency.

Keywords: Abrasion, Accretion, Bengkalis, Hydrodynamic Modeling, Shoreline Change

PENDAHULUAN

Garis pantai merupakan zona transisi antara wilayah daratan dan lautan (Mujabar dan Chandrasekar, 2011), sekaligus berfungsi sebagai fondasi fundamental yang menopang sumber daya alam strategis bagi keberlanjutan kehidupan manusia, terutama masyarakat yang bergantung langsung pada wilayah pesisir (Azuga *et al.*, 2025). Kawasan ini dicirikan oleh sifatnya yang dinamis dan cenderung tidak stabil, memiliki fungsi yang beragam, menunjukkan variasi antarwilayah, serta memuat karakteristik fisik-ekologis penting lainnya (Woodroffe *et al.*, 2025; Hastuti *et al.*, 2024). Ketidakstabilan dan perbedaan regional tersebut mendorong terbentuknya dinamika perubahan garis pantai pada berbagai skala ruang dan waktu. Fenomena perubahan garis pantai menjadi salah satu indikator yang paling nyata dalam menggambarkan respons lingkungan pesisir terhadap tekanan alami maupun gangguan eksternal pada era perubahan iklim global. Proses abrasi dan akresi di kawasan pantai semakin intensif, didorong oleh kenaikan muka laut, peningkatan kejadian gelombang ekstrem, dan aktivitas antropogenik, yang secara kolektif mempercepat perubahan garis pantai di berbagai wilayah, sekaligus mengancam keberlanjutan ekosistem pesisir serta mata pencaharian masyarakat (Muskananfolo *et al.*, 2020; Gopinath *et al.*, 2023).

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki garis pantai lebih dari 99.000 km, yang sangat rentan terhadap degradasi habitat pesisir. Berbagai studi menunjukkan bahwa lebih dari 70% wilayah pesisir Indonesia mengalami laju abrasi rata-rata 1-5 m/tahun, terutama di pesisir utara Pulau Jawa dan timur Sumatera (Mutaqin, 2017; Azuga *et al.*, 2025). Kondisi ini tidak hanya mengancam ekosistem mangrove dan habitat biota laut, tetapi juga berdampak pada kehidupan sosial-ekonomi masyarakat pesisir, termasuk hilangnya lahan pemukiman dan pertanian. Dengan demikian, perubahan garis pantai bukan hanya ancaman terhadap ekosistem, tetapi juga berpotensi mengguncang stabilitas sosial-ekonomi masyarakat yang tinggal di sepanjang pesisir Indonesia.

Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, merupakan salah satu hotspot perubahan garis pantai di pesisir timur Sumatera yang menghadap Selat Malaka. Letak geografis ini menjadikan Pulau Bengkalis mendapatkan paparan energi gelombang yang cukup tinggi (Tampubolon, 2022). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sutikno *et al.* menemukan bahwa selama 26 tahun terakhir, laju abrasi rata-rata di Pulau Bengkalis mencapai 59 ha/tahun, jauh melebihi laju sedimentasi yang hanya 16,5 ha/tahun. Lebih lanjut, penelitian oleh Sutikno *et al.* (2024) juga mengonfirmasi bahwa pantai utara Bengkalis yang memiliki tipe jenis tanah gambut sangat rentan terhadap kemunduran garis pantai,

terutama akibat aliran arus sepanjang pantai yang aktif. Kondisi ini diperburuk oleh degradasi mangrove akibat konversi lahan dan aktivitas masyarakat pesisir (Sarah *et al.*, 2022), serta lemahnya perlindungan alami terhadap energi hidrodinamika Selat Bengkalis (Hidayatun Nisa *et al.*, 2022).

Desa Buruk Bakul khususnya, yang terletak di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, merupakan salah satu kawasan pesisir yang mengalami kompleksitas dinamika perubahan garis pantai di pesisir timur Sumatera. Meskipun desa ini tidak terletak langsung di jalur pelayaran internasional dan berada di wilayah tertutup yang tidak mengarah ke Selat Malaka, daerah ini tetap dipengaruhi oleh berbagai faktor alam dan antropogenik yang berkontribusi pada perubahan garis pantai. Di antaranya adalah arus pasang surut, gelombang laut lepas, serta aktivitas manusia seperti reklamasi dan pengambilan material yang mempengaruhi kestabilan garis pantai. Pasang surut, sebagai salah satu faktor oseanografi utama di wilayah ini, memainkan peran penting dalam proses transportasi sedimen dan turut memengaruhi perubahan morfologi garis pantai (Pratama *et al.*, 2023).

Penelitian sebelumnya telah menganalisis perubahan garis pantai berbasis DSAS di berbagai wilayah pesisir (Driptufany, 2020; Khaira *et al.*, 2025). Namun, sebagian besar studi tersebut masih terbatas pada analisis perubahan garis pantai berbasis spasio-temporal tanpa mengaitkannya secara mendalam terhadap proses fisik yang menyebabkannya. Oleh karena itu, *state of the art* pada penelitian ini adalah perubahan garis pantai diintegrasikan dengan karakteristik hidrodinamika pasang surut dan fraksi sedimen untuk menjelaskan mekanisme fisik yang mengontrol dinamika garis pantai pada pesisir gambut semi-tertutup di Selat Bengkalis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika spasio-temporal perubahan garis pantai di pesisir Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis, selama periode 2005-2025 dengan menggunakan pendekatan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) yang diintegrasikan dengan karakteristik hidrodinamika pasang surut dan fraksi sedimen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merencanakan strategi adaptasi yang lebih efektif untuk menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir di Kabupaten Bengkalis.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dinamika spasio-temporal perubahan garis pantai di pesisir Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis, selama periode 2005-2025 melalui pendekatan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan metode *End Point Rate* (EPR) pada citra Landsat tahun 2005, 2010, 2015, 2020, dan 2025. Namun, perubahan garis pantai tidak cukup dipahami hanya dari seberapa jauh garis pantai bergeser. Karena itu, analisis ini dipadukan

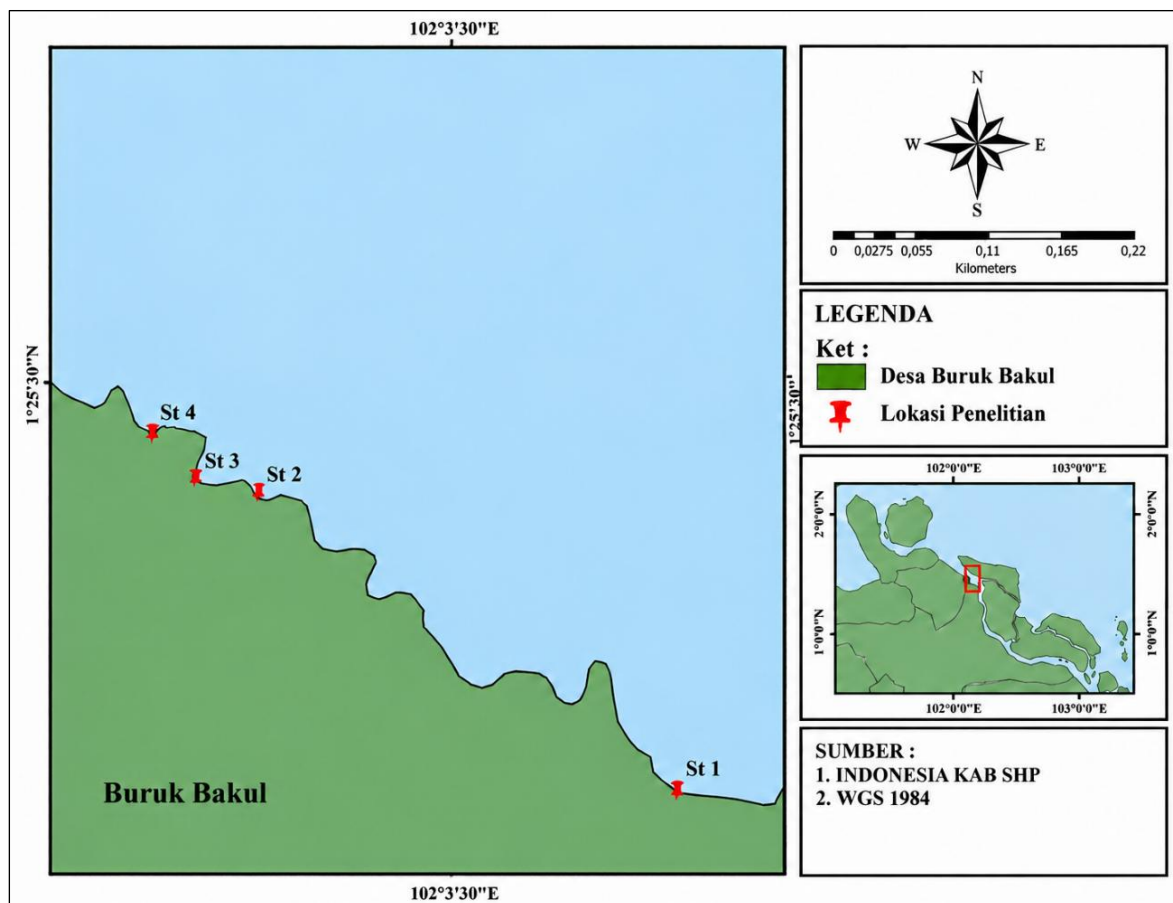
dengan pemodelan hidrodinamika dua dimensi untuk melihat pola pasang surut dan arus, serta dengan analisis fraksi sedimen untuk mengetahui jenis sedimen penyusun pesisir. Dengan begitu, penelitian ini berupaya menjelaskan mekanisme fisik di balik abrasi dan akresi yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Wilayah kajian dalam penelitian ini adalah Desa Buruk Bakul, yang secara administratif termasuk dalam Kecamatan Bengkalis, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Desa ini terletak di pesisir timur Pulau Bengkalis, dengan posisi geografis antara $1^{\circ}25' - 1^{\circ}30'$ LU dan $102^{\circ}20' - 102^{\circ}25'$ BT, serta berbatasan langsung dengan Selat Bengkalis di bagian barat dan utara. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025, yang mewakili musim timur (Juli-September) dengan karakteristik angin kering dengan kecepatan berkisar antara 2-3,5 m/s (Napitulu *et al.*, 2022) dan

