

Kajian Luas Perubahan Garis Pantai Klayar Jawa Timur Tahun 2019 – 2023 Menggunakan Metode DSAS

Yazid Nabil Robanni, Alfi Satriadi*, Gentur Handoyo

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang Semarang Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: *satriad_as@yahoo.co.id

Abstrak

Perubahan garis pantai merupakan indikator utama dinamika pesisir yang dipengaruhi oleh berbagai faktor oseanografi seperti gelombang, pasang surut, angin, serta pergerakan sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis luas dan laju perubahan garis pantai di Pantai Klayar, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, selama periode tahun 2019 hingga 2023 dengan menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Data citra satelit Sentinel-2A diolah melalui software ArcGIS 10.8 untuk mendapatkan nilai *End Point Rate* (EPR) dan *Net Shoreline Movement* (NSM), didukung oleh data angin, gelombang, pasang surut, dan hasil analisis laboratorium sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama periode tersebut terjadi abrasi seluas $\pm 2,97$ ha dan akresi sebesar $\pm 2,52$ ha. Nilai EPR bervariasi dari -10,7 m/tahun hingga 9,2 m/tahun, pergeseran garis pantai maksimum berdasarkan NSM mencapai 42,6 meter. Proses abrasi lebih dominan terjadi di bagian barat pantai yang terbuka terhadap gelombang laut, sementara akresi cenderung terjadi di area yang lebih terlindung. Hasil analisis ukuran butir sedimen menunjukkan dominasi pasir kasar dan kerikil pada titik-titik tertentu, yang mengindikasikan pengaruh gelombang berenergi tinggi terhadap proses sedimentasi di pantai. Secara keseluruhan, perubahan garis pantai di Pantai Klayar mencerminkan adanya interaksi kompleks antara dinamika oseanografi dan karakteristik geomorfologi lokal yang berlangsung secara terus-menerus.

Kata kunci : Garis Pantai, DSAS, Pantai Klayar

Abstract

Assessment of Shoreline Change Dynamics at Klayar Beach, East Java (2019–2023) Using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Coastal shoreline change is primary indicators of dynamic processes in coastal environments, influenced by various oceanographic factors such as waves, tides, wind, and sediment movement. This study aims to analyze the rate and area of shoreline change along Klayar Beach, Pacitan Regency, East Java, during the period from 2019 to 2023 using the *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) method. Satellite imagery from Sentinel-2A was processed through ArcGIS 10.8 to calculate *End Point Rate* (EPR) and *Net Shoreline Movement* (NSM), supported by wind, wave, tidal, and sediment data collected both in the field and through laboratory analysis. The results indicate that the area experienced approximately 2.97 hectares of abrasion and 2.52 hectares of accretion over the study period. EPR values ranged from -10.7 m/year to 9.2 m/year, with the maximum shoreline displacement recorded at 42.6 meters based on NSM analysis. Abrasion tended to occur in the western part of the beach, which is more exposed to direct ocean wave energy, while accretion was more common in areas that are naturally sheltered. Grain size analysis showed a dominance of coarse sand and gravel at certain points, suggesting a high-energy wave environment that influences sediment distribution. Overall, the shoreline changes observed at Klayar Beach reflect a continuous and complex interaction between oceanographic dynamics and local geomorphological conditions.

Keywords: Shoreline, DSAS, Klayar Beach

PENDAHULUAN

Perubahan garis pantai mencerminkan pergeseran batas antara daratan dan laut yang berlangsung secara dinamis temporal akibat interaksi kompleks antara faktor alami dan antropogenik. Proses geomorfologi

berperan penting dalam dinamika pesisir (Burningham, & French, 2017). Dinamika alami dipengaruhi oleh berbagai faktor oseanografi seperti arus laut, gelombang, pasang surut, dan angin, serta karakteristik fisik pantai itu sendiri, seperti kemiringan dan morfologi pantai. Fenomena perubahan garis pantai dapat mengakibatkan dua kondisi utama, yaitu abrasi (pengurangan daratan akibat erosi) dan akresi (penambahan daratan akibat sedimentasi). Proses abrasi umumnya terjadi karena kekuatan gelombang atau arus laut yang mengikis daratan, sedangkan akresi terjadi saat material seperti pasir dan lumpur terbawa dan terdeposit di sepanjang garis pantai. Kedua proses ini memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan pesisir, infrastruktur, aktivitas ekonomi, serta keberlanjutan ekosistem (Wawan *et al.*, 2022).

