
ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT TERJADINYA SIKLON TROPIS SEROJA DI PULAU SABU NUSA TENGGARA TIMUR

ANALYSIS OF COASTLINE CHANGES DUE TO TROPICAL CYCLONE SEROJA IN SABU ISLAND, EAST NUSA TENGGARA

Muhammad Aulia Zikri, Ahmad Ijmal Al Farrosi, Nur Fitri Rahmadani, Imma Redha Nugraheni*

Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Perhubungan I No.5, Pondok. Betung, Kec. Pondok. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten,
Indonesia, 15221

*Corresponding author email: imma.redha@stmkg.ac.id

Submitted: 10 February 2024 / Revised: 29 July 2024 / Accepted: 01 August 2024

<http://doi.org/10.21107/jk.v17i2.24748>

ABSTRAK

Perubahan garis pantai di wilayah pesisir disebabkan oleh berbagai faktor alami dan antropogenik seperti gelombang laut, arus permukaan, dan aktivitas manusia. Perubahan ini dapat berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kehidupan manusia di wilayah tersebut. Penelitian ini fokus pada perubahan garis pantai di Pulau Sabu, Nusa Tenggara Timur, sebagai dampak Siklon Tropis Seroja pada April 2021. Data satelit Sentinel-2A dan data oseanografis digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai, arah, dan ketinggian gelombang signifikan, serta kecepatan arus permukaan selama periode siklon. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketinggian gelombang signifikan mencapai >4 m dan arus berkecepatan melebihi 1,1 m/s. Perubahan garis pantai menunjukkan sebagian besar wilayah penelitian mengalami abrasi, dengan Desa Waduwalla, Ledee, dan Ramedue mengalami abrasi yang besar. Di sisi lain, Desa Lohohede mengalami akresi terbesar. Jarak abrasi terbesar mencapai 34,97 m dengan laju abrasi 46,28 m/tahun. Total luas daratan yang mengalami abrasi adalah 45,18 hektar, sementara akresi hanya 1,13 hektar. Hasil ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dampak Siklon Tropis Seroja terhadap perubahan garis pantai di Pulau Sabu, yang dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan perlindungan pesisir dan mitigasi risiko di masa depan.

Kata Kunci: Garis pantai, abrasi, akresi, Sentinel-2A

ABSTRACT

Shoreline changes in coastal areas are caused by various natural and anthropogenic factors such as ocean waves, surface currents and human activities. These changes can have significant impacts on the environment and human life in the region. This study focuses on shoreline changes on Sabu Island, East Nusa Tenggara, as a result of Tropical Cyclone Seroja in April 2021. Sentinel-2A satellite data and oceanographic data were used to analyze shoreline changes, significant wave height and direction, and surface current velocity during the cyclone period. The analysis showed that significant wave heights reached >4 m and current speeds exceeded 1,1 m/s. Shoreline changes showed that most of the study area experienced abrasion, with Waduwalla, Ledee and Ramedue villages experiencing major abrasion. On the other hand, Lohohede Village experienced the greatest accretion. The largest abrasion distance reached 34,97 m with an abrasion rate of 46,28 m/year. The total area of land experiencing abrasion is 45,18 hectares, while accretion is only 1,13 hectares. These results provide a better understanding of the impact of Cyclone Seroja on shoreline change in Sabu Island, which can be used to formulate coastal protection and risk mitigation policies in the future.

Keywords: Shoreline, abrasion, accretion, Sentinel-2A

PENDAHULUAN

Perubahan garis pantai adalah suatu proses yang terjadi secara terus menerus akibat berbagai proses alami yang terjadi di wilayah

pesisir seperti pergerakan sedimentasi, *longshore current*, gelombang permukaan laut, dan pemanfaatan lahan (Yudistira & Agustriani, 2023). Secara alami, perubahan garis pantai berasal dari pengaruh hidro-oseanografi yang

terjadi di perairan seperti gelombang yang mengenai pesisir pantai, pergeseran pola arus, serta perubahan iklim (Halim & Halili, 2016). Selain itu, faktor antropogenik seperti pembelokan arah aliran air, penyempitan suplai sedimen, pertambangan pasir dan sumber daya alam (SDA) pesisir, eksploitasi vegetasi dan terumbu karang dapat menyebabkan perubahan garis pantai sehingga lahan pesisir dapat mengalami penambahan (akresi) dan pengurangan (abrasi) (Zaidan *et al.*, 2022). Abrasi merupakan suatu peristiwa kerusakan garis pantai akibat pelepasan material pesisir pantai seperti lempung dan pasir yang terjadi secara terus menerus akibat faktor hidro-oseanografi sehingga terjadi perubahan keseimbangan angkutan sedimen (Potabuga *et al.*, 2023). Akresi dapat didefinisikan sebagai penambahan luas daratan yang berbatasan langsung dengan laut karena adanya sedimentasi, baik oleh material sedimen yang dibawa oleh sungai atau sedimentasi laut (Tarigan, 2010). Selain itu akresi dapat diartikan sebagai proses majunya garis pantai karena adanya sedimentasi dari daratan ke lautan yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti reklamasi, volume limpasan air, dan pergerakan sedimen dari sungai ke laut (Aniendra *et al.*, 2019; Setyoningrum *et al.*, 2023). Informasi perubahan garis pantai sangat diperlukan karena garis pantai bersifat dinamis sehingga dibutuhkan pemantauan secara berkala dengan membuat peta perubahan garis pantai (Kasim & Salam, 2015; Masri *et al.*, 2020).

Pulau Sabu (Sawu, Savu) secara administratif termasuk ke dalam Kabupaten Sabu Raijua, Nusa Tenggara Timur (NTT). Secara geografis, Pulau Sabu berjarak 716,45 km dari Kabupaten Kupang, dari ujung barat daya – barat dan berbatasan dengan Laut Sawu di utara, timur, dan barat serta Samudera Hindia di bagian selatan. Secara astronomis, pulau ini terletak pada koordinat $100^{\circ} 25' 7.12''$ LS - $100^{\circ} 49' 45.83''$ LS dan $121^{\circ} 16' 10.78''$ BT - $122^{\circ} 0' 30,26''$ BT. Wilayah ini memiliki panjang garis pantai sekitar 102.600 Ha (Pemerintah Kabupaten Sabu Raijua, 2023). Selain itu, wilayah ini tergolong ke dalam iklim kering yang mana musim kemaraunya panjang sekitar 7 hingga 8 bulan (Wanta *et al.*, 2023).