tinggi gelombang laut hingga 2,2 m (Kuntoro *et al.*, 2020). Pengambilan sampel sedimen permukaan dilakukan secara *purposive* di empat stasiun berbeda yang tersebar di sepanjang pesisir Desa Buruk Bakul, dengan mempertimbangkan keterwakilan kondisi morfologi pantai, tutupan lahan, serta tingkat paparan terhadap aktivitas hidrodinamika. Keempat stasiun penelitian memiliki karakteristik lingkungan pesisir yang berbeda. Stasiun 1 didominasi oleh substrat berlumpur dengan kondisi relatif kering, sedangkan Stasiun 2 merupakan kawasan berlumpur yang tergenang air dengan vegetasi mangrove di sepanjang kawasannya. Stasiun 3 dicirikan oleh substrat lumpur dengan kawasan intertidal terbuka, sementara Stasiun 4 memiliki beberapa pohon mangrove yang tumbuh di sekitar perairan serta berada dekat dengan struktur pemecah ombak berupa pancang kayu. Perbedaan karakteristik tersebut berpotensi memengaruhi dinamika sedimen dan kondisi habitat mangrove. Lokasi keempat stasiun tersebut disajikan secara spasial pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode analisis spasio-temporal berbasis Sistem Informasi

Geografis (SIG). Analisis perubahan garis pantai dilakukan secara statistik deskriptif menggunakan metode DSAS, kemudian dilakukan analisis pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D) menggunakan MIKE

21 untuk mengetahui karakteristik arus, serta analisis fraksi sedimen untuk menentukan jenis sedimen di wilayah penelitian.

Analisis Pasang Surut

Dalam proses analisis pasang surut, data bersumber dari model BIG pada bulan Agustus 2025 dan dapat diunduh melalui (<http://srgi.big.go.id/>) yang telah digunakan secara luas sebagai referensi tipe pasut di perairan Indonesia (Sutikno *et al.*, 2024; Aristi *et al.*, 2020; Oktavia, 2011).

Pasang surut mempunyai sifat periodik terhadap waktu (Poerbandono & Dinarsyah, 2005). Analisis tipe pasang surut dilakukan menggunakan Metode Admiralty. Tipe pasang surut ditentukan berdasarkan bilangan Formzahl (F) yang merupakan perbandingan amplitudo komponen diurnal (K1 dan O1) dengan komponen semidiurnal (M2 dan S2) (Oktavia, 2011 dalam Ahmad *et al.*, 2017):

$$F = \frac{(K1 + O1)}{(M2 + S2)}$$

Dengan K1 = Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari; O1 = Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan; M2 = Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh bulan; S2 = Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh matahari.

Klasifikasi nilai (F) Menurut Oktavia, 2011:

$F < 0,25$: Semidiurnal
 $0,25 \leq F \leq 1,50$: Campuran condong semidiurnal
 $1,50 < F \leq 3,00$: Campuran condong diurnal
 $F > 3,00$: Diurnal

Pemodelan Hidrodinamika

Pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk mensimulasikan pola arus dan elevasi muka air di Selat Bengkalis pada empat skenario: (1) pasang tertinggi, (2) transisi dari pasang menuju surut, (3) surut terendah, dan (4) transisi dari surut menuju pasang. Model tersebut dijalankan menggunakan modul *Hydrodynamic Module* (MD) pada MIKE 21. Model ini didasarkan pada konsep rata-rata kedalaman (*depth-averaging*), yaitu penyederhanaan persamaan Navier-Stokes tiga dimensi dengan mengintegrasikan variabel aliran sepanjang kolom air, sehingga diperoleh sistem Persamaan Air Dangkal dua dimensi (2D Shallow Water Equations). Sistem ini terdiri atas satu persamaan kontinuitas yang menyatakan kekekalan massa dan dua persamaan momentum (konservasi momentum dalam arah x dan y) (Kasim, 2020).

a. Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

Keterangan: h = tinggi muka air atau kedalaman air (m); u = kecepatan aliran dalam arah x (m/s); v = kecepatan aliran dalam arah y (m/s); t = waktu (s); x, y = koordinat horizontal (m)

b. Persamaan momentum dalam arah x

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \nabla^2 u - \tau_b^x$$

c. Persamaan momentum dalam arah y

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + u \nabla^2 v - \tau_b^y$$

Keterangan: g = percepatan gravitasi (m/s^2); η = elevasi permukaan air (m); τ_b^x, τ_b^y = tegangan geser dasar dalam arah x dan y (m/s^2); ν = viskositas turbulen air (m^2/s)

Data input yang digunakan dalam pemodelan ini meliputi data tinggi muka air (*sea level*) dan data pasang surut yang diperoleh dari BIG untuk periode bulan Agustus 2025, garis pantai yang diperoleh dari citra satelit atau peta dasar, serta data batimetri yang bersumber dari BATNAS. Data garis pantai digunakan sebagai batas domain dalam pembuatan *grid* model, sedangkan data lainnya digunakan sebagai *input* untuk penyusunan dan simulasi model hidrodinamika.

Pendekatan pemodelan seperti ini telah terbukti efektif diterapkan di berbagai wilayah selat di Indonesia, antara lain Selat Sunda (Pratama *et al.*, 2020), Selat Lepar (Ajiwibowo & Pratama, 2022), serta Selat Baru Bengkalis (Aristi *et al.*, 2020). *Output* dari pemodelan ini berupa simulasi arah dan kecepatan arus di perairan Desa Buruk Bakul.

Analisis Perubahan Garis Pantai

Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan perangkat *Digital Shoreline Analysis Systems* (DSAS) v5.1 yang terintegrasi dalam ArcGIS (Himmelstoss *et al.*, 2021). Garis pantai diekstraksi dari citra satelit multi temporal Landsat-5 dan Landsat-7 yang diunduh melalui *website* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) dengan interval 5 tahun, dimulai dari tahun 2005, 2010, 2015, 2020, dan 2025 menggunakan indeks *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Zaidan *et al.*, 2022). Metode DSAS mampu menghitung statistik perubahan garis pantai secara otomatis dari berbagai posisi historis, meliputi *End Point Rate* (EPR) pada setiap transek (Hazazi *et al.*, 2019; Jalil *et al.*, 2023). Perubahan garis pantai dianalisis dengan cara melakukan digitasi langsung pada area garis pantai untuk setiap data citra

yang telah diunduh dan telah masuk ke dalam tahap *pra-processing*. Adapun formula untuk perhitungan EPR yakni:

$$EPR = \frac{\text{Jarak antara dua garis pantai (m)}}{\text{Rentang tahun kedua garis pantai (tahun)}}$$

Hasil perhitungan tersebut akan menunjukkan nilai negatif (-) ataupun positif (+). Abrasi ataupun pengurangan garis pantai terdeteksi apabila EPR menunjukkan nilai negatif, sedangkan akresi terdeteksi apabila EPR menunjukkan nilai positif (Maharani *et al.*, 2023).

