

Dinamika Perubahan Garis Pantai Pesisir Pangale Mamuju Tengah 2020-2025 Berbasis Citra PlanetScope

Arpin Hardiana^{1*}, Fathuddin², Ardi Eko Mulyawan³

¹Program Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, Sulawesi Selatan 90245, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kelautan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

³Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa
Jl. Perintis Kemerdekaan VIII, Makassar, Sulawesi Selatan 90245, Indonesia
Corresponding author, e-mail: arpinhardi@gmail.com

ABSTRAK: Perubahan garis pantai merupakan indikator utama dinamika wilayah pesisir yang dipengaruhi oleh interaksi proses oseanografi, dinamika sedimen, morfologi pantai, dan aktivitas antropogenik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika perubahan garis pantai di pesisir Kecamatan Pangale, Kabupaten Mamuju Tengah, selama periode 2020-2025. Metode yang digunakan adalah analisis penginderaan jauh berbasis citra satelit PlanetScope dengan resolusi spasial 3 m. Ekstraksi garis pantai dilakukan menggunakan *Normalized Difference Water Index* (NDWI), sedangkan analisis perubahan garis pantai dilakukan secara kuantitatif menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) melalui parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). Analisis hidrodinamika pesisir didukung oleh data pasang surut dan angin musiman untuk mengidentifikasi faktor pengontrol perubahan garis pantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar segmen pantai mengalami pergeseran garis pantai ke arah darat, yang mengindikasikan abrasi sebagai proses dominan. Nilai abrasi maksimum berdasarkan NSM mencapai -173.55 m dengan rata-rata -23.65 m, sedangkan akresi hanya terjadi secara lokal dengan nilai rata-rata 12.59 m. Analisis EPR menunjukkan laju abrasi maksimum sebesar -33.03 m/tahun dengan rata-rata -4.57 m/tahun, yang secara konsisten lebih besar dibandingkan laju akresi. Dominasi angin barat hingga barat laut serta karakteristik pasang surut campuran condong harian ganda berkontribusi terhadap peningkatan energi gelombang dan transport sedimen sejajar pantai. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa pesisir Kecamatan Pangale menunjukkan dinamika garis pantai yang didominasi oleh proses erosi, sehingga diperlukan pengelolaan pesisir yang adaptif dan berbasis proses sebagai dasar mitigasi abrasi dan perencanaan pesisir berkelanjutan.

Kata kunci: Perubahan garis pantai; PlanetScope; NDWI; DSAS; Abrasi pesisir

Dynamics of Shoreline Change in the Pangale Coastal Area, Central Mamuju 2020–2025 Based on PlanetScope Imagery

ABSTRACT: Changes in the coastline are a key indicator of coastal area dynamics, influenced by the interaction of oceanographic processes, sediment dynamics, beach morphology, and human activities. This study aims to analyze the dynamics of shoreline changes along the coast of Pangale Subdistrict, Central Mamuju Regency, during the period 2020–2025. The method used is remote sensing analysis based on PlanetScope satellite imagery with a spatial resolution of 3 meters. Shoreline extraction was conducted using the *Normalized Difference Water Index* (NDWI), while quantitative analysis of shoreline changes was carried out using the *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) through the parameters of *Net Shoreline Movement* (NSM) and *End Point Rate* (EPR). Coastal hydrodynamic analysis was supported by tidal and seasonal wind data to identify the controlling factors of shoreline change. The results show that most beach segments experienced landward shifts of the shoreline, indicating abrasion as the dominant process. The maximum abrasion value based on NSM reached -173.55 m with an average of -23.65 m, while accretion occurred only locally with an average value of 12.59 m. EPR analysis revealed a maximum abrasion rate of -33.03 m/year with an average of -4.57 m/year, which is consistently higher than the accretion

rate. The dominance of westerly to northwesterly winds and the characteristics of mixed, mainly semidiurnal tides contribute to increased wave energy and alongshore sediment transport. Overall, the results confirm that the coastline of Pangale Subdistrict is characterized by erosion-dominated shoreline dynamics, highlighting the need for adaptive and process-based coastal management as the basis for abrasion mitigation and sustainable coastal planning in the future.

Keywords: Coastline changes; PlanetScope; NDWI; DSAS; Coastal abrasion

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan sistem lingkungan yang dinamis akibat interaksi proses darat, laut, atmosfer serta memiliki peran ekologis dan sosial ekonomi yang strategis (Asensio-Montesinos *et al.* 2024; Pham *et al.* 2024). Namun, kawasan ini juga sangat rentan terhadap tekanan alamiah dan antropogenik, yang salah satu indikator utamanya tercermin dari perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai, baik berupa abrasi maupun akresi, merupakan respon geomorfologis pantai terhadap pengaruh faktor oseanografi, kondisi morfologi pantai, serta aktivitas manusia (Almar *et al.* 2023). Dampak perubahan tersebut meliputi hilangnya lahan pesisir, degradasi ekosistem pantai, meningkatnya risiko bencana pesisir, dan terganggunya keberlanjutan aktivitas masyarakat pesisir (Dede *et al.* 2023; Liu *et al.* 2024).

Kecamatan Pangale, Kabupaten Mamuju Tengah, merupakan wilayah pesisir yang berhadapan langsung dengan Selat Makassar dan memiliki karakteristik pantai terbuka dengan dinamika oseanografi yang relatif tinggi. Perkembangan aktivitas perikanan, permukiman, dan infrastruktur pesisir di wilayah ini berpotensi meningkatkan tekanan terhadap lingkungan pantai. Meskipun demikian, kajian spasial temporal yang bersifat kuantitatif mengenai perubahan garis pantai di Kecamatan Pangale masih terbatas, khususnya yang memanfaatkan data resolusi tinggi secara konsisten dalam periode waktu menengah. Selain karakteristik pantai terbuka, urgensi penelitian di Kecamatan Pangale berkaitan dengan keberadaan infrastruktur dan aktivitas masyarakat yang terkonsentrasi di koridor pesisir. Wilayah ini dilalui jalur Trans Sulawesi serta memiliki fasilitas pelayanan dasar dan permukiman pada desa-desa pesisir, sehingga perubahan garis pantai berpotensi menimbulkan gangguan terhadap aksesibilitas, keselamatan permukiman, dan fungsi pelayanan publik apabila abrasi terus berlangsung. Keberadaan fasilitas pendidikan di koridor jalan Trans Mamuju–Topoyo dan layanan kesehatan di pusat Kecamatan Pangale menunjukkan bahwa dinamika garis pantai di wilayah ini tidak hanya berdampak pada aspek fisik pantai, tetapi juga memiliki implikasi langsung terhadap sistem infrastruktur dan aktivitas sosial ekonomi pesisir.

Pemantauan perubahan garis pantai secara konvensional memiliki keterbatasan dalam cakupan spasial, efisiensi waktu, dan biaya. Oleh karena itu, teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi pendekatan yang efektif dalam kajian dinamika pesisir (Bolbot *et al.* 2022; Savastano *et al.* 2024). Citra PlanetScope menawarkan keunggulan utama berupa resolusi spasial tinggi 3 m dan resolusi temporal harian, yang memungkinkan ekstraksi garis pantai secara lebih detail dan konsisten dibandingkan citra resolusi menengah (Smith *et al.* 2021; Andreatta *et al.* 2022; Razzak *et al.* 2023). Keunggulan ini sangat penting untuk mendeteksi perubahan garis pantai pada skala lokal, terutama di wilayah dengan dinamika pesisir yang cepat seperti pantai terbuka (Lake *et al.* 2022; Cho *et al.* 2023; Tong *et al.* 2023).