Secara meteorologis, siklon tropis merupakan sebuah pusaran tekanan rendah yang terbentuk di daerah tropis dengan lintang rendah antara 10° - 20° LU/LS (Dyahwathi *et al.*, 2007). Peristiwa ini terbentuk pada air laut bersuhu hangat $>26,5^{\circ}\text{C}$ dan angin yang kencang yang putarannya memiliki kecepatan

63 km/jam (Annada & Kumalawati, 2023). Peristiwa ini didukung beberapa kondisi, seperti suhu permukaan laut yang hangat, *atmosphere instability*, dan kelembaban yang tinggi di lapisan atmosfer bawah hingga menengah (Sekaranom *et al.*, 2021). Siklon tropis akan menimbulkan dampak di wilayah pesisir sehingga dibutuhkan analisis sistematis mengenai dampak kerentanan dan degradasi yang ditimbulkan terhadap lingkungan (Bianchi & Malki-Epshtein, 2021).

Analisis komprehensif yang dibutuhkan meliputi ekosistem pesisir dan laut serta dinamika ekologi untuk menghindari kerusakan dan dampak ekologis yang mengancam ekosistem lokal seperti flora dan fauna (Mishra *et al.*, 2022) serta perekonomian manusia subsistem yang bergantung pada keseimbangan laut (Gopal *et al.*, 2021). Setiap kejadian siklon tropis menyebabkan kerusakan dan dampak yang berbeda terhadap keanekaragaman hayati, vegetasi, dan lansekap garis pantai. Dalam penelitian Mishra *et al.* (2022), Siklon Tropis Nisarga mengakibatkan dampak langsung terhadap garis pantai dan mempercepat terjadinya abrasi di sebagian besar pantai barat India (Maharashtra, India). Selain itu, penelitian McIntirene (1964) menunjukkan bahwa Siklon Alix dan Carol mengakibatkan abrasi yang cukup parah di pesisir timur Pulau Madagaskar dan mengakibatkan perubahan morfologi pantai di Mauritius.

Pada April 2021, fenomena Siklon Tropis Seroja berdampak pada 10 kabupaten dan 1 kota di NTT (Muskananfolo & Feoh, 2023). Fenomena ini menimbulkan angin kencang, hujan, banjir bandang sehingga menyebabkan longsor, kerusakan infrastruktur, dan perubahan bentuk bentang alam (Surinati & Kusuma, 2018; Welkis *et al.*, 2022). Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Siklon Tropis Seroja terbentuk di Laut Sawu, barat daya Pulau Timor. Hal ini menyebabkan peningkatan curah hujan di wilayah sekitar siklon dan cuaca ekstrem di NTT (Sekaranom *et al.*, 2021). Menurut kantor regional BMKG di NTT, peristiwa Siklon Tropis Seroja menimbulkan bencana hidrometeorologi, seperti yang terjadi di Kabupaten Sabu Raijua (lokasi penelitian), yang mengalami angin kencang, pepohonan tumbang, kerusakan bangunan, dan peningkatan tinggi gelombang (Kurniawan *et al.*, 2021).

Untuk menganalisis kerusakan atau perubahan garis pantai yang disebabkan oleh bencana siklon, khususnya Siklon Tropis Seroja,

dilakukan penelitian menggunakan satelit Sentinel 2A yang diakses dari *Google Earth Engine* (GEE). Sentinel 2 merupakan salah satu satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang baik untuk memantau wilayah pesisir (Selamat et al., 2019). GEE sendiri merupakan *cloud computing platform* untuk menganalisis data geospasial dan pemetaan yang memungkinkan user mengakses dan menganalisis berbagai data citra satelit seperti Landsat, Sentinel, dan MODIS (Ermida et al., 2020). Platform ini mampu menyimpan data dalam server Google dan memungkinkan user dalam menganalisis data yang sangat kompleks (Latue et al., 2023).

Penelitian berfokus pada kerusakan fisik yang disebabkan oleh Siklon Tropis Seroja di Pulau Sabu, NTT, khususnya pada perubahan garis pantai di lokasi penelitian. Namun demikian, arah dan ketinggian gelombang serta arus juga dianalisis untuk memberikan gambaran kondisi oseanografis yang terkait dengan perubahan garis pantai akibat siklon tropis, pemetaan perubahan garis pantai dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi geospasial yang membantu dalam pemetaan dan pemantauan sistem alam dan penting dilakukan untuk membantu merumuskan kebijakan untuk menangani kerusakan akibat siklon.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 hingga Januari 2024 dengan mempertimbangkan kejadian Siklon Tropis Seroja, yaitu 3 - 12 April 2021 sesuai dengan periode pembentukan Siklon Tropis Seroja di selatan Pulau Rote hingga periode purnama di selatan Australia. Penelitian ini memanfaatkan data dari Satelit Sentinel-2A yang diakses melalui platform Google Earth Engine. Berbagai penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Astuti et al., (2021) dan Hidayat et al., (2023), umumnya menggunakan data dari Landsat 8 untuk pemetaan perubahan garis pantai. Namun, Landsat 8 memiliki keterbatasan dalam hal resolusi, yaitu 30 m x 30 m, yang kurang memadai untuk pemetaan area pantai sempit dengan detail yang tinggi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, Satelit Sentinel-2A menjadi pilihan karena menawarkan resolusi yang lebih tinggi, yaitu 10 m x 10 m. Pendekatan ini serupa dengan yang diterapkan dalam penelitian oleh Kurniadin & Fadlin (2021) dan Singa et al. (2023), yang juga memanfaatkan kemampuan resolusi tinggi dari Sentinel-2A.

Analisis perkembangan siklon, digunakan Skala Saffir-Simpson. Dalam skala ini, dapat diketahui perkembangan dan intensitas siklon tropis. Beberapa interpretasi yang digunakan adalah: (Syaifullah, 2015)

- a. L (low) merujuk pada daerah bertekanan rendah yang menjadi awal lokasi awal pembentukan siklon tropis. Daerah ini dapat berkembang menjadi depresi tropis jika ada perubahan kondisi atmosfer.
- b. C1 (*category 1*): merupakan siklon tropis berkecepatan 119-153 km/jam
- c. C2 (*category 2*): merupakan siklon tropis berkecepatan 154-177 km/jam
- d. C3 (*category 3*): merupakan siklon tropis berkecepatan 178-208 km/jam
- e. E (*extratropical*) merujuk pada siklon ekstratropis, yaitu cuaca yang telah berpindah dari daerah tropis dan telah kehilangan karakteristik tropisnya.