Analisis Fraksi Sedimen

Pengambilan sampel sedimen permukaan (*surface sediment sampling*) dilakukan di empat stasiun pengamatan yang tersebar di sepanjang pesisir Desa Buruk Bakul (Gambar 1). Penentuan lokasi stasiun didasarkan pada keterwakilan segmen pantai yang berbeda secara morfologi dan paparan hidrodinamika. Sampel sedimen diambil secara manual menggunakan sekop pada zona intertidal, yaitu zona pesisir yang secara periodik terpengaruh oleh dinamika pasang surut. Setiap sampel disimpan dalam kantong plastik berlabel dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Analisis ukuran butir (*grain size analysis*) dilakukan menggunakan metode kombinasi pengayakan kering (*dry sieving*) untuk fraksi kasar

(kerikil dan pasir) dan metode pipet untuk fraksi halus (lumpur/lanau-lempung).

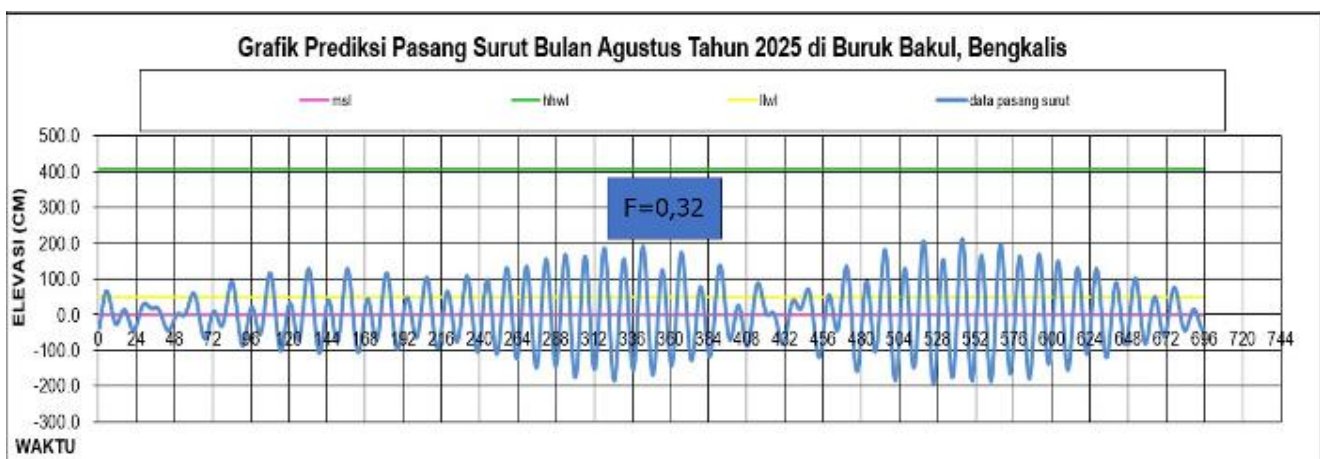
Hasil analisis dinyatakan dalam persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total sampel. Klasifikasi tipe sedimen mengacu pada sistem klasifikasi Folk (1954) yang mengelompokkan sedimen berdasarkan dominasi fraksi penyusunnya. Parameter yang dihasilkan meliputi persentase fraksi kerikil, pasir, dan lumpur pada setiap stasiun, yang selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi tipe sedimen dominan di kawasan pesisir Desa Buruk Bakul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Karakteristik Pasang Surut Perairan Desa Buruk Bakul

Berdasarkan hasil analisis pasang surut menggunakan Metode Admiralty, tipe dan karakteristik pasang surut yang terjadi di perairan Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis dikategorikan sebagai Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*). Tipe pasang surut ini dicirikan oleh terjadinya dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam satu hari, namun dengan ketinggian dan periode yang tidak sama antara kejadian pertama dan kedua (Oktavia, 2011). Grafik pasang surut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi pasang surut di Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis

Keterangan: HHWL (*Highest High Water Level*) merupakan elevasi muka air pasang tertinggi, MSL (*Mean Sea Level*) merupakan elevasi muka air laut rata-rata, dan LLWL (*Lowest Low Water Level*) merupakan elevasi muka air surut terendah.

Hasil analisis menunjukkan nilai bilangan Formzahl (F) sebesar 0,32, yang berada pada rentang $0,25 < F \leq 1,50$. Berdasarkan klasifikasi tersebut, perairan Desa Buruk Bakul dikategorikan sebagai tipe

pasang surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Riandi *et al.* (2024) dan Zulkifli *et al.* (2024) yang

menjelaskan bahwa tipe pasang surut di bagian utara Pulau Bengkalis dikategorikan sebagai Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda dengan bilangan Formzahl yaitu 0,3777 dan 0,293 secara berturut-turut.

Adanya perbedaan tipe pasang surut (pasut) di suatu perairan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti bentuk cekungan laut, kedalaman perairan, serta pengaruh gaya pembangkit pasut dari interaksi gravitasi bulan dan matahari (Triatmodjo, 1999; Oktavia, 2011). Pasang surut tipe campuran dengan perbedaan durasi yang tidak menentu berdampak pada durasi partikel halus tersuspensi di kolom air. Pada arus pasang yang memiliki kecepatan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan arus surut, partikel memiliki jarak lebih jauh untuk berpindah lokasi sebelum mengendap (Guo *et al.*, 2018). Kondisi ini berperan sebagai salah satu faktor pengendali utama dalam dinamika garis pantai, baik dalam proses sedimentasi, abrasi maupun akresi garis pantai di Desa Buruk Bakul. Menurut Riandi *et al.* (2024), tipe pasut campuran condong semidiurnal di pesisir utara Pulau Bengkalis menghasilkan pola arus bolak-balik (*reversing current*) dengan arah yang berbeda antara kondisi spring tide (ke arah selatan-barat daya, kecepatan rata-rata 0,210 m/s) dan *neap tide* (ke arah timur laut, kecepatan rata-rata 0,232 m/s).

Pola yang sama juga ditemukan di wilayah timur Pulau Bengkalis, hal ini ditunjukkan oleh Khaira *et al.* (2025) yang menjelaskan bahwa pasang surut campuran dengan tipe semi-diurnal menghasilkan kecepatan arus berkisar antara 0,33-0,36 m/s yang secara langsung memengaruhi proses transpor sedimen dan perubahan garis pantai dibandingkan komponen diurnal K1 dan O1. Hal ini diperlihatkan melalui hasil perhitungan nilai $F = 0,32$ yang lebih mendekati batas bawah kategori mixed semidiurnal ($F = 0,25$), mengindikasikan dominasi yang cukup kuat dari komponen semidiurnal di perairan ini (Aristi *et al.*, 2020).

Karakteristik pasang surut tipe campuran condong harian di perairan Desa Buruk Bakul memiliki keterkaitan langsung terhadap dinamika hidrodinamika dan transpor sedimen di kawasan pesisir. Fluktuasi muka air yang terjadi dua kali dalam sehari mampu menciptakan siklus arus pasang-surut yang secara umum termasuk ke dalam perairan Selat Bengkalis, posisi geografisnya berada di antara Pulau Bengkalis dan daratan Sumatera, kondisi ini menjadikannya sebagai selat semi-tertutup yang sangat dinamis dan sensitif terhadap pengaruh komponen pasut semi diurnal utama, yakni M2 dan S2, dibandingkan komponen diurnal K1 dan O1. Hal ini diperlihatkan melalui hasil perhitungan nilai $F = 0,32$ yang lebih mendekati batas bawah kategori mixed semidiurnal ($F = 0,25$), mengindikasikan dominasi