Analisis perubahan garis pantai dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), yang merupakan metode kuantitatif terstandar untuk menghitung laju dan tren perubahan garis pantai berdasarkan data multi-temporal (Quang *et al.* 2021; Mishra *et al.* 2022). Integrasi citra PlanetScope dan DSAS menjadi pendekatan yang relatif baru dalam kajian perubahan garis pantai di wilayah pesisir Indonesia, khususnya untuk periode pasca 2020, karena memungkinkan analisis perubahan dengan tingkat ketelitian spasial dan temporal yang lebih tinggi (Ghorai & Mahapatra 2020; Arjasakusuma *et al.* 2021; Smith *et al.* 2021). Integrasi citra PlanetScope multi-temporal dan DSAS memungkinkan analisis perubahan garis pantai dengan ketelitian spasial

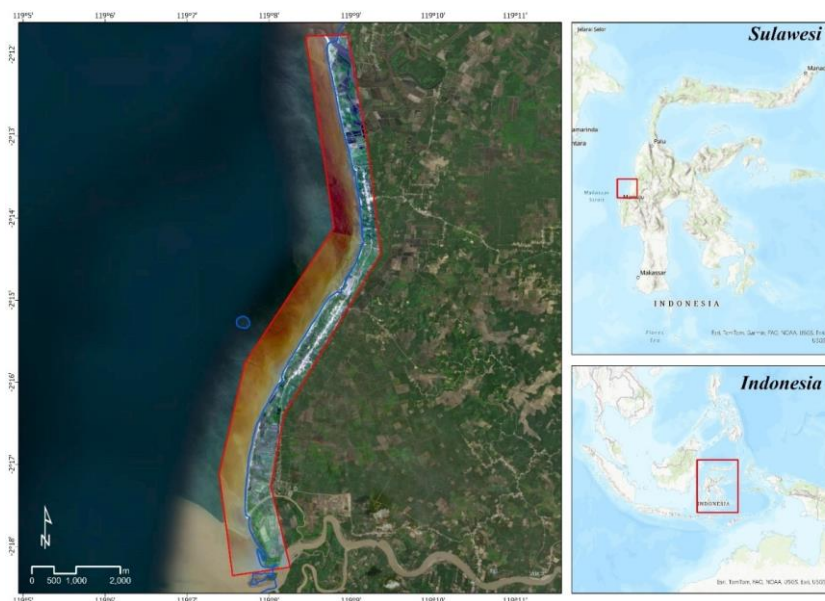
dan temporal yang lebih tinggi. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus kajian di pesisir Kecamatan Pangale, Sulawesi Barat, yang hingga saat ini masih relatif jarang dikaji secara kuantitatif menggunakan citra resolusi tinggi multi-temporal periode pasca 2020. Studi terkini di Sulawesi Barat umumnya masih berfokus pada wilayah pesisir lain, seperti Banggae dan Banggae Timur di Kabupaten Majene, yang menggunakan citra resolusi menengah Landsat 8 (Putri & Mataburu, 2024). Dibandingkan studi tersebut, penelitian ini menawarkan kontribusi baru melalui penggunaan citra PlanetScope resolusi 3 m untuk periode 2020–2025 pada pantai terbuka tropis di Pangale, sehingga memungkinkan identifikasi pola abrasi-akresi yang lebih rinci pada skala lokal serta memberikan pembaruan spasial-temporal bagi kajian perubahan garis pantai di Sulawesi Barat.

Sejalan dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk, mengidentifikasi pola spasial perubahan garis pantai di Kecamatan Pangale selama periode 2020-2025, dan menghitung laju dan tren abrasi-akresi menggunakan pendekatan DSAS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pemahaman dinamika sistem pantai terbuka tropis, sekaligus menjadi dasar pendukung bagi perencanaan pesisir dan upaya mitigasi abrasi yang berkelanjutan di Kabupaten Mamuju Tengah.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan di wilayah pesisir Kecamatan Pangale, Kabupaten Mamuju Tengah, Provinsi Sulawesi Barat (Gambar 1). Wilayah ini merupakan pantai terbuka yang berhadapan langsung dengan Selat Makassar dan dipengaruhi oleh dinamika oseanografi regional. Analisis dilakukan secara spasial-temporal menggunakan data multi-tahun (2020-2025).

Penelitian ini mengintegrasikan data spasial dan oseanografi dari berbagai sumber untuk menganalisis dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai, menggunakan citra PlanetScope sebagai sumber data utama. PlanetScope adalah konstelasi satelit dengan 149 satelit aktif yang menyediakan citra resolusi tinggi melalui Program Pendidikan dan Penelitian Planet (<https://www.planet.com/explorer>). Citra generasi ketiga, SuperDove (PSB.SD), memiliki delapan pita spektral dan resolusi spasial 3 m. Produk PlanetScope Level 3B telah menjalani koreksi geometrik dan radiometrik serta memiliki resolusi temporal harian, mendukung pemantauan berkelanjutan di daerah pesisir. Sebanyak 5 citra dari tahun 2020 hingga 2025 digunakan dalam penelitian ini (Tabel 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian di pesisir Kecamatan Pangale, Mamuju Tengah

Data angin juga digunakan dalam penelitian ini mencakup periode 2020-2025 dan dimanfaatkan untuk menganalisis pengaruh dinamika angin terhadap perubahan garis pantai (Tabel 2). Data angin diperoleh dari *Climate Data Store* (CDS) Copernicus, yang menyediakan data reanalisis atmosfer dengan resolusi temporal dan spasial yang konsisten untuk mendukung analisis proses oseanografis dan pesisir.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Ekstraksi garis pantai dilakukan menggunakan pendekatan semi-otomatis melalui klasifikasi darat dan air berbasis Normalized Difference Water Index (NDWI). Nilai NDWI positif diinterpretasikan sebagai badan air, sedangkan nilai negatif diinterpretasikan sebagai daratan. Hasil klasifikasi selanjutnya dikonversi menjadi data vektor garis pantai, kemudian dilakukan koreksi visual untuk meningkatkan ketelitian posisi garis pantai, dengan persamaan berikut (McFeeters, 1995):

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Keterangan: *Green* = nilai reflektansi pada kanal hijau; *NIR* = nilai reflektansi pada kanal inframerah dekat.

Nilai NDWI positif digunakan untuk mengidentifikasi badan perairan, sedangkan nilai negatif merepresentasikan area daratan. Hasil klasifikasi selanjutnya dikonversi menjadi vektor garis pantai dan disempurnakan melalui koreksi visual untuk meningkatkan ketelitian spasial. Data angin diperoleh dari *Copernicus Climate Data Store* dalam bentuk komponen kecepatan angin *u* dan *v* beresolusi temporal per jam dengan satuan m/s selama periode 2020–2025. Dataset berformat NetCDF (nc) dikonversi ke format teks menggunakan perangkat lunak ODV 5.8.3, kemudian diolah dengan Microsoft Excel untuk menghitung kecepatan serta arah angin. Pola distribusi angin divisualisasikan dalam bentuk diagram mawar angin menggunakan perangkat lunak WR. Plot View 8.0.2. Data pasang surut diperoleh dari laman resmi Badan Informasi Geospasial (srgi.big.go.id/tides) berupa tinggi muka air laut per jam pada setiap musim selama periode 2020–2025. Analisis pasang surut dilakukan menggunakan metode *Least Square* untuk memperoleh parameter LLWL, MSL, HHWL, serta nilai *Formzahl*. Hasil pengolahan disajikan dalam bentuk grafik pasang surut dan digunakan untuk menentukan tipe pasang surut berdasarkan nilai *Formzahl* yang dihasilkan.

Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). *Baseline* dibuat sejajar dengan garis pantai sebagai garis referensi, kemudian transek dibuat tegak lurus terhadap *baseline* dengan jarak antar transek tertentu. Perhitungan perubahan garis pantai dilakukan menggunakan dua parameter utama, yaitu *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR) yang dihitung secara otomatis oleh DSAS berdasarkan posisi garis pantai multi-temporal pada setiap transek. *Net Shoreline Movement* (NSM) digunakan untuk menunjukkan besarnya pergeseran total garis pantai antara posisi garis pantai terlama dan terbaru pada masing-masing transek. Secara matematis, NSM dirumuskan sebagai berikut (Burda *et al.*, 2022):

$$NSM = X_{akhir} - X_{awal}$$

Keterangan: X_{akhir} = posisi garis pantai pada tahun terakhir (m), dan X_{awal} = merupakan posisi garis pantai pada tahun awal (m). Nilai NSM positif menunjukkan pergeseran garis pantai ke arah laut (akresi), sedangkan nilai negatif menunjukkan pergeseran garis pantai ke arah darat (abrasi).

End Point Rate (EPR) digunakan untuk menghitung laju perubahan garis pantai per tahun berdasarkan selisih posisi garis pantai awal dan akhir. Secara matematis, EPR dirumuskan sebagai berikut (Burda *et al.*, 2022):

$$EPR = (X_{akhir} - X_{awal}) / \Delta t$$

Keterangan: X_{akhir} = posisi garis pantai pada tahun terakhir (m), X_{awal} = posisi garis pantai pada tahun awal (m), dan Δt = selang waktu pengamatan (tahun). Nilai EPR dinyatakan dalam satuan meter per tahun (m/tahun). Nilai EPR positif menunjukkan terjadinya akresi, sedangkan nilai EPR negatif menunjukkan abrasi atau erosi pantai.

Parameter NSM memberikan informasi mengenai besarnya perubahan garis pantai secara kumulatif, sedangkan EPR memberikan informasi mengenai intensitas atau kecepatan perubahan garis pantai dalam satuan waktu tertentu. Untuk meningkatkan keandalan hasil ekstraksi dan analisis perubahan garis pantai berbasis citra satelit, penelitian ini dilengkapi dengan validasi lapangan (*ground truth*). Survei lapangan dilakukan pada beberapa segmen pantai berdasarkan hasil interpretasi awal citra PlanetScope dengan menggunakan 4 titik validasi yang ditetapkan untuk mewakili kondisi garis pantai di wilayah penelitian. Posisi garis pantai pada masing-masing titik validasi didokumentasikan menggunakan koordinat geografis berbasis *Global Positioning System* (GPS) disertai pengamatan visual terhadap kondisi morfologi pantai. Hasil observasi lapangan kemudian dibandingkan secara spasial dengan vektor garis pantai hasil ekstraksi NDWI multi-temporal untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian pola perubahan yang teridentifikasi. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa pergeseran garis pantai yang terdeteksi dari citra satelit mencerminkan perubahan morfologi pantai yang aktual di lapangan serta meminimalkan potensi kesalahan interpretasi citra.

Tabel 1. Waktu akuisisi citra PlanetScope 2020-2025

Waktu Akuisisi	Tahun	Sensor	Platform Satelit	Resolusi Spasial	Jumlah Band
17 Juni 2020	2020	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band
29 Juni 2021	2021	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band
24 Juni 2022	2022	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band
15 Juni 2023	2023	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band
25 Juni 2024	2024	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band
19 Juni 2025	2025	SuperDove	PlanetScope	3 m	4 band

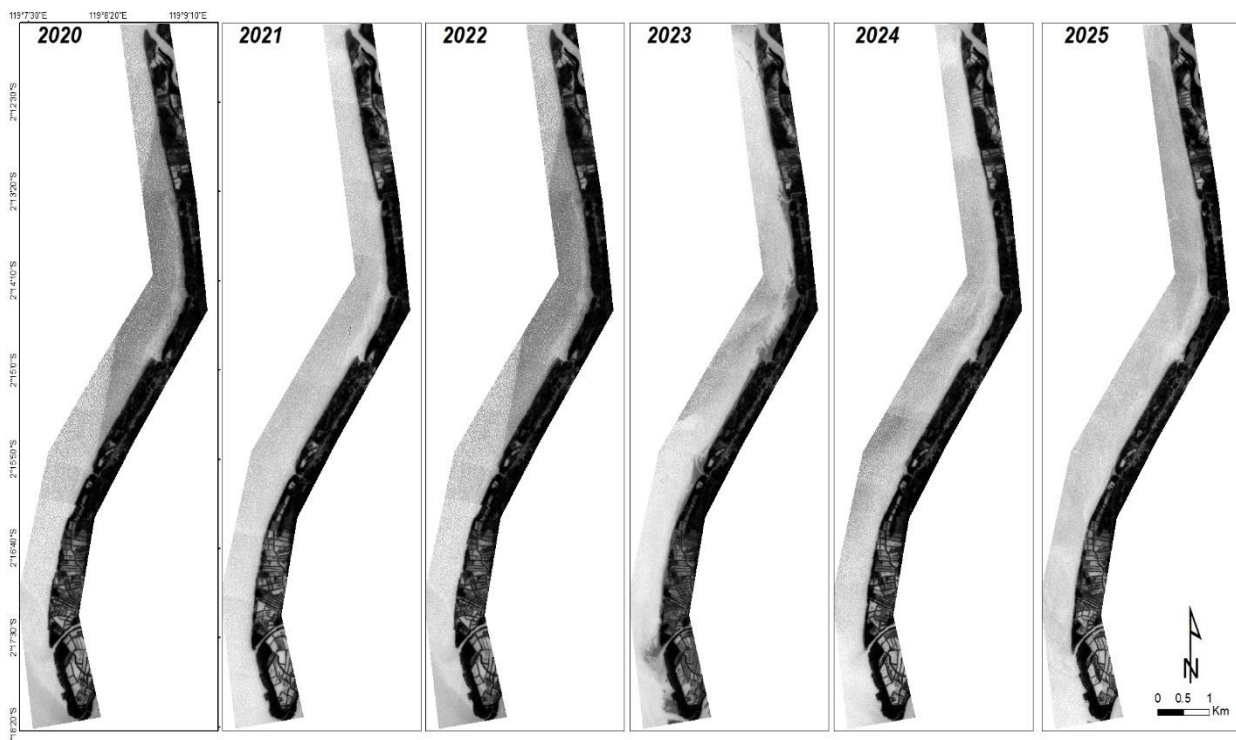
Tabel 2. Waktu akuisisi data angin 2020-2025