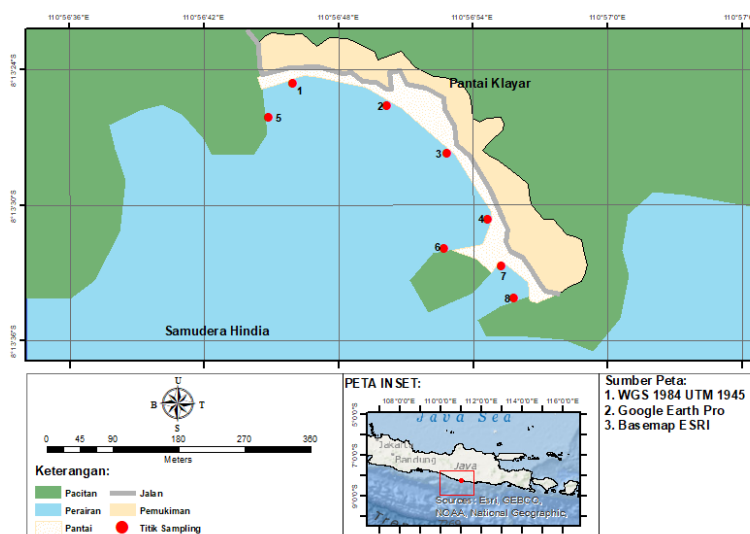
Wilayah pesisir Kabupaten Pacitan, berbatasan langsung dengan Samudera Hindia, merupakan wilayah yang sangat dipengaruhi oleh kondisi hidro-oseanografi seperti angin laut, pasang surut, dan gelombang dengan energi tinggi. Salah satu pantai yang menjadi ikon pariwisata di Pacitan adalah Pantai Klayar yang tidak hanya memiliki nilai estetika dan potensi wisata yang tinggi, tetapi juga mengalami dinamika pantai yang intens akibat pengaruh gelombang dan pasang surut. Proses erosi dan sedimentasi yang terus berlangsung menyebabkan perubahan garis pantai yang berdampak pada luas daratan, ekosistem pesisir, serta pembangunan infrastruktur dan aktivitas pariwisata di sekitarnya (Adping *et al.*, 2024). Perubahan garis pantai ini juga berdampak pada formasi batuan karst dan karang khas di wilayah tersebut, yang menjadi salah satu daya tarik utama Pantai Klayar.

Selain faktor alami, aktivitas manusia seperti pembangunan infrastruktur wisata dan eksploitasi wilayah pesisir juga turut memberikan kontribusi terhadap perubahan morfologi garis pantai. Namun demikian, kajian ilmiah terkait dinamika perubahan garis pantai di Pantai Klayar masih sangat terbatas. Minimnya data dan penelitian menyebabkan kurangnya pemahaman mengenai dampak perubahan garis pantai terhadap lingkungan dan masyarakat setempat. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan penelitian yang dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai perubahan garis pantai di kawasan ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji luas perubahan garis pantai di Pantai Klayar, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, selama periode 2019 hingga 2023 menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Pada saat sekarang, DSAS banyak digunakan oleh peneliti untuk mendeteksi perubahan garis pantai yang hasilnya cukup akurat dan efektif (Koulibaly & Ayoade, 2021; Nath *et al.*, 2024). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat dan menjadi dasar bagi pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan, baik dari sisi konservasi lingkungan maupun pengembangan ekonomi lokal.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Pantai Klayar, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur yang secara astronomis terletak antara $110^{\circ}56'28.32''$ – $110^{\circ}57'28.16''$ BT dan $8^{\circ}13'59.52''$ – $8^{\circ}13'7.68''$ LS. Lokasi penelitian dan titik sampling dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Titik Sampling

Penelitian ini menggunakan dua tipe data yang berupa data primer dan juga data sekunder. Data primer berupa data citra satelit Sentinel-2A untuk analisa perubahan garis pantai dan hasil sampling sedimen yang diambil lokasi penelitian di Pantai Klayar, Pacitan yang kemudian akan di lakukan uji granulometri pada laboratorium. Data sekunder yang digunakan meliputi, data pengukuran gelombang laut yang di dapatkan dari ERA-5, data pengukuran pasang surut BIG, dan data kecepatan angin Ascatt. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa software seperti, Microsoft Excel, ArcGIS 10.8, Ocean Data View (ODV) dan grADS

Analisis Data Citra Satelit Sentinel-2A

Pengolahan data citra satelit Sentinel-2A dilakukan guna menganalisis perubahan luas garis pantai di Pantai Klayar Jawa Timur. Data citra diperoleh melalui platform *Google Earth Engine*, dengan format unduhan berupa *GeoTIFF*. Proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8. Tahapan awal mencakup digitalisasi garis pantai pada masing-masing tahun pengamatan, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghitung luasan area akresi dan abrasi yang terjadi di wilayah studi. Perhitungan luas perubahan garis pantai menggunakan fitur *Calculate Geometry*, dengan satuan hasil pengukuran berupa hektar (ha). Perhitungan laju perubahan garis pantai menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Parameter utama yang dihasilkan dari analisis ini meliputi *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). NSM digunakan untuk mengukur jarak total pergeseran garis pantai antara dua periode waktu, posisi garis pantai awal dan akhir. EPR dihitung dengan membagi jarak pergeseran garis pantai dengan selang waktu antar periode, sehingga diperoleh nilai laju perubahan garis pantai (Setyawan *et al.*, 2021). Metode ini memungkinkan penilaian kuantitatif terhadap dinamika perubahan garis pantai dalam rentang waktu tertentu serta memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai tren geomorfologi pesisir yang berlangsung.

Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengukuran Badan Informasi Geospasial (BIG). Data tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menghasilkan grafik yang menggambarkan pola pasang surut di lokasi penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan menerapkan metode Admiralty guna memperoleh parameter pasang surut utama, yaitu *Mean Sea Level* (MSL), *Highest High Water Level* (HHWL), *Lowest Low Water Level* (LLWL), *Mean High Water Level* (MHWL), dan *Mean Low Water Level* (MLWL). Tipe pasang surut di lokasi penelitian dapat diketahui dari hasil bilangan formzhal yang didapatkan dengan rumus sbb:

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

Elevasi air laut yang diperlukan dalam penelitian ini didapatkan dengan rumus:

$$\begin{aligned} MSL &= S_0 \\ HHWL &= S_0 + (M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + P_1 + K_2) \\ LLWL &= S_0 - (M_2 + S_2 + N_2 + K_1 + O_1 + P_1 + K_2 + M_4 + MS_4) \\ MHWL &= Z_0 + (M_2 + S_2) \\ MLWL &= Z_0 - (M_2 + S_2) \end{aligned}$$

Analisis data Gelombang Laut

Data gelombang laut diperoleh dari citra satelit ERA-5 dalam format *NetCDF (.nc)*, yang diunduh melalui platform *Marine Copernicus*. Pengolahan awal dilakukan menggunakan perangkat lunak OpenGRADS untuk menghasilkan peta arah dan kecepatan gelombang laut, serta untuk mengekstrak parameter gelombang berupa hskp (*height significant wave parameter*) dan tkp (*temporal wave parameter*). Data hasil ekstraksi tersebut diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Ocean Data View (ODV) untuk memperoleh nilai tinggi gelombang signifikan (*Significant Wave Height*, H_s) dan periode gelombang (*Wave Period*, T_s). Hasil dari ODV kemudian diekspor dan dianalisis di Microsoft Excel untuk memperoleh data numerik H_s dan T_s secara sistematis. Nilai-nilai ini selanjutnya digunakan sebagai parameter utama dalam menganalisis pengaruh gelombang terhadap dinamika perubahan garis pantai.

Analisis Data Sedimen

Data sedimen diperoleh melalui pengambilan sampel di beberapa titik sampling yang tersebar di lokasi penelitian. Sampel diambil menggunakan alat *sediment grab* dan disimpan dalam kantong plastik *ziplock*. Analisis laboratorium dilakukan untuk mengukur distribusi ukuran butir sedimen (granulometri). Sampel disaring menggunakan alat *sieve shaker* dengan rentang ukuran ayakan dari 2 mm hingga 0,045 mm. Data hasil penyaringan diolah menggunakan perangkat lunak GRADISTAT versi 8 untuk memperoleh persentase distribusi ukuran butir dan klasifikasi jenis sedimen. Hasil analisis granulometri ini digunakan untuk memahami karakteristik fisik sedimen yang berperan dalam dinamika perubahan garis pantai, terutama dalam proses abrasi dan akresi di wilayah Pantai Klayar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