Lokasi penelitian berfokus pada 8 desa yang berada di pesisir selatan Pulau Sabu NTT yang menjadi daerah perlintasan Siklon Tropis Seroja. Desa ini terdiri dari: Desa Lederaga, Desa Lohohede, Desa Ramedue, Desa Ledae, Desa Wadumaddi, Desa Raerobo, Desa Dainao, dan Desa Waduwalla. Lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.

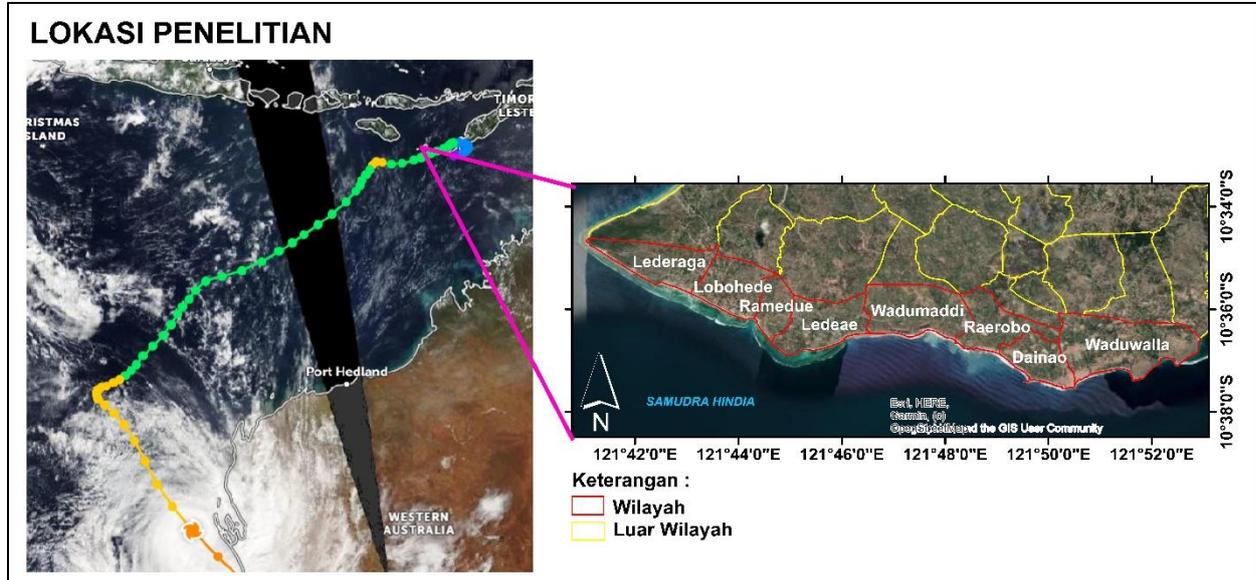
Data Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data Satelit Sentinel-2A yang terbagi menjadi 2 interval waktu:
 - a. Pra-Siklon: 03 Maret 2021 s.d. 02 April 2021.
 - b. Pasca-Siklon: 13 April 2021 s.d. 12 Mei 2021.
 Data satelit diperoleh dari GEE dan dilakukan berbagai perhitungan dan koreksi sehingga diperoleh citra satelit final sehingga dapat diekstrak langsung menjadi data garis pantai.
2. Data bathimetri yang diperoleh dari <https://tanahair.indonesia.go.id/>. Data ini berguna untuk menghitung kemiringan pantai yang akan digunakan dalam mengoreksi posisi garis pantai.
3. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) 10k yang digunakan untuk melihat batas wilayah administrasi penelitian.
4. Data re-analisis kecepatan dan arah arus permukaan berformat NetCDF-4 dengan resolusi spasial 0,083° x 0,083° dan resolusi temporal harian selama terjadinya Siklon Tropis Seroja yang diperoleh dari

5. Data re-analisis ketinggian signifikan gelombang permukaan berformat NetCDF-4 dengan resolusi spasial 0,2° x 0,2° dan resolusi temporal harian selama terjadinya Siklon Tropis Seroja yang diperoleh dari

<https://data.marine.copernicus.eu/>. Gelombang signifikan ini merupakan 1/3 ketinggian dari gelombang tertinggi pada periode tertentu. Parameter ini dapat memberikan gambaran umum tentang kondisi laut di wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta lintasan Siklon Tropis Seroja (kiri) dan peta lokasi penelitian perubahan garis pantai di pesisir bagian selatan Pulau Sabu (kanan)

Teknik Pengolahan Data Pengolahan Data Gelombang dan Arus

1. Data NetCDF diolah di *software* SeaDAS untuk memotong data sesuai dengan lokasi penelitian dan di-import dengan format teks (.txt)
2. Data .txt dikonversi menjadi data .csv menggunakan Microsoft Excel
3. Data .csv di-import ke dalam ArcMap dengan *Add xy data tools* dan dilakukan penyesuaian *layouting* sesuai dengan arah gelombang dan arus
4. Data *point* yang diperoleh dari data .csv, diinterpolasi dengan metode *kriging* dan dilakukan penyesuaian *coloring* dan untuk memudahkan analisis peta.