Waktu Akuisisi Data Angin						Resolusi Spasial	Resolusi Temporal
2020	2021	2022	2023	2024	2025		
Januari	Januari	Januari	Januari	Januari	Januari	0,25° × 0,25°	Bulanan
Februari	Februari	Februari	Februari	Februari	Februari		
Maret	Maret	Maret	Maret	Maret	Maret		
April	April	April	April	April	April		
Mei	Mei	Mei	Mei	Mei	Mei		
Juni	Juni	Juni	Juni	Juni	Juni		
Juli	Juli	Juli	Juli	Juli	Juli		
Agustus	Agustus	Agustus	Agustus	Agustus	Agustus		
September	September	September	September	September	September		
Oktober	Oktober	Oktober	Oktober	Oktober	Oktober		
November	November	November	November	November	November		
Desember	Desember	Desember	Desember	Desember	Desember		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perubahan garis pantai menggunakan NDWI pada periode 2020–2025 menunjukkan dinamika spasial dan temporal yang jelas (Gambar 2). Ekstraksi garis pantai memperlihatkan bahwa sebagian besar segmen mengalami pergeseran ke arah darat, menandakan abrasi sebagai proses dominan, terutama pada pantai yang terbuka terhadap gelombang (Salaudin *et al.* 2018; Vallarino Castillo *et al.* 2022; Haddaoui *et al.* 2025). Akresi hanya terjadi secara lokal dan diduga berkaitan dengan suplai sedimen fluvial dari sungai-sungai yang bermuara ke pesisir Pangale. Dugaan ini sejalan dengan kajian di Mamuju Tengah yang menunjukkan adanya sedimentasi di wilayah muara serta pergeseran garis pantai sebagai bagian dari dinamika pesisir setempat (Paddiyatu, 2017). Selain itu, Noor *et al.* (2020) melaporkan bahwa muara sungai di pesisir barat Sulawesi Barat memiliki muatan sedimen yang tinggi, sehingga berpotensi menjadi sumber material ke zona pantai. Setelah mencapai pantai, sedimen tersebut kemungkinan didistribusikan kembali oleh arus dan gelombang musiman, sehingga pada segmen tertentu terjadi pengendapan, sedangkan pada segmen yang lebih terbuka abrasi tetap lebih dominan (Boye, Baffoe & Ketibuah, 2022; Rosalina *et al.*, 2024).

Hasil analisis pasang surut selama periode pengamatan 39 jam menunjukkan nilai LLWL sebesar $-0,481$ m, MSL sebesar $0,026$ m, dan HHWL sebesar $0,742$ m, dengan rentang pasang surut sekitar $1,22$ m (Gambar 3). Nilai Formzahl (F) sebesar $1,41$ mengindikasikan bahwa tipe pasang surut di lokasi penelitian tergolong pasang surut campuran condong harian ganda, yang ditandai oleh terjadinya dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan tinggi muka air yang tidak sama. Kondisi ini menyebabkan terdapat dua periode pasang harian yang berpotensi meningkatkan serangan gelombang ke pantai, namun waktu yang paling kritis terhadap erosi umumnya terjadi pada pasang tinggi yang lebih tinggi (*highest tide*), terutama jika bertepatan dengan gelombang berenergi besar atau fase *spring tide*. Pada saat tersebut, kenaikan muka air dan *run-up* memungkinkan gelombang menjangkau bagian pantai yang lebih tinggi dan memicu penggerusan yang lebih intensif.



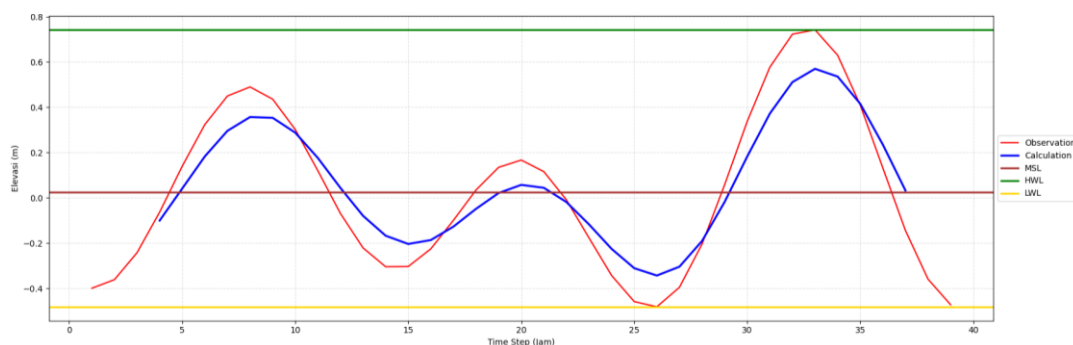
Gambar 2. Normalized Difference Water Index (NDWI) tahun 2020-2025

Hasil analisis *windrose* menunjukkan bahwa pola angin di pesisir Kecamatan Pangale didominasi oleh angin sektor barat hingga barat laut sepanjang tahun (Gambar 4). Kecamatan Pangale yang berhadapan langsung dengan Selat Makassar, arah angin tersebut menunjukkan adanya lintasan perairan terbuka (*fetch*) yang relatif panjang, sehingga pertumbuhan tinggi dan energi gelombang menjadi lebih efektif. Secara fisik, semakin besar *fetch*, semakin besar pula energi gelombang yang mencapai pantai, sehingga laju erosi cenderung meningkat pada segmen yang terekspos langsung (Palermo *et al.*, 2024). Kondisi ini sejalan dengan karakteristik Selat Makassar, di mana gelombang tinggi mengikuti pola monsun dan meningkat ketika angin bertiup persisten dalam arah yang sama, karena *fetch* yang terbentuk menjadi lebih panjang, sedangkan lokasi yang lebih terlindung menunjukkan tinggi gelombang lebih rendah akibat *fetch* yang memendek (Labania *et al.*, 2021; Mahagnyana *et al.*, 2024). Ketika gelombang tersebut menghantam pesisir Kecamatan Pangale yang merupakan perairan terbuka, proses pecah gelombang dan arus sejajar pantai akan melepaskan serta memindahkan sedimen dari garis pantai, sehingga abrasi menjadi lebih intensif (Pang *et al.*, 2023). Kerentanan ini diperkuat oleh karakteristik sedimen pada perairan dangkal yang didominasi pasir halus hingga lumpur berpasir, yaitu material tidak terkonsolidasi yang lebih mudah erosi, di Kecamatan Pangale sendiri telah dilaporkan tumbangannya vegetasi pantai dan kerusakan tanggul di Desa Lamba-Lamba akibat hantaman gelombang yang berlangsung terus-menerus (Paddiyatu, 2018).

Pada Musim Timur, arah angin cenderung lebih bervariasi dengan resultan vektor sekitar 301° dan intensitas angin relatif lebih rendah dibandingkan Musim Barat. Kondisi ini menghasilkan energi gelombang yang lebih moderat, sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan sedimen dan akresi pada beberapa bagian pantai yang memiliki kemiringan landai atau terlindungi secara morfologi. Sementara itu, Musim Peralihan II menunjukkan variabilitas arah angin yang lebih tinggi dengan resultan vektor sekitar 323° , yang mengindikasikan perubahan cepat arah gelombang dan arus pantai. Fase transisi ini memicu redistribusi sedimen sepanjang pantai dan menghasilkan pola perubahan garis pantai yang lebih dinamis, baik berupa abrasi maupun akresi bersifat lokal. Secara keseluruhan, dominasi angin baratan dan variabilitas musiman angin berperan penting dalam mengontrol dinamika gelombang, arus pantai, dan transport sedimen di pesisir Kecamatan Pangale.

Pada Musim Barat, angin di pesisir Kecamatan Pangale didominasi oleh kecepatan rendah (0,5–2,1 m/s; 75,40%) dengan arah utama dari sektor barat, barat daya, dan barat laut (Tabel 3). Dominasi angin baratan ini mencerminkan pengaruh monsun barat Selat Makassar yang berperan dalam pembangkitan gelombang dan arus sejajar pantai, sehingga meningkatkan transport sedimen dan berkontribusi terhadap kecenderungan abrasi garis pantai pada segmen pantai terbuka selama musim tersebut.