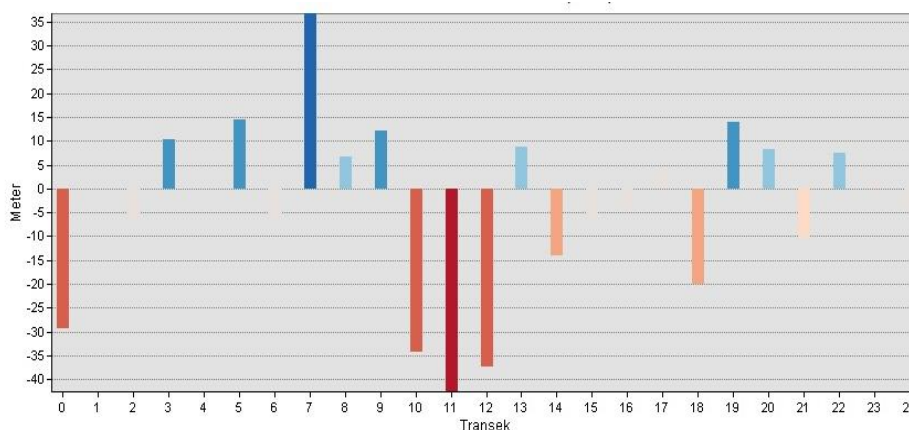
Nilai NSM dan EPR

Berdasarkan dari analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan metode DSAS, diperoleh data NSM (*Net Shoreline Movement*) yang menggambarkan pergerakan garis pantai dalam periode tertentu. Perubahan posisi garis pantai secara menyeluruh antara dua periode garis pantai paling awal dengan yang terbaru, menggambarkan tren abrasi atau akresi yang terjadi. Dari hasil NSM yang diperoleh, terlihat bahwa perubahan garis pantai terbesar yang terjadi di Pantai Klayar selama periode analisis menunjukkan pergeseran hingga 42,6 meter. Bagian pantai mengalami abrasi yang signifikan ditunjukkan nilai NSM negatif yang cukup tinggi, beberapa bagian lainnya mengalami akresi yang ditandai dengan nilai NSM positif. Nilai NSM dapat dilihat dalam grafik distribusi perubahan pada Gambar 2 dan peta perubahan garis pantai berdasarkan nilai NSM pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil perhitungan perubahan garis pantai dengan menggunakan metode DSAS, diperoleh nilai *End Point Rate* (EPR) yang menggambarkan laju perubahan garis pantai di wilayah Pantai Klayar. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa adanya proses abrasi dan juga akresi dengan variasi nilai EPR di sepanjang pesisir. Dalam peta (Gambar 5) nilai EPR berkisar dari -10,7 m/tahun hingga 9,2 m/tahun, yang menunjukkan bahwa beberapa wilayah mengalami abrasi signifikan, sementara yang lain mengalami akresi. Pada periode 2019 – 2023, beberapa bagian pesisir menunjukkan dominasi abrasi dengan nilai EPR negatif. Wilayah dengan nilai EPR positif menandakan adanya akresi akibat sedimentasi. Nilai EPR dapat dilihat dalam grafik distribusi perubahan pada Gambar 4 dan peta perubahan garis pantai berdasarkan nilai EPR pada Gambar 5.

Pasang Surut

Hasil dari pengolahan data pasang surut yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial yang diolah dengan menggunakan metode *admiralty* ditampilkan dalam bentuk grafik elevasi dari pasang surut selama musim peralihan 1 tahun 2022 (Gambar 6), dan juga tabel yang memperlihatkan nilai dari komponen harmonik pasang surut (Tabel 1) dan juga nilai dari elevasi muka air laut beserta nilai *formzahl* (Tabel 2) di Perairan Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.

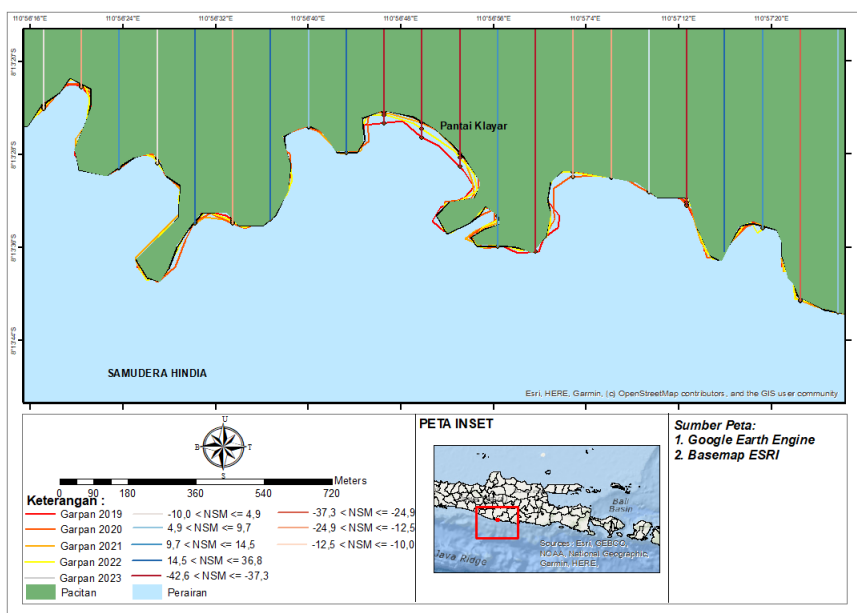


Gambar 2. Grafik NSM (*Net Shoreline Movement*) wilayah Pantai Klayar, Jawa Timur

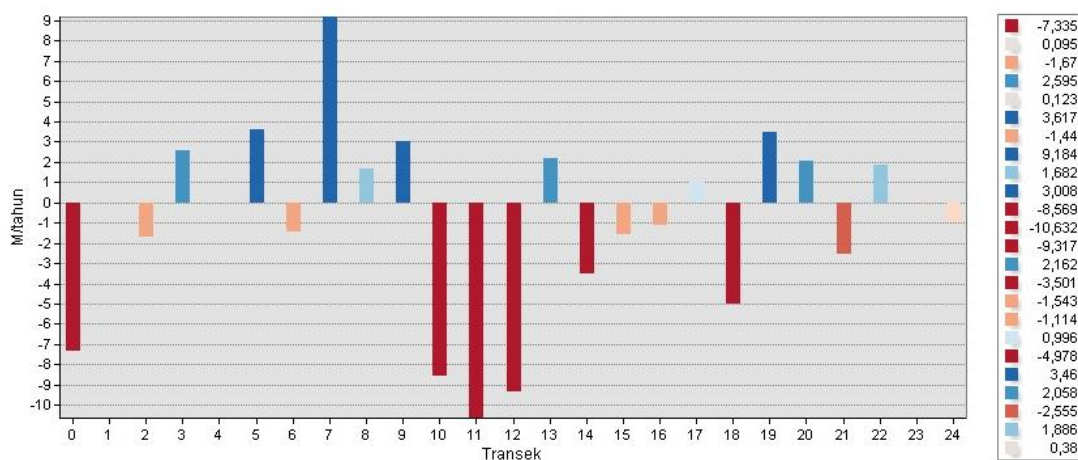
Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai HHWL sebesar 250,33 m, MSL sebesar 139,63 m, LHWL sebesar -250,20 m, dan MLWL sebesar 139,56 m. Selain itu, nilai formzahl yang diperoleh adalah 0,972, yang berperan dalam menentukan tipe pasang surut di wilayah tersebut. Mengacu pada metode *Admiralty*, pasang surut yang terjadi di daerah penelitian dikategorikan sebagai pasang surut campuran condong harian ganda.