Pengolahan Data Garis Pantai

Pengambilan data citra Satelit Sentinel-2A

Pada *Google Earth Engine*, sistem diatur untuk menghitung *Normalized Difference Water Index (NDWI)*. Teknik NDWI dilakukan untuk memperjelas informasi perairan dan membedakan wilayah darat dan air (Hidayat *et al.*, 2023). Teknik ini menggunakan *band green* dan *near infrared (NIR)* dalam prosesnya. *Band green* digunakan untuk memaksimalkan pantulan perairan sedangkan *band NIR* untuk

meminimalisir pantulan tubuh air (Hidayat *et al.*, 2023). Nilai NDWI diasumsikan berada di interval 0 - 1. Semakin mendekati 0, maka wilayah tersebut adalah perairan dan mendekati nilai 1, maka wilayah tersebut tergolong menjadi daratan (McFeeters, 2013).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana, *NDWI* : *Normalized Difference Water Index*; *Green* : Gelombang dengan λ=0.560 μm (pada Sentinel-2 merupakan *band 3*); *NIR* : Gelombang dengan λ=0.842 μm (pada Sentinel-2 merupakan *band 8*)

Selanjutnya, GEE diatur untuk mengambil citra pada tanggal yang ditentukan (30 hari sebelum dan setelah kejadian). Hal ini digunakan untuk melihat perbedaan garis pantai dari dua citra yang didapatkan, yaitu sebelum dan setelah Siklon Tropis Seroja.

Langkah berikutnya adalah **men-clip** citra sehingga mampu memotong citra menjadi wilayah penelitian yang diharapkan. Pada penelitian ini, *feature* yang digunakan adalah *draw a rectangle* dan disesuaikan penamaan sehingga mampu diproses oleh GEE.

Langkah terakhir adalah mendefinisikan format pengunduhan citra. Pada penelitian ini, GEE diatur agar citra dapat diunduh dengan format GeoTIFF sehingga mudah diekstrak di ArcMap.

Digitasi Citra

Setelah citra diperoleh dari GEE, dilakukan proses *on screen digitization* di *software* ArcMap 10,8. Proses ini dilakukan untuk mengubah data raster menjadi data vektor. Proses ini dilakukan menggunakan fungsi *image analysis* pada ArcMap yang mampu menampilkan data raster dan vektor secara bersamaan. Proses digitasi ini dilakukan secara visual dengan memperhatikan batasan antara darat dan air (termasuk daratan yang dianggap perairan seperti tambak wilayah pesisir) (Yulius, 2013).

Koreksi Garis Pantai

Setelah melakukan digitasi/ deliniasi garis pantai, dilakukan koreksi garis pantai terhadap pasang surut. Hal ini dilakukan dengan menentukan kemiringan dasar pantai dengan menentukan koreksi garis pantai terhadap *Mean Sea Level (MSL)* (Darmiati et al., 2020; Yudistira et al., 2023).

$$\tan \beta = \frac{d}{m} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana, $\tan \beta$: kemiringan dasar pantai ($^{\circ}$); d : *depth/* kedalaman (m); m : jarak horizontal hingga kedalaman d (m)

Perhitungan Perubahan Garis Pantai

Perhitungan perubahan garis pantai dilakukan dengan memanfaatkan fungsi *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Program ini merupakan program yang disusun oleh USGS yang dapat ditambahkan pada perangkat lunak ArcGIS (Fuad & D A Setiani, 2017). Perhitungan statistika juga digunakan seperti *Net Shoreline Movement (NSM)* dan *End Point Rate (EPR)*. Nilai NSM digunakan untuk mengukur jarak perubahan posisi garis pantai yang lama dengan yang baru sedangkan nilai EPR untuk membagi jarak perubahan garis pantai dengan rentang waktu yang telah ditentukan (Ramadhani et al., 2021). Nilai positif dan negatif dalam perhitungan menandakan adanya abrasi dan akresi. Jika nilai positif merefleksikan terjadinya penambahan luas daratan dan jika nilai negatif, maka terjadi abrasi/ pengurangan luas daratan (Zaidan et al., 2022). Dalam penelitian ini, rentang waktu yang dipilih ada 30 hari sebelum dan setelah terjadinya Siklon Tropis Seroja.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan luas perubahan daratan dengan memotong garis pantai sesuai batas desa sehingga didapatkan perubahan luasan per desa yang akan dicantumkan dalam tabel. Selain itu, juga dihitung perubahan panjang maksimum dan minimum di masing-masing desa dengan membagi garis pantai menjadi beberapa transek dengan jarak antar transek 10 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

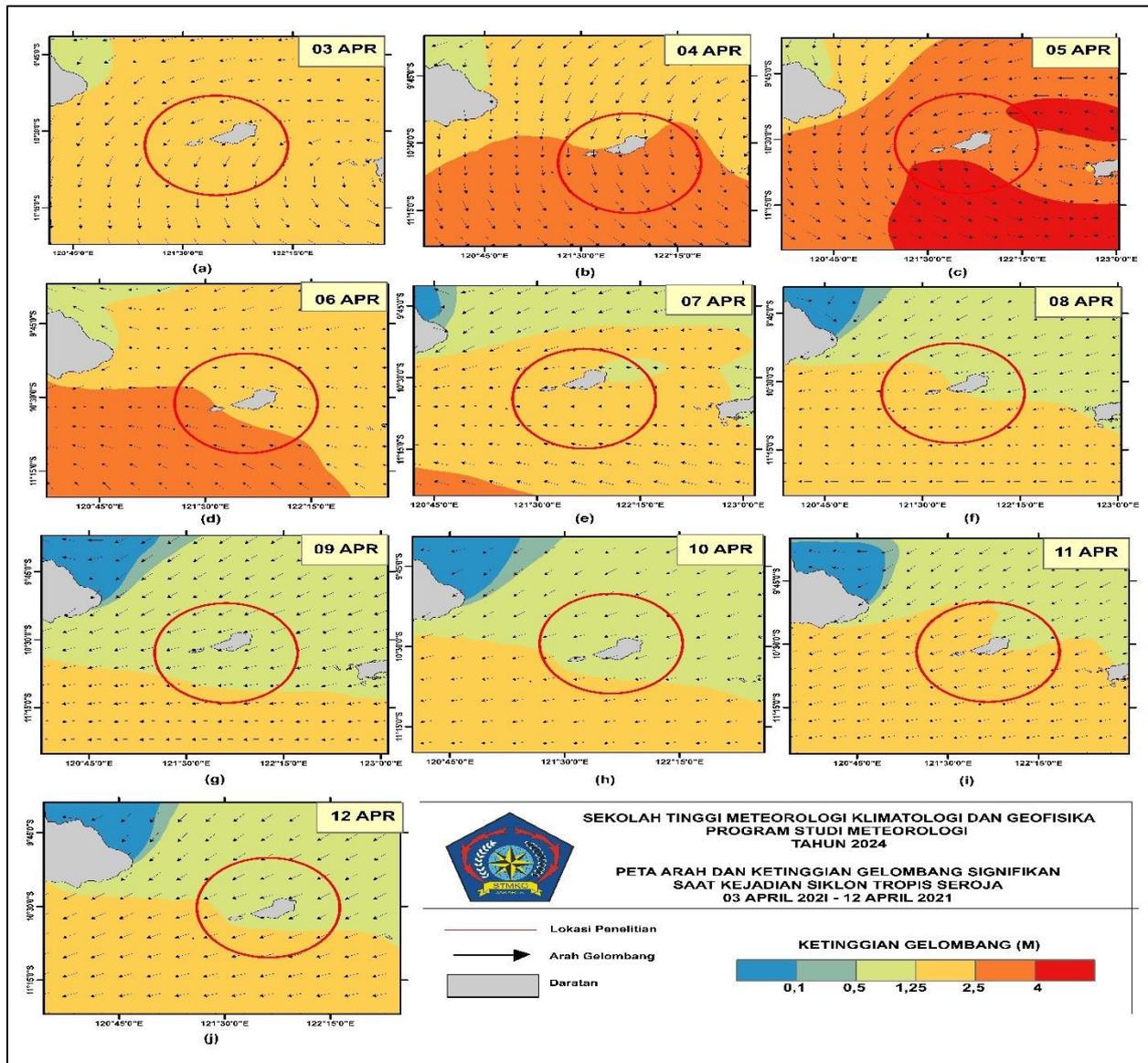
Arah dan Ketinggian Gelombang Signifikan