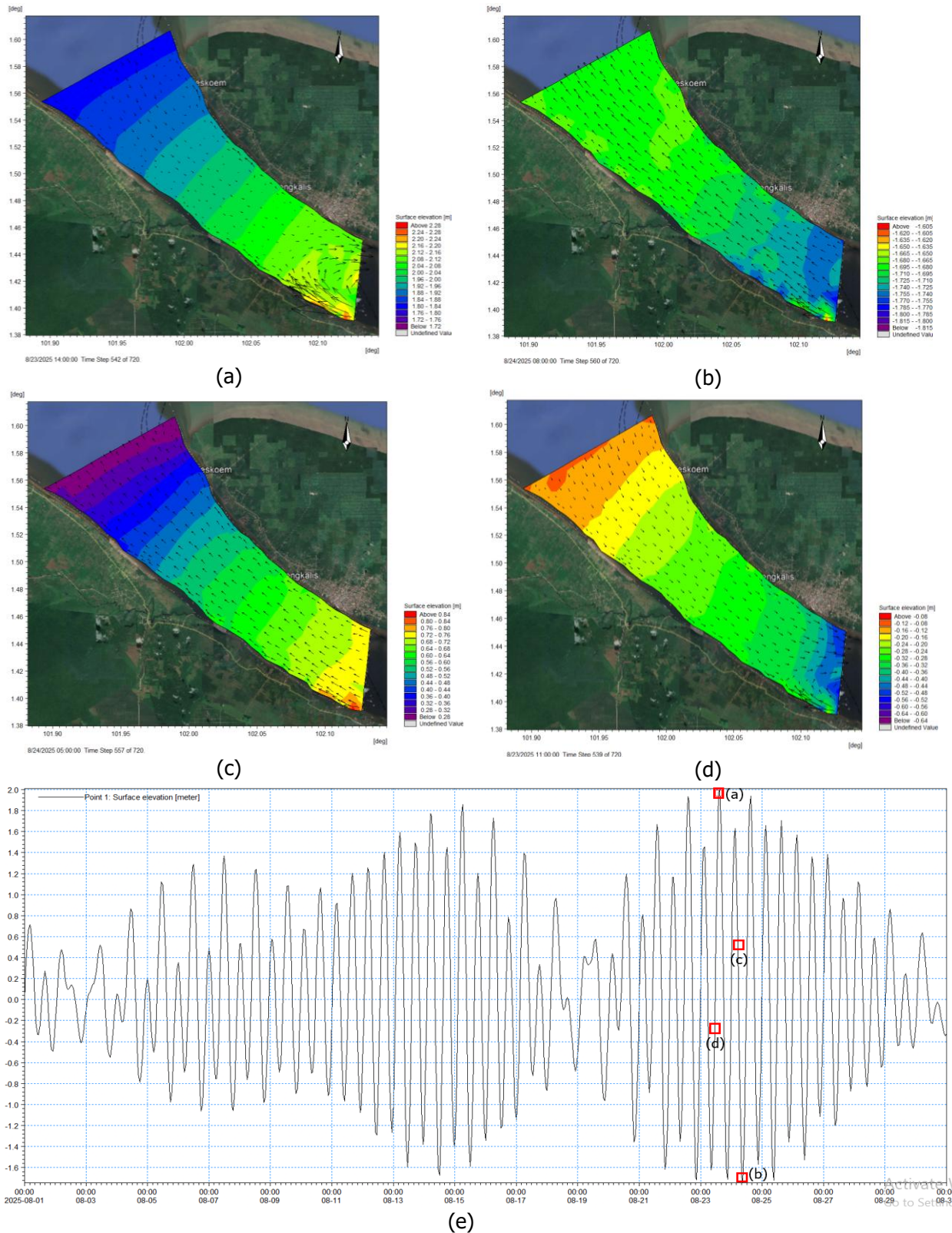
yang cukup kuat dari komponen semidiurnal di perairan ini (Aristi *et al.*, 2020).

Pola Arus

Arus laut merupakan pergerakan volume air laut dari satu tempat ke tempat lainnya yang terjadi secara terus-menerus, baik secara horizontal maupun vertikal. Pergerakan arus permukaan secara umum dipengaruhi oleh adanya angin, perbedaan tekanan, fenomena *upwelling* dan *downwelling*, serta panjang gelombang (Prayogo, 2021). Arus yang bergerak secara terus menerus akan secara signifikan memengaruhi dinamika garis pantai dengan mengangkut material sedimen dari lokasi ke lokasi lainnya. Secara umum, pola arus di Selat Bengkalis menunjukkan perubahan arah yang konsisten mengikuti siklus pasang surut. Adapun hasil simulasi pemodelan numerik 2D pola arus dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada fase pasang tertinggi (Gambar 3a), arus bergerak masuk menuju Selat Bengkalis dan cenderung mengikuti orientasi garis pantai ketika memasuki bagian dalam selat yang lebih sempit. Pola aliran yang mengikuti bentuk pantai ini memperlihatkan adanya pengaruh kuat geometri selat dalam mengarahkan distribusi momentum massa air (Milasari *et al.*, 2021). Selanjutnya, pada fase surut terendah (Gambar 3b), pola arus di Selat Bengkalis tampak berbalik sepenuhnya dengan aliran massa air bergerak keluar dari selat menuju perairan terbuka. Bagian utara selat teridentifikasi sebagai jalur utama pelepasan massa air, sementara di bagian selatan aliran cenderung lebih menyebar mengikuti pelebaran penampang perairan. Pola pembalikan arus seperti ini merupakan ciri khas selat semi-tertutup yang sistem alirannya didominasi oleh gaya pasang surut (Pratama *et al.*, 2020).

Memasuki fase transisi pasang menuju surut (Gambar 3c), pola arus di sekitar kawasan pesisir bagian barat selat bergerak dominan ke arah barat laut. Pada fase ini terjadi percepatan aliran sebelum pembalikan arah sepenuhnya, yang dipengaruhi oleh perbedaan elevasi muka air antara kedua ujung selat. Garis pantai dan bentuk geometri selat sangat memengaruhi distribusi momentum aliran pada fase transisi ini (Aristi *et al.*, 2020). Lalu, pada fase transisi surut menuju pasang (Gambar 3d), pola arus di bagian tengah selat mulai mengalami perubahan arah kembali sebagai respons terhadap kenaikan muka air laut. Arus yang berasal dari pesisir berbelok mengikuti bentuk garis pantai dan sangat dipengaruhi oleh topografi batimetri lokal. Variasi arah aliran yang kompleks pada fase ini menjelaskan adanya interaksi antara momentum sisa arus surut dengan dorongan awal arus pasang yang baru dimulai (Suci, 2023).



Gambar 3. Simulasi model hidrodinamika dua dimensi pola arus di Selat Bengkalis pada empat skenario: (a) saat pasang tertinggi; (b) saat surut terendah; (c) saat pasang menuju surut, dan; (d) saat surut menuju pasang; (e) grafik pasang surut.

Simulasi model menunjukkan bahwa pola arus di Selat Bengkalis bersifat bolak-balik dan dikontrol sepenuhnya oleh siklus pasang surut sehingga menghasilkan pergerakan massa air yang dinamis di

sepanjang pesisir Desa Buruk Bakul. Perubahan arah aliran yang terjadi dua kali dalam sehari secara konsisten mendorong dan menarik massa air beserta muatan sedimen yang terkandung di dalamnya,

sehingga menciptakan kondisi yang tidak stabil bagi morfologi garis pantai. Pola arus inilah yang menjadi salah satu pengendali utama distribusi energi hidrodinamika di kawasan pesisir, yang implikasinya terhadap kecepatan dan intensitas transpor sedimen akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab berikutnya.

Kecepatan Arus

Hasil simulasi model hidrodinamika dua dimensi menunjukkan bahwa terdapat variasi kecepatan arus yang signifikan pada setiap fase pasang dan surut di Selat Bengkalis. Secara umum, kecepatan arus tertinggi terjadi pada fase transisi pasang menuju surut, sedangkan kecepatan terendah terjadi pada fase pasang tertinggi yang merupakan kondisi air tenang (*slack water*). Adapun hasil simulasi model kecepatan arus dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada fase pasang tertinggi (Gambar 4a), kecepatan arus di perairan Selat Bengkalis berada pada kondisi sangat rendah, mendekati kondisi *slack water*. Hal ini diakibatkan oleh elevasi muka air sedang berada pada puncaknya, sehingga perbedaan elevasi muka air di sepanjang selat menjadi sangat kecil dan kecepatan aliran mencapai titik minimumnya sebelum berbalik arah. Menurut Milasari *et al.* (2021), kondisi *slack water* pada puncak pasang di selat semi-tertutup terjadi akibat keseimbangan sementara antara gaya gradien muka air dan hambatan gesekan dasar, sebelum aliran berbalik arah menuju fase surut. Meskipun kecepatan arus secara umum sangat rendah, terdapat percepatan lokal di beberapa lokasi yang dipengaruhi oleh penyempitan geometri penampang selat yang menitikberatkan aliran pada jalur yang lebih sempit (Milasari *et al.*, 2021).

Pada fase surut terendah (Gambar 4b), kecepatan arus mencapai maksimum sekitar 0,7 m/s di bagian utara selat, kemudian menurun secara bertahap menjadi 0,1-0,4 m/s ke arah selatan. Penurunan ini terjadi akibat pelebaran penampang perairan dan perubahan kedalaman yang menyebabkan distribusi energi aliran menjadi lebih merata. Bagian utara selat berfungsi sebagai jalur utama pelepasan massa air, sehingga energi tetap tinggi pada awal fase ini. Fase surut terendah berperan penting dalam mengangkut sedimen dan material tersuspensi keluar dari selat menuju perairan yang lebih terbuka, yang dapat menyebabkan defisit sedimen di pesisir dan memperburuk abrasi jangka panjang jika suplai sedimen dari daratan tidak mencukupi (Rifardi *et al.*, 2022).