Karakteristik Gelombang Berdasarkan Musim

Pola gelombang di Perairan Pacitan Jawa Timur Pada saat musim barat, menunjukkan pengaruh dari angin muson barat yang bertiup dari barat laut ke arah tenggara, mengakibatkan pola gelombang yang bergerak sejalan dengan arah angin. Pada saat memasuki musim Peralihan 1, arah datang gelombang mulai bergeser menjadi dominan dari arah tenggara menuju barat laut. Pada musim Timur, arah datang gelombang didominasi berasal dari arah tenggara menuju barat laut dipengaruhi oleh angin muson timur yang kuat, bertiup dari daratan Australia menuju Asia. Kecepatan angin yang lebih tinggi pada musim ini menyebabkan gelombang signifikan yang terbentuk juga lebih besar dibandingkan musim lainnya, sehingga meningkatkan potensi ombak tinggi di wilayah pesisir Pacitan. Pada musim Peralihan 2, memiliki kesamaan dengan kondisi pada saat musim Peralihan 1, sistem angin mulai berubah dari angin muson timur menuju angin muson barat



Gambar 3. Peta Perubahan Garis Pantai di Pantai Klayar, Jawa Timur Berdasrkan Nilai NSM



Gambar 4. Grafik EPR (*End Point Rate*) wilayah Pantai Klayar, Pacitan

Tabel 1. Komponen Harmonik Pasang Surut Perairan Kabupaten Pacitan Musim Peralihan 1

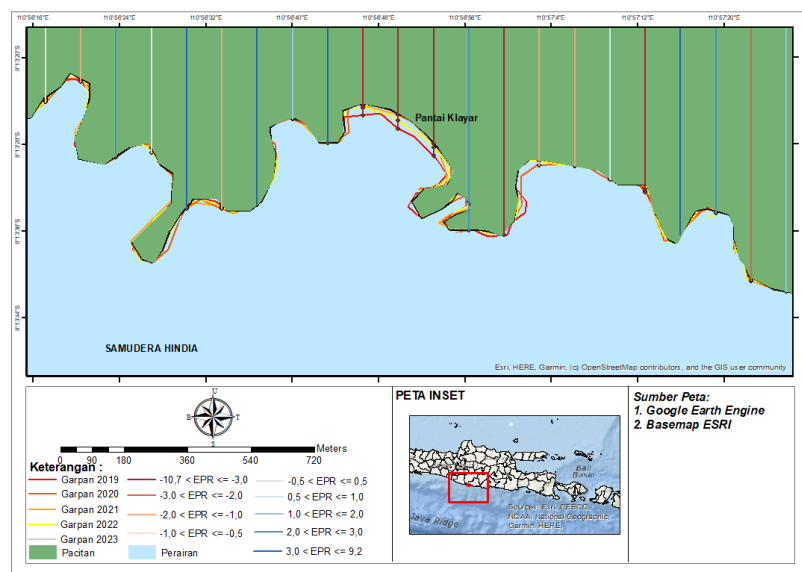
	S_0	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_4	MS_4	K_2	P_1
A (cm)	0,07	89,52	37,35	9,56	66,20	57,19	0,20	0,04	2,615	21,847
Fase (°)		255,0	357,8	108,8	311,9	168,3	151,3	246,1	375,8	311,9

Tabel 2. Elevasi Muka Air Laut Perairan Kabupaten Pacitan Musim Peralihan 1

Nilai Formzahl	MSL (m)	Z0 (m)	HHWL (m)	MHWL (m)	LHWL (m)	MLWL (m)
0.972	139.63	0.07	250.33	139.69	-250.20	139.56

Tabel 3. Tinggi dan Periode Gelombang di Perairan Selatan Jawa tahun 2022

Musim	Hmax	Tmax	HS	TS
Musim Barat	2,91	19,11	1,7	12,7
Musim Peralihan 1	3,20	21,10	1,82	14,2
Musim Timur	3,46	21,36	2,25	14,9
Musim Peralihan 2	3,02	19,07	1,88	13,7



Gambar 5. Peta Perubahan Garis Pantai di Pantai Klayar, Pacitan Berdasrkan Nilai EPR

Berdasarkan Tabel 3, tinggi dan periode gelombang di perairan selatan Jawa selama tahun 2022 menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh musim. Meskipun tinggi gelombang tidak terlalu besar, periode yang panjang menunjukkan gelombang dengan energi yang stabil. Memasuki musim peralihan I menunjukkan gelombang yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan musim sebelumnya. Kondisi paling ekstrem terjadi pada musim timur, di mana Hmax mencapai 3,46 m dan Hs sebesar 2,25 m. Periode gelombang juga tertinggi dengan Tmax 21,36 detik dan Ts 14,9 detik, dipengaruhi oleh angin muson timur yang kuat dari Australia. Pada musim peralihan II, Hmax menurun menjadi 3,02 m dan Hs menjadi 1,88 m, dengan Tmax 19,07 detik dan Ts 13,7 detik. Penurunan ini mencerminkan transisi dari musim timur ke barat, di mana intensitas angin dan energi gelombang mulai melemah. Variabilitas musiman ini berperan penting dalam memahami potensi dampak gelombang terhadap perubahan garis pantai di wilayah pesisir Pacitan.