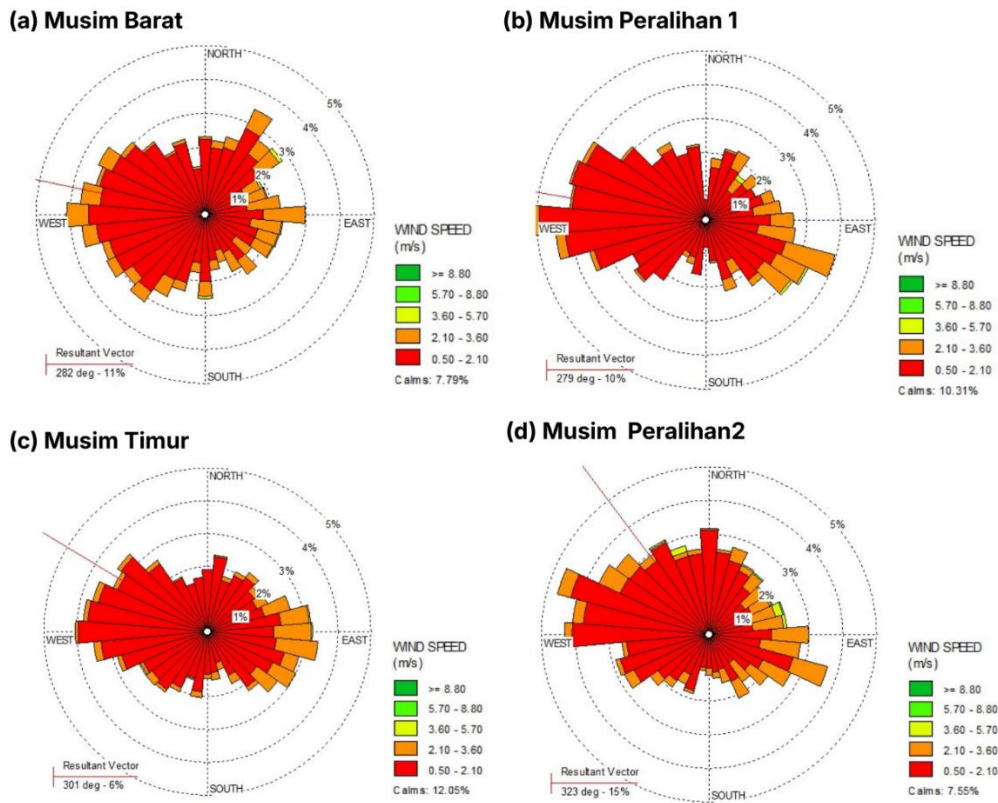
Pada Musim Peralihan I, angin di pesisir Kecamatan Pangale tetap didominasi oleh kecepatan rendah (0,5–2,1 m/s; 80,71%) dengan kontribusi sedang pada kelas 2,1–3,6 m/s (10,32%). Arah angin utama berasal dari sektor barat (19,06%), barat laut (13,25%), dan tenggara (13,59%) (Tabel 4), menunjukkan variabilitas arah yang lebih tinggi dibandingkan musim utama. Kondisi ini mengindikasikan fluktuasi arah gelombang dan arus pantai yang memicu redistribusi sedimen sepanjang pantai, sehingga menghasilkan dinamika perubahan garis pantai yang lebih tidak stabil.



Gambar 3. Grafik pasang surut di Perairan Kecamatan Pangale

Tabel 3. Persentase arah dan kecepatan angin musim barat Tahun 2020-2025 di Pesisir Kecamatan Pangale

Arah	Kecepatan Angin m/s					Total (%)
	0,5–2,1	2,1–3,6	3,6–5,7	5,7–8,8	≥8,8	
Utara	8,69	0,62	0,00	0,00	0,00	10,21
Timur Laut	9,38	2,25	0,14	0,00	0,00	12,89
Timur	6,59	3,80	0,11	0,00	0,00	11,16
Tenggara	6,37	2,46	0,04	0,00	0,00	10,07
Selatan	7,10	1,30	0,04	0,00	0,00	9,89
Barat Daya	11,55	1,38	0,00	0,00	0,00	14,38
Barat	14,38	1,77	0,00	0,00	0,00	17,78
Barat Laut	11,34	0,69	0,00	0,00	0,00	13,62
Total	75,40	14,27	0,33	0,00	0,00	100,00



Gambar 4. Mawar angin bulanan berdasarkan musim, pada musim barat (a), musim peralihan 1 (b), musim timur (c), dan musim peralihan 2 (d) Tahun 2020-2025 di Pesisir Kecamatan Pangale

Pada Musim Timur, angin di pesisir Kecamatan Pangale didominasi oleh kecepatan rendah (0,5–2,1 m/s; 80,92%) dengan arah utama dari sektor barat (19,06%), barat laut (13,25%), dan timur (15,31%) (Tabel 5). Kondisi angin yang relatif lemah dan stabil ini menghasilkan energi gelombang yang lebih moderat, sehingga cenderung mendukung proses pengendapan sedimen dan kestabilan hingga akresi garis pantai pada beberapa segmen pesisir, sebagaimana teridentifikasi dari hasil analisis perubahan garis pantai.

Pada Musim Peralihan II, angin di pesisir Kecamatan Pangale masih didominasi oleh kecepatan rendah (0,5–2,1 m/s; 75,08%) dengan peningkatan kontribusi angin kecepatan menengah (2,1–3,6 m/s; 14,70%) serta mulai munculnya angin >3,6 m/s meskipun sangat kecil (<1%). Arah angin utama berasal dari sektor barat (16,30%), barat laut (14,33%), dan timur (14,06%) (Tabel 6), menunjukkan variabilitas arah dan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan musim lainnya. Kondisi ini berpotensi meningkatkan perubahan arah gelombang dan arus sejajar pantai, sehingga memperkuat proses redistribusi sedimen dan menghasilkan dinamika perubahan garis pantai yang lebih fluktuatif selama periode transisi.

Perubahan garis pantai merupakan hasil interaksi kompleks antara proses oseanografi, dinamika sedimen, dan aktivitas antropogenik (Gambar 5). Berdasarkan analisis *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR), wilayah pesisir yang dikaji menunjukkan kecenderungan abrasi yang dominan, meskipun pada beberapa segmen masih dijumpai proses akresi (Gambar 6).