Peta arah dan ketinggian gelombang maksimum selama periode terjadinya fenomena Siklon Tropis Seroja mulai dari fase pembentukan (3 April 2021) hingga fase purnah (12 April 2021) (**Gambar 2**). Dapat diamati bahwa pada 3 April 2021, sistem tekanan rendah menjadi awal pembentukan Siklon Tropis Seroja berada di wilayah perairan Pulau Sabu dengan ketinggian gelombang yang teramati antara 0,5 hingga 1,25 meter, sesuai dengan area berwarna kuning pada peta. Pada 4 April 2021, berdasarkan informasi dari *Joint Typhoon Warning Center (JTWC)*, kecepatan angin dan tekanan atmosfer di lokasi penelitian meningkat yang mengakibatkan ketinggian gelombang juga meningkat menjadi 1,25 hingga 2,5 m yang ditunjukkan warna oranye pada peta. Sedangkan pada tanggal 5 April 2021 atau setelah Siklon Tropis Seroja dinyatakan sebagai Siklon Kategori 1, peta menggambarkan area yang lebih luas pada pewarnaan oranye hingga merah yang menandakan ketinggian gelombang berada pada ketinggian 2,5 m hingga melebihi 4 m. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan ketinggian gelombang signifikan akibat aktivitas siklon yang masif. Dalam penelitian Kafhi (2023), ketinggian gelombang signifikan yang mencapai lebih 4 m ini sangat berbahaya bagi kapal dan berada pada puncak klasifikasi ketinggian gelombang signifikan.

Saat Siklon Tropis Seroja mencapai kekuatan Siklon Kategori 2 pada 6 April 2021, ketinggian gelombang di wilayah tersebut mencapai 4 m yang ditandai dengan warna oranye pada peta. Pada 7 hingga 8 April 2021, ketinggian gelombang masih tergolong tinggi sekitar 1,25 hingga 2,5 m yang ditandai dengan warna kuning pada peta. Pada 9 hingga 10 April 2021, ketinggian gelombang mulai melandai dengan interval ketinggian 0,5 hingga 1,5 m yang ditandai dengan warna hijau pada peta. Hal ini diakibatkan oleh menurunnya dampak yang diakibatkan oleh Siklon Tropis Seroja. Namun pada 11 April 2021 terjadinya efek Fujiwhara antara Siklon Tropis Seroja dan Siklon Odette.

Hal ini mengakibatkan gelombang kembali meningkat dengan ketinggian 1,25 hingga 2,5 m yang ditandai dengan warna kuning pada peta. Pada 12 April 2021, ketinggian gelombang kembali melandai akibat menurunnya aktivitas siklonik atmosfer perairan di wilayah sekitar lokasi penelitian dengan ketinggian 0,5 hingga 1,5 m.

Dari **Gambar 2**, dapat diamati bahwa terdapat hubungan antara fase-fase siklon dengan perubahan ketinggian gelombang signifikan di perairan Pulau Sabu. Peningkatan intensitas siklon cenderung diikuti dengan peningkatan ketinggian gelombang.



Gambar 2. Peta ketinggian gelombang signifikan di wilayah perairan Pulau Sabu, Nusa Tenggara Timur saat terjadinya Siklon Tropis Seroja