Fase transisi pasang menuju surut (Gambar 4c) merupakan fase dengan kecepatan arus tertinggi, yaitu mencapai 0,9-1,35 m/s di jalur utama selat. Percepatan drastis ini disebabkan oleh pelepasan secara bersamaan volume massa air yang terakumulasi selama fase pasang melalui penampang selat yang relatif sempit. Perbedaan elevasi muka air yang tajam (dari sekitar 0,76 m turun hingga 0,2 m)

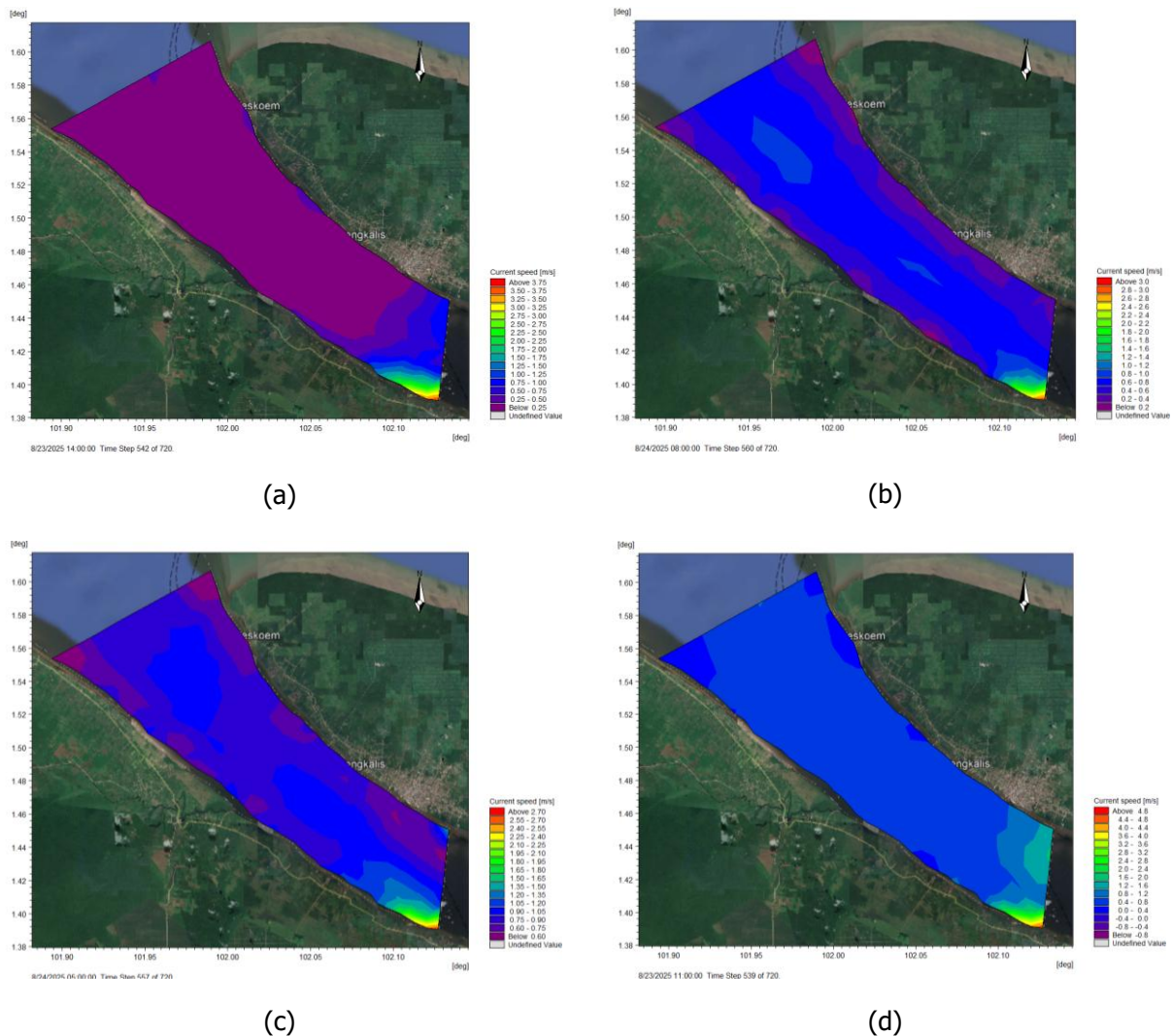
menghasilkan gradien hidraulik yang kuat, sehingga energi kinetik aliran meningkat secara signifikan. Kekuatan arus yang cepat ini memiliki daya angkut dan daya gerus yang tinggi, sehingga mampu memobilisasi sedimen dasar serta menyebabkan proses abrasi di zona pantai yang langsung terpapar arus utama. Hasil penelitian ini sejalan dengan karakteristik selat semi-tertutup di Indonesia, di mana fase transisi pada kondisi pasang menuju surut sering menjadi periode paling energetik (Aristi *et al.*, 2020; Pawitra *et al.*, 2022).

Kecepatan arus ditemukan berada pada fase transisi surut menuju pasang (Gambar 4d), yaitu berkisar antara 0,033-0,1 m/s. Pada fase ini, momentum aliran surut melemah sementara dorongan arus pasang baru mulai terbentuk, sehingga terjadi periode energi hidrodinamika minimum (*slack water* kedua). Kondisi kecepatan yang sangat rendah ini sangat kondusif bagi proses pengendapan partikel berukuran halus. Menurut Khaira & Rifardi (2025), perairan dengan energi rendah seperti ini mendukung akumulasi sedimen berbutir halus secara konsisten, yang pada akhirnya dapat berkontribusi pada proses akresi di segmen pantai tertentu, terutama ketika suplai sedimen dari daratan atau *longshore transport* mencukupi.

Hasil simulasi model menunjukkan bahwa terdapat variasi kecepatan arus yang signifikan antar fase pasang surut, dengan puncak tertinggi pada fase surut menuju pasang yang terkonsentrasi di bagian selatan selat, menggambarkan potensi energi hidrodinamika yang besar dalam menggerus dan menggerakkan sedimen di kawasan pesisir Desa Buruk Bakul. Zona selatan selat yang secara konsisten terpapar kecepatan arus tertinggi diduga menjadi area yang paling rentan terhadap penggerusan sedimen dasar dan kemunduran garis pantai. Kondisi hidrodinamika yang aktif dan asimetris ini merupakan salah satu faktor fisik utama yang berkontribusi terhadap dominasi abrasi yang teramati pada analisis spasio-temporal perubahan garis pantai periode 2005-2025.

Fraksi Sedimen Permukaan di Pesisir Desa Buruk Bakul

Analisis fraksi sedimen permukaan di pesisir Desa Buruk Bakul dilakukan pada empat stasiun pengamatan yang mewakili variasi morfologi dan paparan hidrodinamika sepanjang garis pantai. Hasil analisis ukuran butir menunjukkan dominasi fraksi lumpur di seluruh stasiun dengan persentase yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 72,25 % hingga 81,51 % (Tabel 1). Fraksi pasir merupakan komponen kedua terbesar dengan nilai tertinggi pada Stasiun II (20,66 %), sedangkan fraksi kerikil relatif rendah di semua stasiun (maksimum 7,18 %). Berdasarkan klasifikasi Folk (1954), tipe sedimen di seluruh stasiun dikategorikan sebagai lumpur (*mud*).



Gambar 4. Simulasi model hidrodinamika dua dimensi kecepatan arus di Selat Bengkalis pada empat skenario: (a) saat pasang tertinggi; (b) saat surut terendah; (c) saat pasang menuju surut, dan; (d) saat surut menuju pasang.

Tabel 1. Hasil Analisis Fraksi Sedimen di Wilayah Pesisir Desa Buruk Bakul

Stasiun	Fraksi Sedimen (%)			Tipe Sedimen
	Krikil	Pasir	Lumpur	
I	7,13	11,36	81,51	Lumpur
II	7,09	20,66	72,25	Lumpur
III	7,18	13,61	79,21	Lumpur
IV	4,46	14,08	81,23	Lumpur

Dominasi fraksi lumpur yang konsisten di semua stasiun mengindikasikan bahwa lingkungan perairan di pesisir Desa Buruk Bakul memiliki energi hidrodinamika relatif rendah. Kondisi ini memungkinkan partikel berukuran halus (lanau dan lempung) untuk mengendap dan terakumulasi, sementara fraksi yang lebih kasar (pasir dan kerikil) sulit bertahan di dasar perairan. Stasiun II menunjukkan persentase pasir tertinggi (20,66 %),

yang kemungkinan dipengaruhi oleh arus yang sedikit lebih kuat pada lokasi tersebut, sehingga membawa sedimen berukuran sedang ke area tersebut (Khaira & Rifardi, 2025).