Hasil analisis *Net Shoreline Movement* (NSM) menunjukkan bahwa perubahan garis pantai di wilayah penelitian didominasi oleh abrasi. Nilai abrasi maksimum mencapai -173,55 m, berdasarkan distribusi spasial pada (Gambar 6), teridentifikasi pada sektor utara pesisir Pangale, Desa Lamba-Lamba yang merupakan salah satu desa di Kecamatan Pangale. Pada segmen ini, penggunaan lahan pesisir didominasi oleh permukiman pesisir, akses jalan lokal, serta tambak, yang pada beberapa titik berada sangat dekat dengan garis pantai. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa abrasi tidak hanya menyebabkan kehilangan daratan, tetapi juga langsung menekan ruang terbangun dan prasarana pesisir. Dengan demikian, besarnya nilai NSM negatif pada segmen utara diduga berkaitan

Tabel 4. Persentase arah dan kecepatan angin musim peralihan 1 Tahun 2020-2025 di Pesisir Kecamatan Pangale

Arah	Kecepatan Angin m/s					Total (%)
	0,5–2,1	2,1–3,6	3,6–5,7	5,7–8,8	≥8,8	
Utara	10,84	0,55	0,00	0,00	0,00	11,39
Timur Laut	6,83	1,64	0,14	0,00	0,00	9,70
Timur	8,20	3,62	0,00	0,00	0,00	12,70
Tenggara	8,95	2,80	0,14	0,00	0,00	13,59
Selatan	5,87	0,41	0,00	0,00	0,00	7,72
Barat Daya	8,74	0,27	0,00	0,00	0,00	9,01
Barat	18,51	0,55	0,00	0,00	0,00	19,06
Barat Laut	12,77	0,48	0,00	0,00	0,00	13,25
Total	80,71	10,32	0,28	0,00	0,00	100,00

Tabel 5. Persentase arah dan kecepatan angin musim timur Tahun 2020-2025 di Pesisir Kecamatan Pangale

Arah	Kecepatan Angin m/s					Total (%)
	0,5–2,1	2,1–3,6	3,6–5,7	5,7–8,8	≥8,8	
Utara	7,84	0,18	0,00	0,00	0,00	10,01
Timur Laut	8,24	0,95	0,00	0,00	0,00	10,87
Timur	9,78	3,94	0,09	0,00	0,00	15,31
Tenggara	8,24	1,99	0,00	0,00	0,00	11,73
Selatan	6,16	0,68	0,00	0,00	0,00	8,20
Barat Daya	9,38	0,41	0,05	0,00	0,00	11,68
Barat	18,51	0,55	0,00	0,00	0,00	19,06
Barat Laut	12,77	0,48	0,00	0,00	0,00	13,25
Total	80,92	9,18	0,14	0,00	0,00	100,00

Tabel 6. Persentase arah dan kecepatan angin musim peralihan 2 Tahun 2020-2025 di Pesisir Kecamatan Pangale

Arah	Kecepatan Angin m/s					Total (%)
	0,5–2,1	2,1–3,6	3,6–5,7	5,7–8,8	≥8,8	
Utara	11,49	0,69	0,14	0,00	0,00	13,92
Timur Laut	7,23	2,15	0,05	0,14	0,00	10,39
Timur	7,92	4,76	0,27	0,00	0,00	14,06
Tenggara	6,68	2,75	0,00	0,00	0,00	10,16
Selatan	5,22	0,87	0,00	0,00	0,00	6,55
Barat Daya	8,52	0,96	0,00	0,00	0,00	9,48
Barat	15,43	0,87	0,00	0,00	0,00	16,30
Barat Laut	12,59	1,65	0,09	0,00	0,00	14,33
Total	75,08	14,70	0,55	0,19	0,00	100,00



Gambar 5. Peta overlay garis pantai 2020-2025 di Kecamatan Pangale

Dengan kombinasi antara paparan gelombang tinggi pada pantai terbuka dan kerentanan penggunaan lahan terbangun yang berada dekat garis pantai. Rata-rata abrasi sebesar -23,65 m menunjukkan bahwa pergeseran garis pantai ke arah darat terjadi secara umum dan konsisten. Sebaliknya, proses akresi bersifat terbatas dan terdistribusi secara lokal. Nilai maksimum akresi mencapai 87,47 m, dengan rata-rata 12,59 m, yang lebih kecil dibandingkan nilai abrasi (Tabel 7). Perbedaan ini mencerminkan ketidakseimbangan neraca sedimen, di mana suplai sedimen yang masuk tidak mampu mengimbangi sedimen yang tererosi dan tertransport keluar dari sistem pantai (Gambar 7).

Analisis *End Point Rate* (EPR) memperkuat hasil NSM dengan menunjukkan bahwa laju abrasi lebih cepat dibandingkan laju akresi. Laju abrasi maksimum tercatat sebesar -33,03 m/tahun, sedangkan laju akresi maksimum hanya 16,65 m/tahun. Rata-rata laju abrasi (-4,57 m/tahun) hampir dua kali lipat lebih besar dibandingkan rata-rata laju akresi (2,37 m/tahun) (Tabel 7). Nilai EPR yang negatif dan dominan mengindikasikan bahwa proses abrasi berlangsung secara aktif selama periode pengamatan. Variasi laju perubahan antartransek menunjukkan adanya pengaruh faktor lokal, seperti orientasi garis pantai terhadap arah gelombang dominan dan variasi kondisi hidrodinamika pesisir (Gambar 8).

Distribusi spasial NSM dan EPR memperlihatkan bahwa segmen pantai dengan abrasi tinggi cenderung berkelompok pada transek tertentu, menandakan adanya zona pantai yang secara morfodinamik tidak stabil. Kondisi ini menunjukkan dominasi proses transport sedimen sejajar pantai (*longshore sediment transport*) yang menyebabkan defisit sedimen pada segmen tersebut (Al-Zubieri *et al.* 2020). Akresi yang teridentifikasi pada beberapa transek berkaitan dengan akumulasi sedimen lokal, baik akibat perlambatan energi gelombang maupun keberadaan penghalang alami

Tabel 7. Hasil pengolahan *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR) DSAS

Kategori	Abrasi			Akresi		
	Max	Min	Rata-Rata	Max	Min	Rata-Rata
NSM	-173.55	-0.01	-23.65	87.47	0.02	12.59
EPR	-33.03	-0.02	-4.57	16.65	0	2.37