Arah dan Kecepatan Arus Permukaan

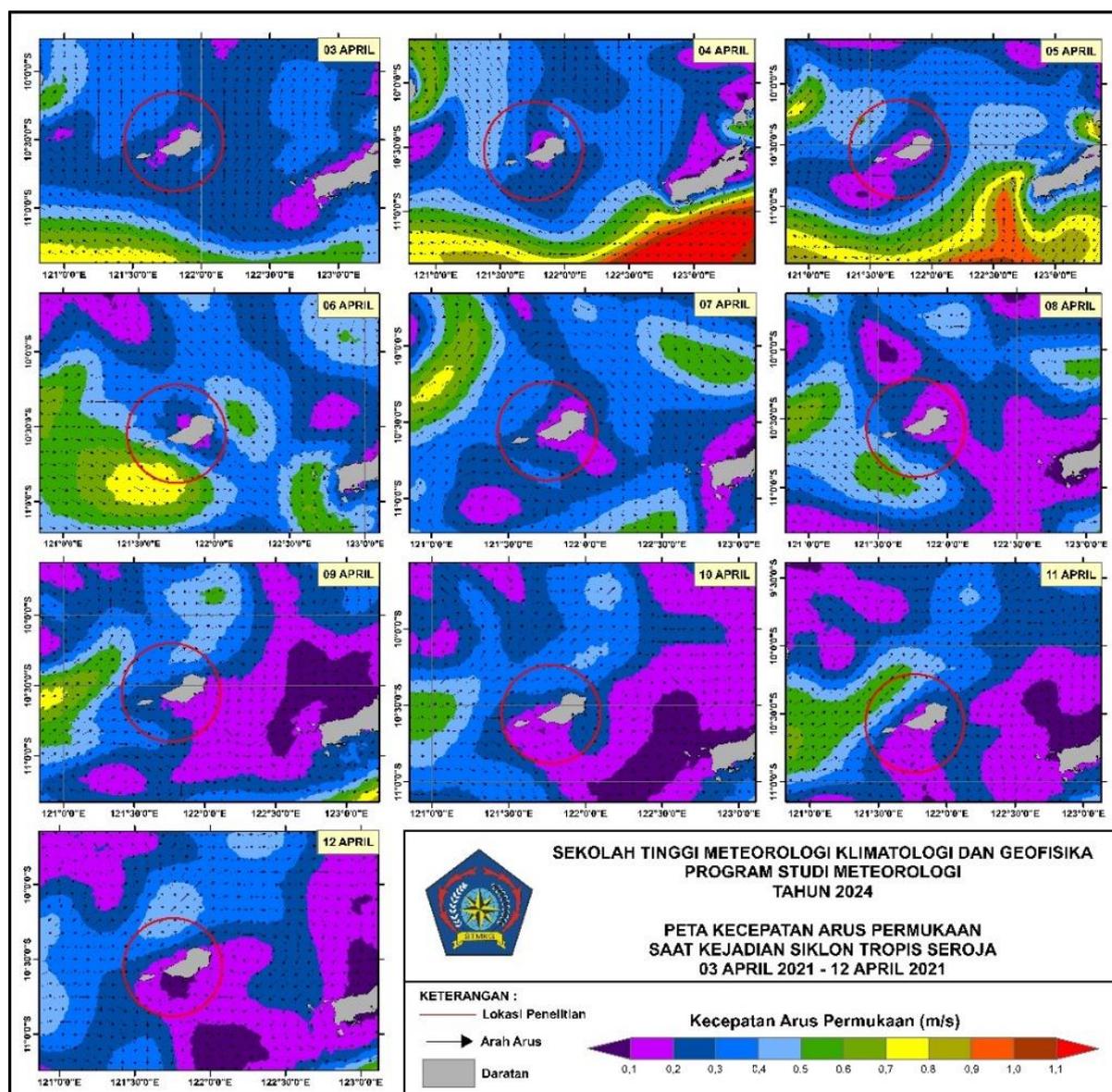
Selain gelombang, arus juga dipengaruhi oleh aktivitas siklonik yang terjadi di atmosfer. Dalam pengertiannya, aktivitas siklonik ini merujuk pada sistem cuaca yang ditandai oleh pusat tekanan rendah yang dikelilingi oleh angin yang berputar. Arus memainkan peran dalam mendistribusikan panas dan energi. Hal ini menjadikan efek domino ketika panas yang

dibawa oleh arus terakumulasi di suatu wilayah, ini dapat mendukung terjadinya siklon tropis.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada 3 April 2021, Siklon Tropis Seroja mulai memberikan dampak di wilayah perairan Pulau Sabu dengan kecepatan arus 0,2 hingga 0,3 m/s yang ditandai dengan warna biru tua. Namun pada wilayah >11 LS°, dapat diamati peningkatan kecepatan arus hingga 0,8 m/s yang diamati dari warna

kuning pada peta. Hal ini menandakan mulai adanya dampak yang ditimbulkan akibat aktivitas siklonik di wilayah perairan Pulau Sabu. Pada 4 April 2021, kecepatan arus relatif menurun di sekitar lokasi penelitian. Namun terjadi peningkatan kecepatan arus secara signifikan di wilayah 11° LS dengan kecepatan melebihi 1,1 m/s. Fenomena ini berlanjut pada 5 April 2021 yang mana kecepatan arus mulai mengalami penurunan yang relatif kecil di

perairan bagian selatan dengan kecepatan maksimal 1,1 m/s. Hal ini diamati dari warna coklat pada peta pada 11° LS. Pada 6 April 2021, kecepatan arus di sekitar Pulau Sabu mulai menurun dengan kecepatan 0,1 hingga 0,2 m/s. Di Laut Sawu dan perairan selatan lokasi penelitian, kecepatan arus juga mengalami penurunan dengan kecepatan maksimal 0,8 m/s yang ditunjukkan oleh warna kuning pada peta.



Gambar 3. Peta kecepatan dan arah arus di wilayah perairan Pulau Sabu, Nusa Tenggara Timur saat terjadinya Siklon Tropis Seroja

Sedangkan pada tanggal 7 hingga 9 April 2021, kecepatan arus melandai seiring dengan menjauhnya Siklon Tropis Seroja dari perairan Pulau Sabu, arus berada pada kecepatan maksimal 0,2 m/s. Hal ini diamati dengan semakin luasnya warna ungu muda pada peta.

Namun, pada sebagian perairan di sekitar lokasi penelitian, kecepatan arus masih terpantau mencapai 0,8 m/s yang ditandai dengan warna kuning pada peta. Akan tetapi, ini menandakan dampak yang ditimbulkan Siklon Tropis Seroja pada kecepatan arus