Hasil penelitian ini sejalan dengan karakteristik selat semi-tertutup seperti Selat Bengkalis, di mana arus pasang surut tipe *mixed tide prevailing Semidiurnal* ($F = 0,32$) menghasilkan fase *slack water* yang cukup lama pada transisi surut menuju pasang. Kecepatan arus yang sangat rendah (0,033-0,1 m/s) pada fase tersebut sangat mendukung proses pengendapan sedimen halus, sebagaimana dijelaskan pada hasil pemodelan hidrodinamika sebelumnya. Menurut Khaira dan Rifardi (2025), dominasi lumpur di pesisir timur laut Pulau Bengkalis juga dipengaruhi oleh faktor antropogenik di daratan, seperti *input* sedimen dari sungai dan degradasi

mangrove yang mengurangi energi gelombang di zona intertidal.

Dominasi fraksi lumpur memiliki implikasi langsung terhadap dinamika perubahan garis pantai yang dianalisis menggunakan DSAS. Substrat berbutir halus ini mudah tererosi pada fase arus energetik tinggi (transisi pasang menuju surut, kecepatan hingga 0,9-1,35 m/s), sehingga berkontribusi pada proses abrasi yang dominan pada periode 2005-2025. Sebaliknya, pada fase energi rendah, lumpur cenderung terdeposisi kembali, yang dapat menjelaskan peningkatan akresi yang teramati pada periode 2020-2025 di beberapa segmen pantai. Hal ini menegaskan bahwa substrat sedimen berperan sebagai faktor pengendali utama dalam keseimbangan morfodinamika pesisir Desa Buruk Bakul (Rifardi *et al.*, 2022; Khaira & Rifardi, 2025).

Meskipun hasil analisis fraksi sedimen menunjukkan bahwa jenis sedimen pada seluruh stasiun didominasi oleh tipe sedimen lumpur, pengamatan lapangan mengindikasikan bahwa substrat di Stasiun 3 dan 4 juga tersusun atas tanah gambut. Ciri-ciri yang teramati meliputi warna tanah hitam pekat, tekstur gembur dengan serat kasar yang belum terdekomposisi sempurna, serta bau asam khas gambut saat tanah dalam kondisi kering, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi yang menunjukkan adanya substrat tanah gambut di stasiun pengamatan.

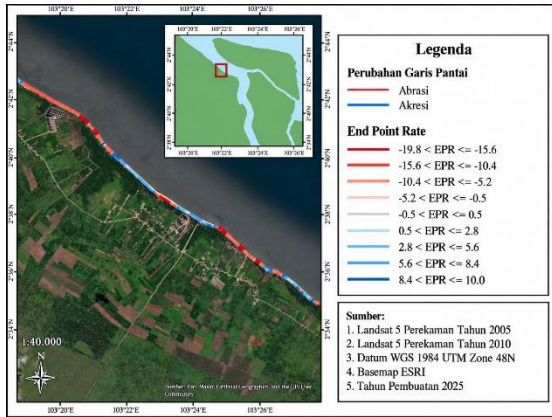
Lapisan gambut ini tertutup oleh endapan lumpur mineral setebal beberapa sentimeter yang berasal dari transportasi sedimen halus oleh arus pasang surut dan aliran sungai. Kondisi serupa dijelaskan oleh Riandi *et al.* (2024) di sepanjang pantai utara Pulau Bengkalis, di mana tanah gambut pesisir sering kali tertutup oleh sedimen mineral tipis akibat dinamika hidrodinamika. Keberadaan lapisan gambut di bawah permukaan menjadi faktor penting yang memperkuat kerentanan abrasi, karena gambut memiliki berat jenis rendah, kohesi kecil, dan mudah terkikis oleh arus, terutama saat lapisan penutup mineralnya terkikis terlebih dahulu.

Analisis Perubahan Garis Pantai Desa Buruk Bakul Periode 2005-2025

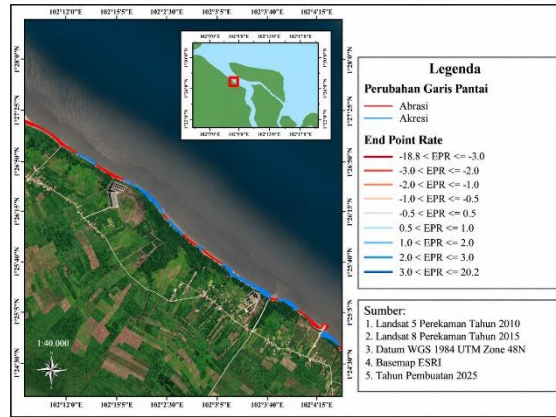
Analisis perubahan garis pantai di pesisir Desa Buruk Bakul dilakukan menggunakan DSAS v5.1 terintegrasi dalam ArcGIS. Garis pantai diekstraksi dari citra satelit Landsat-5 dan Landsat-7 multitemporal (tahun 2005, 2010, 2015, 2020, dan 2025) dengan metode NDWI. Statistik perubahan dihitung menggunakan EPR pada transek yang dihitung sepanjang *baseline*. Hasil analisis menunjukkan pola dinamika spasio-temporal yang tidak seragam, dengan kombinasi proses abrasi dan akresi yang bervariasi antarperiode dan segmen pantai. Adapun peta perubahan garis pantai dengan interval 5 tahun, dimulai dari tahun 2005 hingga tahun 2025 dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan peta perubahan garis pantai periode 2005-2010 di Desa Buruk Bakul (Gambar 6a), terlihat bahwa dinamika pesisir menunjukkan kombinasi antara abrasi dan akresi yang tersebar pada beberapa segmen pantai. Dominasi warna merah pada sebagian garis pantai mengindikasikan bahwa proses abrasi berlangsung cukup intensif selama periode ini, sementara segmen berwarna biru menandakan adanya akresi akibat deposisi sedimen di lokasi tertentu. Kondisi ini mencerminkan bahwa sistem pesisir di wilayah tersebut bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh interaksi antara gelombang, arus laut, serta suplai sedimen dari daratan maupun perairan sekitar. Fenomena perubahan garis pantai seperti ini merupakan karakteristik umum wilayah pesisir yang terus mengalami penyesuaian morfologi akibat proses hidrodinamika laut dan aktivitas manusia. Sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Hazazi *et al.* (2019) menunjukkan bahwa perubahan garis pantai dapat terjadi akibat kombinasi proses alam seperti gelombang, arus, dan pasang surut, serta faktor antropogenik yang memengaruhi keseimbangan sedimen di wilayah pesisir.

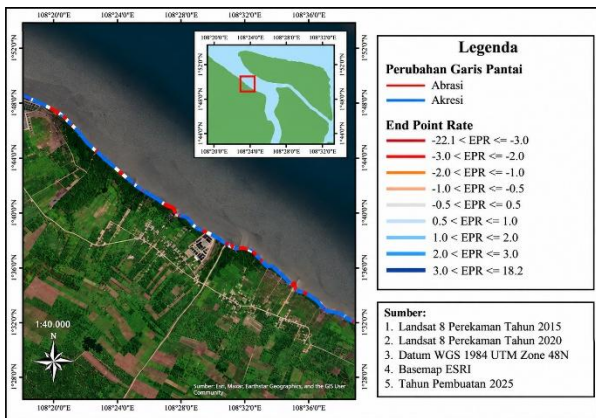
Pada periode 2010-2015 yang ditunjukkan oleh Gambar 6b, dapat terlihat bahwa abrasi masih mendominasi sebagian besar segmen pantai. Hasil analisis DSAS menunjukkan nilai EPR rata-rata $-1,2 \pm 0,9$ m/tahun, dengan lebih dari 50% luasan transek mengalami abrasi ($EPR < -0,5$ m/tahun). Pada bagian selatan tercatat adanya nilai EPR yakni $-2,1$ m/tahun, hal ini menunjukkan terjadi abrasi pada daerah tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pesisir di wilayah tersebut bersifat sangat dinamis akibat pengaruh arus. Nilai kecepatan arus maksimum yang terjadi pada bagian selatan selat saat fase transisi pasang-menusur (0,9-1,35 m/s), yang mampu menggerus sedimen lumpur (Rifardi *et al.*, 2022).