Tabel 4. Hasil Analisis Granulometri

Stasiun	Berat Sedimen (gr)	Persentase (%)				Keterangan
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung	
1	266.62	14.4	85.6	-	-	<i>Very Fine Gravel</i> <i>Very Coarse Sand</i>
2	274.76	67.2	32.8	-	-	<i>Sandy Very Fine Gravel</i>
3	265.47	11.5	88.5	-	-	<i>Very Fine Gravelly Very Coarse Sand</i>
4	267.22	16	84	-	-	<i>Very Fine Gravelly Very Coarse Sand</i>
5	273.51	1.1	97.8	-	1.1	<i>Very Fine Gavelly</i> <i>Very Coarse Sand</i>
6	265.17	4.6	95.4	-	-	<i>Very Fine Gravelly Very Coarse Sand</i>
7	269.22	18.2	81.8	-	-	<i>Very Fine Gravelly Coarse Sand</i>
8	277.63	0.2	99.8	-	-	<i>Very Fine Gravelly Coarse Sand</i>

Sedimen

Analisis granulometri pada delapan stasiun pengamatan di Pantai Klayar pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sedimen umumnya didominasi oleh fraksi pasir dengan proporsi kerikil yang bervariasi, serta tidak terdeteksinya fraksi lanau dan lempung di hampir seluruh stasiun. Secara keseluruhan, dominasi fraksi pasir di seluruh stasiun, serta rendahnya kandungan lanau dan lempung, mencerminkan karakteristik lingkungan pesisir berenergi tinggi yang dipengaruhi oleh dinamika gelombang dan arus kuat. Keberadaan fraksi kerikil pada beberapa stasiun juga menunjukkan adanya variasi sumber sedimen dan proses transportasi partikel di sepanjang pantai. Hasil klasifikasi sedimen memberikan gambaran detail mengenai karakter substrat dasar yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait proses morfologi pantai dan dinamika pesisir.

Dinamika Garis Pantai

Dinamika garis pantai periode 2019 – 2023 menunjukkan wilayah Pantai Klayar mengalami abrasi dan akresi dengan abrasi lebih dominan terjadi di beberapa area pesisir yang mengalami pengikisan akibat faktor alami seperti gelombang dan arus laut. Proses akresi juga teramati di beberapa bagian pantai, di mana terjadi penambahan daratan akibat pengendapan sedimen yang terbawa oleh arus laut (Gambar 6). Luasan area yang mengalami abrasi dalam periode 2019 hingga 2023 tercatat sebesar 2,97 Ha, sedangkan total luasan area yang mengalami akresi mencapai 2,52 Ha. Meskipun abrasi lebih luas dibandingkan akresi, distribusi perubahan garis pantai ini menunjukkan bahwa dinamika pesisir yang terus berlangsung dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika laut dan juga kondisi lingkungan setempat. Kondisi dinamika pesisir ini juga menunjukkan tingkat kerentanan wilayah pantai ini terutama terhadap abrasi (Rumahorbo *et al.*, 2022).

Menurut Islam *et al.* (2022) gelombang, angin, dan pasang surut merupakan tiga faktor utama yang secara langsung mempengaruhi pergeseran posisi garis pantai yang mengindikasikan terjadinya ketidak seimbangan dalam sistem pesisir. Hasil analisis dengan menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), yang didukung oleh data – data oseanografi seperti arah dan kecepatan angin, memperlihatkan keterkaitan yang kuat antara perubahan garis pantai dengan kondisi laut setempat. Gelombang laut dan angin dominan menjadi pendorong utama mobilitas sedimen yang berkontribusi terhadap pergeseran garis pantai, terutama saat musim-musim dengan gelombang tinggi. Di samping itu, pengaruh pasang surut serta sifat fisik sedimen juga memberikan kontribusi terhadap perubahan tersebut.

Pengaruh Gelombang Terhadap Perubahan Garis Pantai

Hubungan antara dinamika gelombang laut dan distribusi sedimen di Pantai Klayar terlihat jelas dari hasil pengamatan langsung pada titik-titik pengambilan sampel yang tersebar sepanjang garis pantai. Berdasarkan peta lokasi sampling, titik 5 dan 8 yang terletak di bagian barat pantai dan langsung menghadap