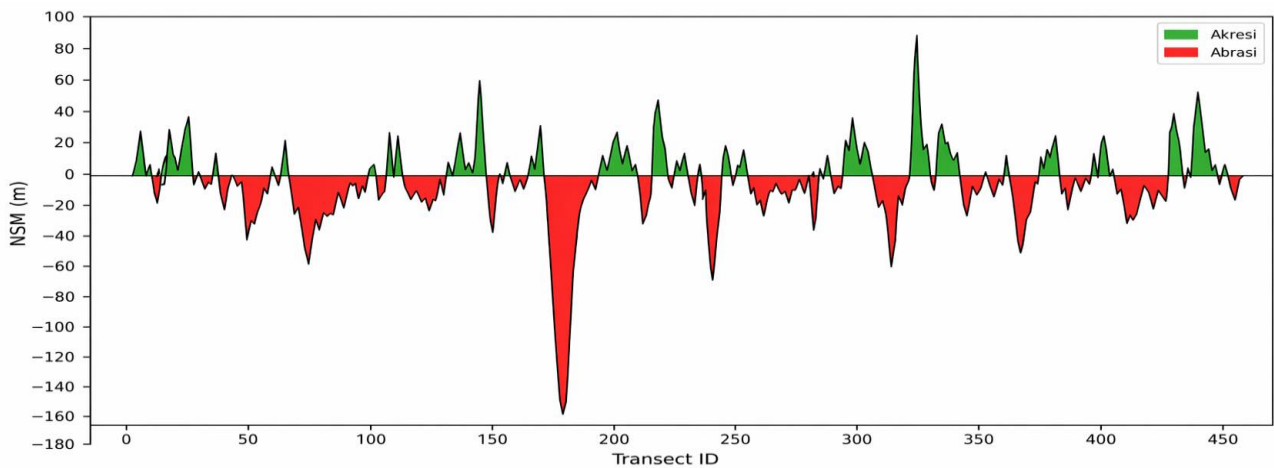


Gambar 6. Peta perubahan garis pantai 2020-2025 di Kecamatan Pangale

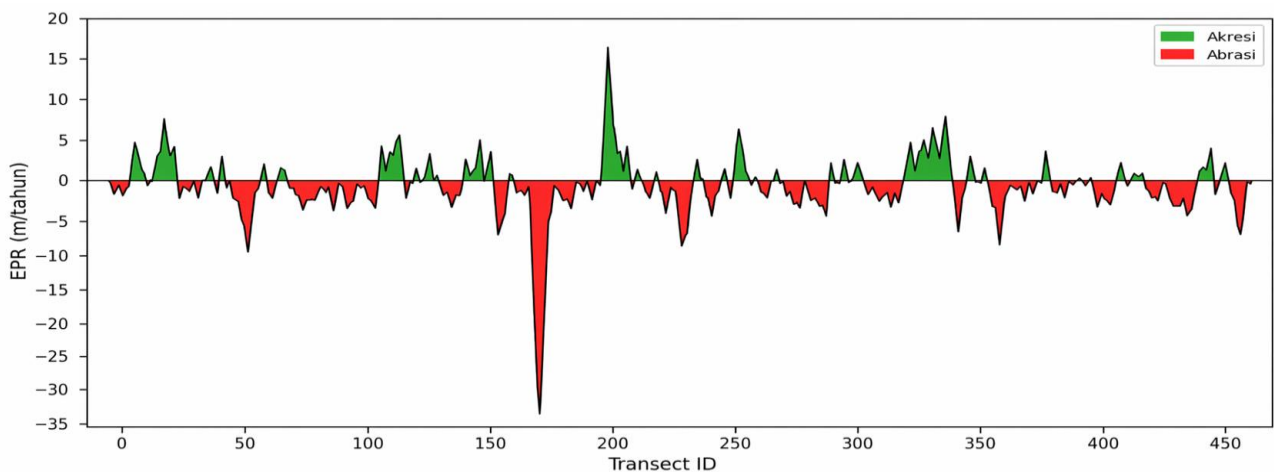
atau buatan (Baig *et al.* 2020; Gopinath *et al.* 2023). Namun, akresi ini bersifat tidak berkelanjutan dalam skala sepanjang pantai (Abdul Maulud *et al.* 2022).

Dominasi abrasi menunjukkan bahwa sistem pantai di wilayah Kecamatan Pangale berada dalam kondisi erosi yang telah mencapai tingkat degradasi serius. Kondisi ini berpotensi menyebabkan penyempitan zona pantai dan peningkatan kerentanan terhadap dampak gelombang ekstrem dan kenaikan muka laut. Temuan dominasi abrasi yang bersifat intensif dan berkelanjutan menunjukkan bahwa wilayah pesisir Kecamatan Pangale telah berada pada kondisi degradasi yang serius, sehingga kebijakan pengelolaan pesisir perlu segera diarahkan pada mitigasi abrasi berbasis proses, dengan menjadikan dinamika sedimen dan hidrodinamika sebagai dasar utama dalam perencanaan tata ruang, perlindungan pantai, dan pengendalian aktivitas pemanfaatan wilayah pesisir (Colak 2024; Kilar & Aydın 2024).

Berdasarkan tingkat abrasi yang telah mencapai kondisi kritis, diperlukan upaya pengelolaan pesisir yang terintegrasi dan berkelanjutan. Rekomendasi utama meliputi penerapan perlindungan pantai yang adaptif sesuai karakteristik hidrodinamika lokal, konservasi dan rehabilitasi ekosistem pantai sebagai penahan alami abrasi, serta pengendalian aktivitas antropogenik yang berpotensi mempercepat kehilangan sedimen. Selain itu, pemantauan perubahan garis pantai secara berkala menggunakan data penginderaan jauh dan analisis kuantitatif seperti NSM dan EPR perlu dilakukan sebagai dasar evaluasi kebijakan dan perencanaan pesisir jangka panjang.



Gambar 7. Analisis perubahan garis pantai *Net Shoreline Movement (NSM)*



Gambar 8. Analisis perubahan garis pantai *End Point Rate (EPR)*

KESIMPULAN

Analisis perubahan garis pantai di pesisir Kecamatan Pangale periode 2020–2025 menunjukkan bahwa wilayah kajian mengalami dinamika pesisir yang tinggi dengan abrasi sebagai proses dominan. Ekstraksi garis pantai berbasis NDWI berhasil mengidentifikasi pergeseran garis pantai secara spasial dan temporal, di mana sebagian besar segmen pantai mengalami pergeseran ke arah darat, sementara akresi hanya terjadi secara lokal dan terbatas. Kondisi hidrodinamika pesisir, yang dicirikan oleh tipe pasang surut campuran condong harian ganda serta dominasi angin sektor barat, barat laut sepanjang tahun, berperan penting dalam mengontrol pembangkitan gelombang, arus sejajar pantai, dan transport sedimen. Variasi musiman angin memengaruhi intensitas abrasi dan akresi, dengan abrasi lebih menonjol pada Musim Barat dan dinamika sedimen yang lebih fluktuatif pada musim peralihan. Hasil analisis kuantitatif menggunakan DSAS menunjukkan nilai NSM abrasi maksimum mencapai $-173,55$ m dengan rata-rata $-23,65$ m, serta laju abrasi EPR maksimum sebesar $-33,03$ m/tahun dengan rata-rata $-4,57$ m/tahun, yang secara konsisten lebih besar dibandingkan nilai akresi. Temuan ini mengindikasikan ketidakseimbangan neraca sedimen dan menegaskan bahwa pantai di Kecamatan Pangale menunjukkan dinamika garis pantai yang didominasi oleh proses erosi yang telah mencapai tingkat degradasi serius.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Maulud, K.N. et al. 2022. Assessment of shoreline changes for the Selangor Coast, Malaysia, using the Digital Shoreline Analysis System technique. *Urban Science*, 6(4): 71. DOI: 10.3390/urbansci6040071.
- Almar, R. et al. 2023. Influence of El Niño on the variability of global shoreline position. *Nature Communications*, 14: 1625. DOI: 10.1038/s41467-023-38742-9.
- Al-Zubieri, A.G., Ghandour, I.M., Bantan, R.A. & Basaham, A.S. 2020. Shoreline evolution between Al Lith and Ras Mahāsin on the Red Sea Coast, Saudi Arabia using GIS and DSAS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(10): 1455–1470. DOI: 10.1007/s12524-020-01169-6.
- Andreatta, D., Gianelle, D., Scotton, M. & Dalponte, M. 2022. Estimating grassland vegetation cover with remote sensing: a comparison between Landsat-8, Sentinel-2 and PlanetScope imagery. *Ecological Indicators*, 141: 109102. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109102.
- Arjasakusuma, S., Kusuma, S.S., Saringatin, S., Wicaksono, P., Mutaqin, B.W. & Rafif, R. 2021. Shoreline dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 using multi-sensor remote sensing data. *Land*, 10(2): 100. DOI: 10.3390/land10020100.
- Asensio-Montesinos, F., Molina, R., Anfuso, G., Manno, G. & Lo Re, C. 2024. Natural and human impacts on coastal areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(11): 2017. DOI: 10.3390/jmse12112017.
- Baig, M.R.I., Ahmad, I.A., Shahfahad, Tayyab, M. & Rahman, A. 2020. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4): 361–376. DOI: 10.1080/19475683.2020.1815839.
- Bolbot, V., Kulkarni, K., Brunou, P., Banda, O.V. & Musharraf, M. 2022. Developments and research directions in maritime cybersecurity: a systematic literature review and bibliometric analysis. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 39: 100571. DOI: 10.1016/j.ijcip.2022.100571.
- Boye, C., Baffoe, P. & Ketibuah, J. 2022. Assessment of shoreline change along the sandy beach of Ellembele District of Ghana. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 9(1): 17–24. DOI: 10.14710/geoplanning.9.1.17-24.
- Burda, N., Asriati, N. & Sugiarto, A. 2022. Analisis perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS (Digital Shoreline Analysis System) tahun 2014-2022 Pantai Matang Danau Desa Matang Danau Kecamatan Paloh Kabupaten Sambas. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa*, 11(11): 3037–3049. DOI: 10.26418/jppk.v11i11.59839.