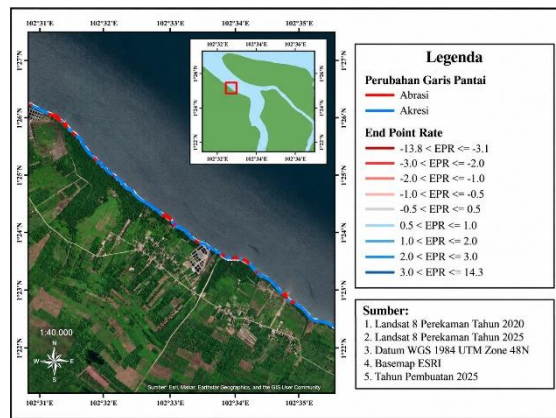
(a)



(b)

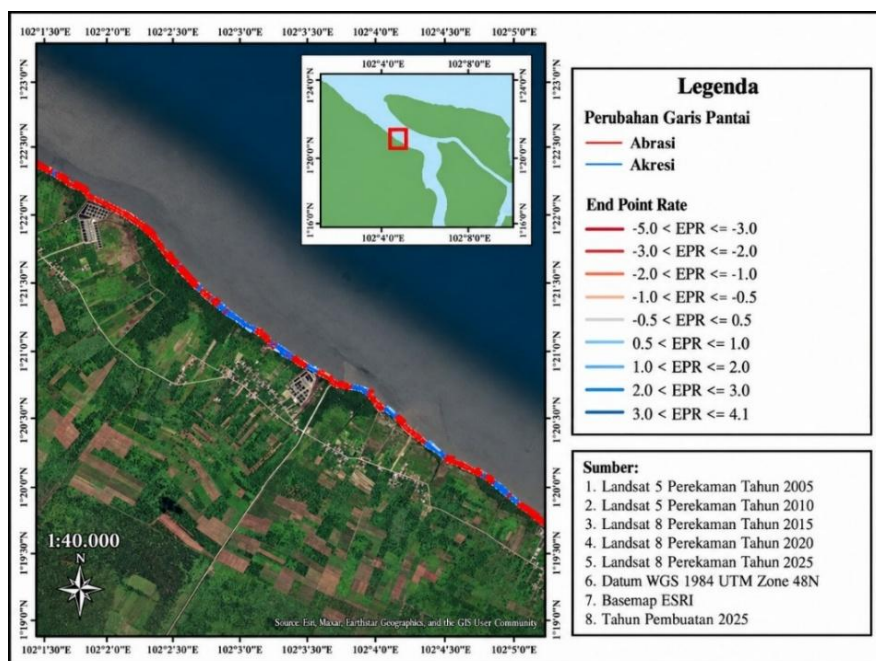


(c)



(d)

Gambar 6. Peta Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pesisir Desa Buruk Bakul dengan Interval 5 Tahun Mulai dari Tahun 2005 hingga 2025: (a) 2005-2010; (b) 2010-2015; (c) 2015-2020 dan; (d) 2020-2025.



Gambar 7. Peta Perubahan Garis Pantai di Desa Buruk Bakul Selama 25 Tahun (2005-2025).

Selanjutnya, pada periode 2015-2020 (Gambar 6c) dan periode 2020-2025 (Gambar 6d) menunjukkan adanya peningkatan akresi pada beberapa segmen pesisir yang relatif terlindung dari arus utama. Peningkatan deposisi sedimen pada periode ini mengindikasikan adanya perubahan distribusi transportasi sedimen sepanjang pantai. Namun demikian, abrasi masih tetap terjadi secara lokal pada beberapa zona yang memiliki paparan arus lebih kuat dan kondisi sedimen yang tidak stabil. Fenomena ini menunjukkan bahwa perubahan garis pantai merupakan proses yang sangat dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika laut seperti gelombang, arus, dan pasang surut yang bekerja secara terus menerus (Mutaqin *et al.*, 2021; Azuga *et al.*, 2025; Khaira *et al.*, 2025). Jalil *et al.* (2023) menjelaskan bahwa analisis perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS menunjukkan bahwa nilai perubahan garis pantai dapat bervariasi secara signifikan antar transek karena dipengaruhi oleh kondisi gelombang dan dinamika arus laut di wilayah pesisir.

Pembahasan

Hasil analisis perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS menunjukkan bahwa selama periode 2005-2025 pesisir Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis, didominasi oleh proses abrasi yang berlangsung secara konsisten dalam jangka panjang. Meskipun demikian, pada beberapa bagian pantai yang ditunjukkan pada Gambar 7 masih terlihat adanya wilayah yang mengalami akresi. Dominasi abrasi yang teridentifikasi diduga merupakan hasil interaksi kompleks antara karakteristik pasang surut tipe *mixed* semidiurnal yang menghasilkan pola arus bolak-balik aktif, tingginya kecepatan arus terutama pada bagian selatan selat, dominasi sedimen berbutir halus yang mudah tertransportasikan, serta pengaruh aktivitas antropogenik di kawasan pesisir (Hazazi *et al.*, 2019; Mutaqin *et al.*, 2021). Interaksi berbagai faktor oseanografi fisik tersebut berperan penting dalam mengontrol dinamika morfologi pantai di Desa Buruk Bakul. Oleh karena itu, pemahaman terhadap hubungan antara hidrodinamika perairan, karakteristik sedimen, dan perubahan garis pantai menjadi landasan ilmiah yang penting dalam mendukung upaya pengelolaan dan mitigasi abrasi pesisir secara efektif dan berkelanjutan. Analisis perubahan garis pantai berbasis citra satelit multi-temporal juga dinilai efektif dalam mengidentifikasi pola abrasi dan akresi secara spasial maupun temporal, sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan penting dalam pengelolaan kawasan pesisir (Driptufany, 2020; Jalil *et al.*, 2021).

Selain itu, tingginya tingkat kerentanan abrasi di pesisir Desa Buruk Bakul diperkuat oleh kondisi lapisan tanah yang didominasi tanah gambut, khususnya pada wilayah bagian barat garis pantai yang ditunjukkan pada Stasiun 3 dan Stasiun 4 penelitian (Gambar 1). Substrat gambut pada kedua

stasiun tersebut memiliki kadar air tinggi, berat volume rendah, serta ketahanan yang rendah terhadap gerusan arus sehingga mudah terkikis oleh arus pasang surut (Tuukkanen *et al.*, 2014). Kondisi ini sejalan dengan penelitian Riandi *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa pantai dengan susunan tanah gambut di Bengkalis bagian utara mengalami laju kemunduran garis pantai >2 m/tahun akibat interaksi arus sejajar pantai dan degradasi mangrove. Dengan demikian, keberadaan lapisan gambut menjadi salah satu faktor penting yang mempercepat proses abrasi di lokasi penelitian, selain pengaruh hidrodinamika dan fraksi sedimen.

Pada periode 2015-2020 (Gambar 6c), distribusi abrasi dan akresi cenderung lebih seimbang dibandingkan periode sebelumnya. Nilai EPR rata-rata tercatat sebesar $-0,8 \pm 1,2$ m/tahun. Peningkatan akresi tidak terjadi secara merata, di mana akresi lebih banyak terdapat di wilayah pantai bagian utara dan tengah yang relatif terlindung dari arus utama Selat Bengkalis, serta bertepatan dengan fase *slack water* (kecepatan arus $<0,1$ m/s) yang mendukung terjadinya pengendapan material sedimen lumpur. Kondisi ini diduga turut dipengaruhi oleh peningkatan suplai sedimen halus dari daratan, kemungkinan akibat konversi lahan di daerah aliran sungai sekitar (Sarah *et al.*, 2022). Sebaliknya, pada wilayah pantai bagian selatan masih didominasi oleh abrasi dengan nilai EPR mencapai $-1,7 \pm 0,9$ m/tahun, mengindikasikan bahwa kondisi hidrodinamika lokal di bagian selatan lebih kuat dibandingkan suplai sedimen regional.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dengan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), dinamika spasio-temporal garis pantai di pesisir Desa Buruk Bakul, Kabupaten Bengkalis, selama periode 2005-2025 menunjukkan kecenderungan yang didominasi oleh proses abrasi dibandingkan akresi. Kemunduran garis pantai terjadi pada sebagian besar segmen pesisir, sementara akresi hanya ditemukan secara lokal pada beberapa wilayah dengan kondisi hidrodinamika yang mendukung proses pengendapan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan garis pantai di lokasi penelitian bersifat tidak seragam secara spasial dan berlangsung secara dinamis dari waktu ke waktu. Hasil integrasi antara analisis DSAS, karakteristik hidrodinamika pasang surut, dan fraksi sedimen menunjukkan bahwa perubahan garis pantai pada pesisir gambut semi-tertutup di Selat Bengkalis dikendalikan oleh interaksi beberapa faktor fisik. Pasang surut bertipe *mixed semidiurnal* menghasilkan pola arus pasang surut bolak-balik yang secara berkelanjutan memengaruhi energi hidrodinamika di perairan pesisir. Kecepatan arus yang relatif tinggi, terutama di bagian selatan Selat Bengkalis pada fase transisi pasang menuju surut, meningkatkan penggerusan sedimen dan mempercepat kemunduran