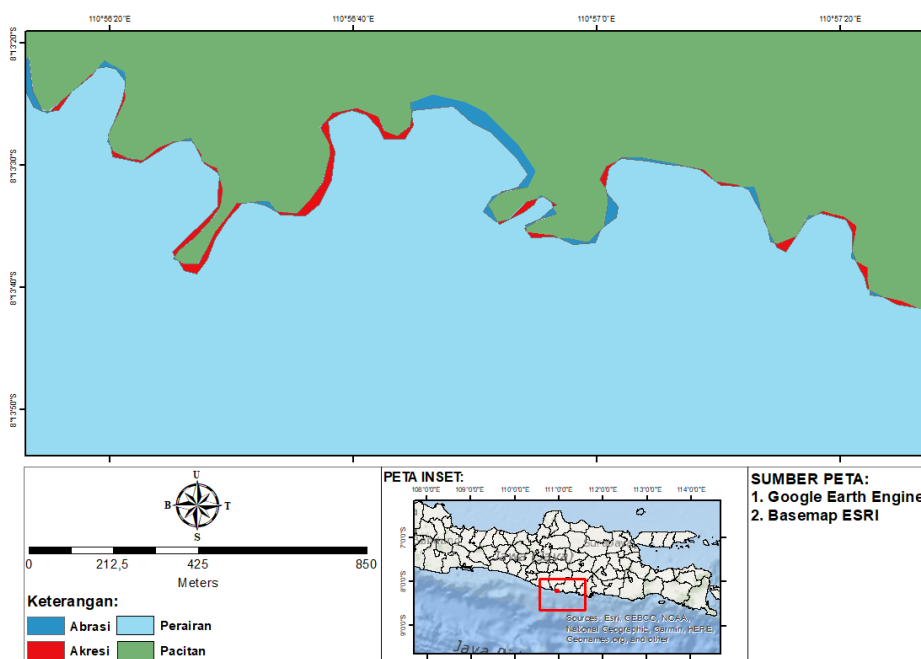
arah dominan datangnya gelombang menunjukkan karakteristik sedimen yang cenderung lebih kasar dan tidak homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa area tersebut menerima energi gelombang yang tinggi, yang mendorong proses erosi dan transportasi sedimen secara aktif. Sebaliknya, pada titik 1 dan 4 yang berada di sisi timur pantai dan relatif terlindung dari gelombang langsung, sedimen yang ditemukan memiliki ukuran lebih halus dengan sebaran yang lebih merata. Perbedaan ini mencerminkan peran energi gelombang dalam menentukan proses akumulasi maupun pencucian sedimen (Cowley & Harris, 2023).

Secara umum, area yang terpapar langsung oleh gelombang kuat mengalami pencucian material halus, sehingga didominasi oleh fraksi sedimen kasar. Sebaliknya, di area yang lebih terlindung dengan energi gelombang lebih rendah, sedimen halus cenderung terendapkan. Distribusi spasial sedimen ini berkaitan erat dengan variasi nilai kecepatan aliran dasar dan stres geser yang dihasilkan oleh gelombang. Dalam kondisi gelombang yang kuat, nilai transport sedimen dekat pantai meningkat dan menurun secara bertahap seiring bertambahnya jarak dari garis pantai. Hal ini sesuai dengan temuan Dudkowska dan Gic-Grusza (2017), yang menyatakan bahwa wilayah dengan paparan gelombang tinggi cenderung mengalami transportasi sedimen aktif dan pencucian fraksi halus, sementara wilayah dengan energi rendah menjadi lokasi utama pengendapan material halus. Dengan demikian, karakteristik fisik sedimen di Pantai Klayar sangat dipengaruhi oleh intensitas dan arah datangnya gelombang, yang membentuk pola distribusi sedimen secara dinamis sepanjang garis pantai.

Pengaruh Pasang Surut Terhadap Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai di Pantai Klayar dipengaruhi oleh dinamika pasang surut air laut yang terjadi secara periodik. Di bagian timur pantai, pola perubahan garis pantai cenderung stabil dengan kecenderungan akresi karena wilayah ini relatif terlindung dari gelombang besar. Pada fase surut, sedimentasi material halus lebih dominan di zona intertidal yang lebih luas, sehingga proses pengendapan sedimen berjalan optimal. Kondisi ini didukung oleh lemahnya energi gelombang saat mencapai area tersebut, sesuai dengan temuan Xing *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa area intertidal yang luas mendukung akumulasi sedimen akibat penurunan kecepatan arus dan dominasi transportasi *landward*.

Di bagian tengah pantai, pola perubahan garis pantai lebih dinamis dengan kombinasi abrasi dan akresi yang terjadi secara bergantian. Variasi morfologi dasar pantai dan paparan gelombang yang lebih langsung menyebabkan sedimentasi dan erosi terjadi dalam siklus pasang surut yang cepat, sesuai dengan penelitian D'alpaos *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa kombinasi variabel stokastik seperti gelombang dan arus



Gambar 6. Dinamika Pantai Klayar 2019 – 2023.

pasang dapat memicu fluktuasi morfologi pantai secara periodik dalam jangka panjang. Sebaliknya, bagian barat pantai mengalami abrasi yang lebih kuat dan konsisten akibat paparan langsung terhadap gelombang laut berenergi tinggi tanpa banyak perlindungan alami. Pada saat pasang tinggi, gelombang membawa energi penuh hingga ke batas daratan sehingga mempercepat proses erosi. Selain itu, pada fase surut ekstrem, substrat pantai yang terbuka rentan terhadap pelapukan mekanis akibat angin dan sisa energi gelombang, yang memperparah degradasi pantai. Hal ini sejalan dengan kajian Utomo *et al.* (2022), dan Purbani *et al.* (2019), yang menyebutkan bahwa wilayah pesisir yang terekspos langsung mengalami percepatan erosi dan peningkatan kerentanan fisik tanah.