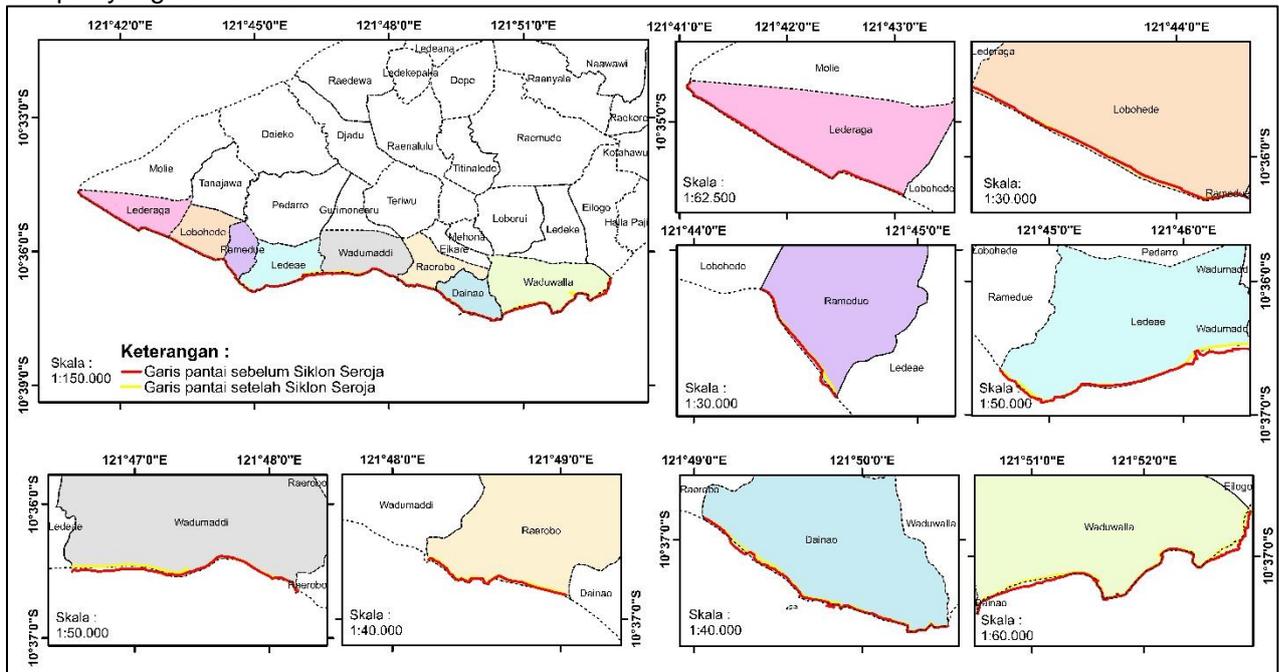
mulai melemah. Pada 10 hingga 11 April 2021, kecepatan arus relatif kecil dengan kecepatan maksimum 0,2 m/s. Pada peta, ini dapat diamati dari luasnya wilayah yang berwarna ungu muda hingga ungu tua. Namun masih terpantau adanya arus berkecepatan hingga 0,6 m/s di perairan barat Pulau Sabu. Pada 12 April 2021, kecepatan arus mulai stabil ditandai dengan sedikitnya variasi warna pada peta. Kecepatan arus pada periode ini terpantau maksimal pada kecepatan 0,5 m/s. Akan tetapi masih didominasi oleh arus berkecepatan 0,1 hingga 0,2 m/s.

Selaras dengan pengaruh siklon terhadap ketinggian gelombang, dapat diamati bahwa Siklon Tropis Seroja memiliki pengaruh langsung terhadap kecepatan arus permukaan laut selama periode siklon berlangsung. Ketika siklon masih berada pada fase pertumbuhan, dampak yang diakibatkan masih belum terlihat.

Namun ketika siklon berada pada kategori 1 dan 2, kecepatan arus semakin meningkat dan mempengaruhi wilayah sekitarnya.

Analisis Perubahan Garis Pantai

Pemisahan wilayah darat dan laut digunakan untuk melihat batas antara dua citra satelit. Dengan pemanfaatan algoritma NDWI dengan *band* 3 dan 8 pada Satelit Sentinel-2 yang telah dikoreksi secara atmosferik dan radiometrik, batas antara darat dan laut dapat dianalisis. Untuk memudahkan dalam analisis perubahan garis pantai, perlu dikonversi data raster menjadi data vektor. Pemanfaatan *tools raster to polygon* dan *raster to polyline* pada ArcMap digunakan untuk mengonversi data NDWI. Hasil konversi data raster menjadi data vektor citra Sentinel-2 dapat ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta *overlay* perubahan garis pantai sebelum dan setelah Siklon Tropis Seroja

Pada **Gambar 4**, garis pantai sebelum terjadinya Siklon Tropis Seroja digambarkan dengan warna kuning dan setelah kejadian digambarkan dengan warna merah. Secara umum, dapat diamati bahwa sebagian besar daerah mengalami kemunduran garis pantai. Kemunduran terbesar garis pantai dapat diamati di beberapa desa lokasi penelitian seperti Desa Wadumaddi, Desa Waduwakka, dan Desa Ledee.

Secara umum, lokasi penelitian memiliki kemiringan dasar pantai sebesar 3,76°. Kemiringan pantai di lokasi penelitian relatif rendah yang menunjukkan bahwa pantai tersebut memiliki lereng yang landai saat memasuki wilayah perairan. Dengan kemiringan yang landai, gelombang yang mencapai pantai kemungkinan akan melemah saat mencapai daratan. Hal ini karena pelepasan energi gelombang terjadi secara perlahan dan tersebar di area yang lebih luas seiring mendekati pantai.

Tabel 1 Hasil perhitungan perubahan garis pantai akibat Siklon Tropis Seroja

Desa	Jarak Laju Perubahan Garis Pantai (m)				Luas Daerah (Ha)	Laju Perubahan Garis Pantai (m/tahun)					
	Tertinggi	Terendah	Rata Rata			Abrasi	Akresi	Tertinggi	Terendah	Rata Rata	
			Akresi	Abrasi						Akresi	Abrasi
Laderaga	12,86	-6,53	3,98	-2,20	1,00	0,39	17,02	-8,64	5,27	-2,92	
Lobohede	12,07	-25,65	3,65	-6,13	0,61	0,49	15,97	-33,94	4,83	-8,12	
Ramedue	11,10	-47,64	2,70	-11,10	1,03	0,02	14,69	-63,05	3,57	-14,69	
Ledeae	1,56	-93,47	0,72	-31,80	9,56	0,03	2,07	-123,69	0,96	-42,09	
Wadumaddi	6,95	-68,53	2,28	-33,36	8,96	0,12	9,19	-90,69	3,02	-44,15	
Raerobo	1,20	-19,47	1,20	-9,89	2,13	0,01	1,59	-25,76	1,59	-13,09	
Dainao	2,23	-53,82	1,24	-16,15	4,46	0,02	2,96	-71,48	1,65	-21,45	
Waduwalla	7,88	-131,08	2,03	-34,97	17,41	0,05	10,43	-173,46	2,68	-46,28	