garis pantai. Kondisi ini diperparah oleh dominasi sedimen berbutir halus yang bersifat kohesif lemah sehingga mudah tererosi dan tertransportasi akibat fluktuasi energi arus. Sebaliknya, pada fase dengan energi arus yang rendah, sedimen tersuspensi cenderung mengendap sehingga memungkinkan terjadinya akresi pada beberapa wilayah. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa abrasi dan akresi di pesisir Desa Buruk Bakul merupakan hasil dari mekanisme fisik yang saling berkaitan, yaitu variasi energi arus pasang surut dan karakteristik sedimen penyusun pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R., Hendri, A., and Fauzi, M. 2017. Pengaruh Simulasi Awal Data Pengamatan Terhadap Efektivitas Prediksi Pasang Surut Metode Admiralty (Studi Kasus Pelabuhan Dumai). *Jom FTEKNIK* 4(2): 1–10.
- Ajiwibowo, H., and Pratama, M. B. 2022. Hydrodynamic model and tidal current energy potential in Lepar Strait, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development* 11(1): 15–25.
- Aristi, S., Sutikno, and Fauzi, M. 2020. Analisis pola arus akibat pasang surut di Pantai Selat Baru, Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Selodang Mayang* 6(3): 172–177.
- Azuga, N. A., Zahra, Z. A., Andini, A. S., Fauzan, I., Khaira, A. U., Ilahi, I., Suhandi, D., and Nur, M. I. 2025. Review dampak penambangan pasir laut terhadap dinamika abrasi garis pantai di kawasan pesisir Indonesia. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research)* 7(1): 53–67.
- Driptufany, D. M. 2020. Deteksi perubahan garis pantai Kabupaten Padang Pariaman menggunakan aplikasi penginderaan jauh. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang* 7(2).
- Fajar, F., Elizal, E., and Siregar, Y. I. 2023. Ocean current circulation modeling in the Bengkalis Strait in the east spring. *South East Asian Marine Sciences Journal* 1(1): 15–21.
- Gopinath, G., Thodi, M. F. C., Surendran, U. P., Prem, P., Parambil, J. N., Alataway, A., Al-Othman, A. A., Dewidar, A. Z., and Mattar, M. A. 2023. Long-term shoreline and islands change detection with digital shoreline analysis using RS data and GIS. *Water* 15(2).
- Guo, L., Brand, M., Sanders, B. F., Foufoula-Georgiou, E., and Stein, E. D. 2018. Tidal asymmetry and residual sediment transport in a short tidal basin under sea level rise. *Advances in Water Resources*, 121: 1–8.
- Hastuti, A. W., Nagai, M., Ismail, N. P., Priyono, B., Suniada, K. I., and Wijaya, A. 2024. Spatiotemporal analysis of shoreline change trends and adaptation in Bali Province, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science* 76.
- Hazazi, G., Sasmito, B., and Firdaus, H. S. 2019. Analisis perubahan garis pantai terhadap eksistensi mangrove menggunakan penginderaan jauh dan aplikasi Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tahun 2014–2018 (studi kasus: Kabupaten Kendal). *Jurnal Geodesi Universitas Diponegoro* 8(1).
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., and Farris, A. S. 2021. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide (Open-File Report 2021-1091). U.S. Geological Survey.
- Hou, X., Liu, J., Song, Y., and Li, X. 2016. Environmental-ecological effect of development and utilization of China's coastline and policy recommendations. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 31, 1143–1150.
- Jalil, H. F., Imran, H. A., and Syamsuri, A. M. 2023. Studi pengaruh tinggi gelombang terhadap perubahan garis pantai menggunakan software DSAS Pantai Sampulungan Galesong Utara. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi* 2(2).
- Kasim, M. R. S. 2020. Pemodelan Arus dan Gelombang di Muara Sungai Jeneberang Dengan Aplikasi MIKE-21. Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin. Makassar
- Khaira, A. U., and Rifardi. 2025. The impact of seawall on sediment characteristics and morphodynamics along the northeastern coastal of Bengkalis Island, Sumatra, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 29(5): 2343-2356.
- Khaira, A. U., Rifardi, Yoswaty, D., Zulkifli, and Ilahi, I. 2025. Analisis spasio-temporal perubahan garis pantai di wilayah timur Kepulauan Bengkalis tahun 2004-2024. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research)* 7(2): 122–134.
- Kuntoro, W., Ningsih, N. S., and Rachmayani, R. 2020. Seasonal wave characteristics in Southern Bali Waters in 2014. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 618.
- Maharani, S., Suhana, M. P., and Kurniawati, E. 2023. Pemetaan perubahan garis pantai di Pantai Tanjung Siambang, Pulau Dompok dengan metode Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 16(2): 163–174.
- Milasari, A., Ismunarti, D. H., Indrayanti, E., Muldiyatno, F., Ismanto, A., and Rifai, A. 2021. Model arus permukaan Teluk Lampung pada musim peralihan II dengan pendekatan

- hidrodinamika. *Buletin Oseanografi Marina* 10(3): 259–268.
- Mujabar, P. S., and Chandrasekar, N. 2011. Shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences* 6: 647–664.
- Muskananfolo, M. R., Supriharyono, and Febrianto, S. 2020. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System. *Regional Studies in Marine Science* 34.
- Mutaqin, B. W. 2017. Shoreline changes analysis in Kuwaru coastal area, Yogyakarta, Indonesia: An application of the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *International Journal of Remote Sensing Applications*.
- Mutaqin, B. W., Kurniawan, I. A., Airawati, M. N., and Marfai, M. A. 2021. Kajian perubahan garis pantai di sebagian wilayah Pesisir Pandeglang, Banten, periode tahun 1990-2020. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 14(3): 232–242.
- Napitupulu, G., Tarya, A., Pratama, I. M. Y., and Winardhie, I. S. 2022. Variability Analysis Of Significant Wave Heights And Wind Waves In Riau Archipelago Sea Part Alki 1. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis* 10(3): 341-355.
- Oktavia, R. 2011. Variasi muka laut dan arus geostropik permukaan perairan Selat Sunda berdasarkan data pasut dan angin tahun 2008 [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. IPB University Scientific Repository.
- Poerbandono, D. E., and Djunarsyah, E. 2005. Survei hidrografi. Refika Aditama.
- Pratama, R. Y., Sulaksana, N., Sukiyah, E., Iskandarsyah, T. Y. W. M., Novico, F., Zulfahmi, Z., Sudjono, E. H., and Ranawijaya, D. 2023. Short-term coastal landscape evolution in Cirebon Bay using coastline environment analysis. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 31(3): 186–195.
- Prayogo, L. M. 2021. Pemetaan pola pergerakan arus permukaan laut pada musim peralihan timur-barat di perairan Madura, Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan* 2(2): 69–75.
- Riandi, D., Sutikno, S., and Yusa, M. 2024. Numerical modeling of coastal tides and current pattern at northern peat coast of Bengkalis Island. *Jurnal Rab Construction Research* 9(1): 224–234.
- Salmon, C., Duvat, V., and Laurent, V. 2019. Human- and climate-driven shoreline changes on a remote mountainous tropical Pacific Island: Tubuai, French Polynesia. *Anthropocene* 25.
- Suci, A. D. 2023. Pemodelan arus pasang surut dan arus residu di perairan Kawasan Industri Maritim (KIM) Tanggamus [Disertasi, Universitas Lampung].
- Sui, L., Wang, J., Yang, X., and Wang, Z. 2020. Spatial-temporal characteristics of coastline changes in Indonesia from 1990 to 2018. *Sustainability*, 12(8), Artikel 3242.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik pantai. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Tuukkanen, T., H.Marttila, and B.Kløve. 2014. Effect of soil properties on peat erosion and suspended sediment delivery in drained peatlands. *Water Resour. Res.* 50: 3523–3535.
- Wang, B., Liang, L., Hui, F., Cheng, X., Gong, P., Chen, Z., and Huang, H. 2019. Spatiotemporal changes of the Chinese coastlines: Landsat imagery from 1975 to 2015. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)* 55: 83–100.
- Woodroffe, C. D., Evelpidou, N., Delgado-Fernandez, I., Green, D., Sengupta, D., Karkani, A., and Ciavola, P. 2025. Coastline changes: A reconsideration of the prevalence of recession on sandy shorelines. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 3,
- Zaidan, R. R., Suryono, C. A., Pratikto, I., and Taufiq-Spj, N. 2022. Penggunaan citra satelit Sentinel-2A untuk mengevaluasi perubahan garis pantai Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research* 11(2): 105–112.