Secara keseluruhan, interaksi pasang surut dengan energi gelombang yang bervariasi di sepanjang Pantai Klayar menghasilkan pola perubahan garis pantai yang berbeda-beda, dengan kecenderungan akresi di bagian timur, dinamika bergantian di tengah, dan abrasi kuat di bagian barat.

KESIMPULAN

Selama periode 2019 hingga 2023, garis pantai di Pantai Klayar Jawa Timur mengalami perubahan garis pantai baik berupa abrasi maupun akresi. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa luas abrasi mencapai sekitar 2,97 hektar, sementara akresi terjadi seluas kurang lebih 2,52 hektar. Perubahan ini terjadi secara tidak merata, dengan abrasi yang dominan terjadi di bagian barat pantai yang terbuka langsung dengan laut lepas. Perhitungan dengan DSAS juga menunjukkan nilai EPR bervariasi dari -10,7 m/tahun hingga 9,2 m/tahun, serta nilai pergeseran garis pantai (NSM) yang mencapai hingga 42,6 meter. Proses abrasi dan akresi di Pantai Klayar Jawa Timur berjalan cukup aktif dan dipengaruhi oleh faktor oseanografi setempat, seperti gelombang, angin, pasang surut, dan karakteristik sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Adping, S., Handayani, I. G. A. K. R., & Candrakirana, R. 2024. Efektivitas Implementasi Kebijakan Izin Pendirian Bangunan Homestay di Sempadan Pantai Klayar Kabupaten Pacitan. *Jembatan Hukum: Kajian Ilmu Hukum, Sosial dan Administrasi Negara*, 1(3): 269–280.
- Burningham, H., & French, J. 2017. Understanding coastal change using shoreline trend analysis supported by cluster-based segmentation. *Geomorphology*, 282: 131–149. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.12.029
- Cowley, & Harris. 2023. Wave-driven sediment transport potential on a tropical coast: Implications for the northeastern Australian sediment budget. *Marine Geology*, 463: 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2023.107104>
- D'Alpaos, A., Tognin, D., Tommasini, L., D'Alpaos, L., Rinaldo, A., & Carniello, L. 2024. Statistical characterization of erosion and sediment transport mechanics in shallow tidal environments – Part 1: Erosion dynamics. *Earth Surface Dynamics*, 12(1): 181–199.
- Dudkowski, A., & Gic-Grusza, G. 2017. Wave-induced Bedload Transport – A study of the southern Baltic Coastal Zone. *Geologos*, 23(1): 1–14.
- Islam, H. S., Suryoputro, A. A. D., & Handoyo, G. 2022. Studi Perubahan Garis Pantai 2017–2021 di Pesisir Kabupaten Batang, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4): 19–33.
- Koulibaly, & Ayoade. 2021. The application of GIS and remote sensing in a spatiotemporal analysis of coastline retreat in Rufisque, Senegal. *Geomatics and Environmental Engineering*, 15(3): 55–80. <https://doi.org/10.7494/geom.2021.15.3.55>
- Nath, A., Koley, B., Saraswati, S., Bhatta, B., & Ray, B. C. 2021. Shoreline change and its impact on land use pattern and vice versa – A critical analysis in and around DIGHA area between 2000 and 2018 using geospatial techniques. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29(1): 331–348. <https://doi.org/10.47836/pjst.29.1.19>
- Purbani, D., Salim, H. L., Kusuma, L. P. A. S. C., Tussadiah, A., & Subandriyo, J. 2019. Ancaman Gelombang Ekstrem dan Abrasi Pada Penggunaan Lahan di Pesisir Kepulauan Karimunjawa (Studi Kasus: Pulau Kemujan, Pulau Karimunjawa, Pulau Menjangan Besar dan Pulau Menjangan Kecil). *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(1): 33–45.
- Rumahorbo, B., Warpur, M., Hamuna, B., & Tanjung, R. 2022. Analysis of shoreline changes along the coastal area of Biak Island (Biak Numfor Regency, Indonesia) using multitemporal Landsat images. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(1): 2502–2458.

-
- Setyawan, F. O., Sari, W. K., & Aliviyanti, D. 2021. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2): 368–377.
- Utomo, G. J., Atmodjo, W., Sugianto, D. N., Widiaratih, R., & Ismanto, R. 2022. Efektivitas Struktur Kerapatan Terhadap Laju Sedimentasi dan Jenis Sedimen Pada Hybrid Engineering di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 47–58.
- Wawan, Harjanti, D. T., & Sulistyarini. 2022. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode DSAS di Desa Karimunting Kabupaten Bengkayang. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 6(1): 121–131.
- Xing, F., Wang, Y. P., & Jia, J. 2022. Hydrodynamics and Sediment Transport Patterns on Intertidal Flats Along Middle Jiangsu Coast. *Anthropocene Coasts*, 5(12): 1–19.