- Cho, A.Y., Park, S.E., Kim, D.J., Kim, J., Li, C. & Song, J. 2023. Burned area mapping using unitemporal PlanetScope imagery with a deep learning based approach. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16: 242–253. DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3225070.
- Colak, A.T.I. 2024. Geospatial analysis of shoreline changes in the Oman coastal region (2000–2022) using GIS and remote sensing techniques. *Frontiers in Marine Science*, 11: 1305283. DOI: 10.3389/fmars.2024.1305283.
- Dede, M., Susiati, H., Widiawaty, M.A., Kuok-Choy, L., Aiyub, K. & Asnawi, N.H. 2023. Multivariate analysis and modeling of shoreline changes using geospatial data. *Geocarto International*, 38(1): 2159070. DOI: 10.1080/10106049.2022.2159070.
- Ghorai, D. & Mahapatra, M. 2020. Extracting shoreline from satellite imagery for GIS analysis. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 3(1–2): 13–22. DOI: 10.1007/s41976-019-00030-w.
- Gopinath, G. et al. 2023. Long-term shoreline and islands change detection with Digital Shoreline Analysis using RS data and GIS. *Water (Switzerland)*, 15(2): 244. DOI: 10.3390/w15020244.
- Haddaoui, H., Aangri, A., Souiri, S. & Hakkou, M. 2025. Monitoring shoreline evolution on Morocco's Northern Atlantic Coast using remote sensing and DSAS. *Sustainable Marine Structures*, 7(3): 101–116. DOI: 10.36956/sms.v7i3.2146.
- Kılar, H. & Aydın, O. 2024. Applying the Kalman filter model to forecast shoreline positions: a case study in Şile, İstanbul. *Türk Coğrafya Dergisi*, 85: 47–53. DOI: 10.17211/tcd.1469434.
- Labania, H.M.D., Mudin, Y., Rahman, A., Sabhan & Pranowo, W.S. 2021. Analysis of seasonal variability of wave height in Makassar Strait. *Journal of Physics: Conference Series*, 1763(1): 012031. DOI: 10.1088/1742-6596/1763/1/012031.
- Lake, T.A., Briscoe Runquist, R.D. & Moeller, D.A. 2022. Deep learning detects invasive plant species across complex landscapes using Worldview-2 and PlanetScope satellite imagery. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(6): 875–889. DOI: 10.1002/rse2.288.
- Liu, G. et al. 2024. Decadal evolution of a sandy beach adjacent to a river mouth under natural drivers and human impacts. *Frontiers in Marine Science*, 11: 1384780. DOI: 10.3389/fmars.2024.1384780.
- Mahagnyana, Sujiono, E.H., Palloan, P. & Rahma, N.A. 2024. Simulating ocean surface condition on an extreme weather using hydrodynamic 3D model. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(1): 153–163.
- McFeeters, S.K. 1995. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714.
- Mishra, M. et al. 2022. Analyzing shoreline dynamicity and the associated socioecological risk along the Southern Odisha Coast of India using remote sensing-based and statistical approaches. *Geocarto International*, 37(14): 3991–4027. DOI: 10.1080/10106049.2021.1882005.
- Noor, R.J., Lanuru, M., Faizal, A. & Fathuddin. 2020. Kapasitas asimilasi TSS di muara Sungai Mamuju. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3): 324–331. DOI: 10.21776/ub.jfmr.2020.004.03.2.
- Paddiyatu, N. 2018. Analisis tingkat kerusakan wilayah pesisir di Kabupaten Mamuju Tengah. *Linears*, 1(2): 91–102. DOI: 10.26618/j-linears.v1i2.1814.
- Palermo, R.V., Perron, J.T., Soderblom, J.M., Birch, S.P.D., Hayes, A.G. & Ashton, A.D. 2024. NEWTS1.0: numerical model of coastal erosion by waves and transgressive scarps. *Geoscientific Model Development*, 17: 3433–3445. DOI: 10.5194/gmd-17-3433-2024.
- Pang, T., Wang, X., Nawaz, R.A., Keefe, G. & Adekanmbi, T. 2023. Coastal erosion and climate change: a review on coastal-change process and modeling. *Ambio*, 52(12): 2034–2052. DOI: 10.1007/s13280-023-01901-9.
- Pham, H.V., Dal Barco, M.K., Pourmohammad Shahvar, M., Furlan, E., Critto, A. & Torresan, S. 2024. Bayesian Network Analysis for Shoreline Dynamics, Coastal Water Quality, and Their Related Risks in the Venice Littoral Zone, Italy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1): 139. DOI: 10.3390/jmse12010139.

- Quang, D.N., Ngan, V.H., Tam, H.S., Viet, N.T., Tinh, N.X. & Tanaka, H. 2021. Long-term shoreline evolution using DSAS technique: a case study of Quang Nam province, Vietnam. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10): 1124. DOI: 10.3390/jmse9101124.
- Razzak, M.T., Mateo-García, G., Lecuyer, G., Gómez-Chova, L., Gal, Y. & Kalaitzis, F. 2023. Multi-spectral multi-image super-resolution of Sentinel-2 with radiometric consistency losses and its effect on building delineation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 195: 1–13. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.10.019.
- Rosalina, D., Rombe, K.H., Sabilah, A.A. & Anisya, A. 2024. Map of the velocity and direction of ocean currents during the east and west monsoons of Manakarra Beach Mamuju. *Rekayasa*, 17(2): 257–266. DOI: 10.21107/rekayasa.v17i2.22560.
- Salauddin, Md., Hossain, K.T., Tanim, I.A., Kabir, Md.A. & Saddam, M.H. 2018. Modeling spatio-temporal shoreline shifting of a coastal island in Bangladesh using geospatial techniques and DSAS extension. *Annals of Valahia University of Targoviste, Geographical Series*, 18(1): 1–13. DOI: 10.2478/avutgs-2018-0001.
- Savastano, S. et al. 2024. Assessment of shoreline change from SAR satellite imagery in three tidally controlled coastal environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1): 163. DOI: 10.3390/jmse12010163.
- Smith, K.E.L., Terrano, J.F., Pitchford, J.L. & Archer, M.J. 2021. Coastal wetland shoreline change monitoring: a comparison of shorelines from high-resolution Worldview satellite imagery, aerial imagery, and field surveys. *Remote Sensing*, 13(15): 3030. DOI: 10.3390/rs13153030.
- Tong, X.Y., Xia, G.S. & Zhu, X.X. 2023. Enabling country-scale land cover mapping with meter-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 196: 178–196. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.12.011.
- Vallarino Castillo, R., Negro Valdecantos, V. & Moreno Blasco, L. 2022. Shoreline change analysis using historical multispectral Landsat images of the Pacific Coast of Panama. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12): 1801. DOI: 10.3390/jmse10121801.