Sumber: pengolahan data

Pada **Tabel 1**, secara keseluruhan, terjadi fluktuasi antara akresi dan abrasi di berbagai lokasi penelitian, dengan beberapa desa mengalami penambahan material (akresi) sedangkan yang lain mengalami abrasi yang cukup serius. Secara spesifik, desa Laderaga, Lobohede, dan Wadumaddi menunjukkan adanya peningkatan material di beberapa bagian pantai, dengan tingkat akresi tertinggi tercatat dan rata-rata perubahan garis pantai yang positif. Hal ini mengindikasikan bahwa di beberapa area terdapat akumulasi material yang bisa jadi disebabkan oleh arus dan gelombang yang dihasilkan oleh Siklon Tropis Seroja. Rataan jarak perubahan garis pantai di Desa Laderaga mencapai akresi tertinggi sebesar 3,98 m. Jika dampak yang ditimbulkan oleh Siklon Tropis Seroja berlangsung dalam waktu yang panjang, maka diperkirakan laju akresi di desa ini mencapai 5,27 m/tahun dan abrasi 2,92 m/tahun. Walaupun laju akresi pantai di Desa Laderaga lebih besar dibandingkan laju abrasi, luasan akresi lebih kecil dibandingkan luas abrasi dengan perbandingan 72,2% dan 27,8%. Hal ini digambarkan oleh jumlah transek akresi lebih sedikit dibandingkan abrasi sehingga banyak bagian pantai yang mengalami abrasi. Di sisi lain, Desa Lobohede mengalami akresi terbesar jika dibandingkan dengan desa lainnya. Namun, nilai akresi di desa ini masih berada di bawah nilai abrasinya dengan perbandingan luasan abrasi 55,69% dan akresi 44,31%. Jarak rata-rata abrasi yang terjadi di Lobohede mencapai 6,13 m dengan prakiraan rata-rata tahunan sebesar 8,12 m/tahun.

Di sisi lain, hampir semua desa mengalami abrasi, dengan Ledee, Ramedue, dan Waduwalla sebagai contoh yang paling ekstrem. Desa-desanya ini mengalami abrasi pantai yang sangat tinggi, dengan laju abrasi tahunan yang mencapai puluhan meter per tahun. Hal ini mengindikasikan pengikisan garis pantai yang cepat dan signifikan, yang dapat berdampak

buruk terhadap lahan pertanian, infrastruktur, dan permukiman di wilayah pesisir. Khususnya, Ledee dan Waduwalla menunjukkan laju abrasi tahunan yang sangat tinggi, yang mungkin menunjukkan bahwa kondisi lokal seperti orientasi pantai terhadap arah datangnya siklon, bentuk garis pantai, dan komposisi geologis mempengaruhi tingkat kerusakan yang terjadi. Jika dilihat di Desa Ledee, jarak abrasi tertinggi mencapai 93,47 m dengan rata-rata 31,8 m. Selain itu, perbandingan luasan abrasi dan akresi di desa ini sangat ekstrem, yaitu 99,66% dan 0,34%. Tingginya abrasi di desa ini, disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah ketinggian dan arah gelombang yang mengikis wilayah pesisir dan arus yang membawa sedimen ke wilayah lain. Selain itu Desa Waduwalla mengalami dampak abrasi terbesar jika dibandingkan dengan desa lokasi penelitian lainnya. Jarak abrasi yang diakibatkan Siklon Tropis Seroja di desa ini mencapai 131,08 m dengan jarak abrasi terpanjang hanya 7,88 m. Jika seluruh transek penelitian dirata-ratakan, jarak abrasi mencapai 34,97 m dan jarak akresi 2,03 m. Luasan daerah abrasi dan akresi di Desa Waduwalla juga sangat tidak seimbang dengan perbandingan 99,73% dan 0,27%. Hal ini didukung dengan adanya dua teluk yang ada di desa ini yaitu di sekitar Pantai Benteng Ege dan Pantai Uba Happu.

Pengaruh arus dan gelombang sangat signifikan mempengaruhi garis pantai. Arus dan gelombang dapat mengikis satu sisi pantai (abrasi) dan dapat membawa sedimen kikisan ke daerah lain dan membentuk sedimentasi baru (akresi). Hal ini dapat diamati dari laju perubahan garis pantai bernilai negatif yang menunjukkan adanya aktivitas abrasi secara umum. Jika ditinjau dari penyebab terjadinya perubahan garis pantai, gelombang memiliki peran yang sangat tinggi. Hal ini dikarenakan oleh adanya anomali ketinggian gelombang yang cukup signifikan dibandingkan dengan arus. Nilai kecepatan arus

tidak berfluktuatif sehingga pengaruhnya terhadap garis pantai tidak terlalu dominan.

Ketika diamati dengan seksama, terlihat bahwa baik akresi maupun abrasi mempengaruhi luas daerah perubahan garis pantai hingga beberapa hektar. Ini menegaskan bahwa Siklon Tropis Seroja tidak hanya memiliki dampak lokal yang sempit tetapi juga mempengaruhi wilayah pesisir yang luas. Siklon Tropis Seroja telah menyebabkan perubahan signifikan pada dinamika pesisir di Pulau Sabu. Meskipun beberapa desa menunjukkan peningkatan material pada garis pantainya, dominasi dampak negatif dalam bentuk abrasi mengindikasikan adanya tantangan besar terhadap pengelolaan pantai dan adaptasi terhadap perubahan iklim dan peristiwa ekstrim. Dampak ini memerlukan penanganan dan perencanaan yang cermat untuk memitigasi kerusakan lebih lanjut dan melindungi komunitas serta ekosistem pesisir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis ketinggian gelombang dan kecepatan arus laut selama dampak Siklon Tropis Seroja di perairan Pulau Sabu, terlihat adanya pengaruh yang sangat besar antara intensitas siklon dan perubahan morfologi garis pantai. Pada tahap awal pembentukan siklon pada 3 April 2021, tercatat ketinggian gelombang 0,5 m hingga 1,25 m, yang mengalami peningkatan menjadi 1,25 m hingga 2,5 m seiring intensitas siklon pada 4 April 2021. Saat mencapai puncak intensitas Siklon Kategori 1 pada 5 April 2021, ketinggian gelombang mencapai lebih dari 4 meter, sementara kecepatan arus laut mencapai puncaknya di sekitar 11° LS, melampaui 1,1 m/s. Hasil analisis *Net Shoreline Movement* (NSM)/ jarak perubahan garis pantai dan *End Point Rate* (EPR)/ laju perubahan garis pantai menunjukkan tingkat abrasi yang signifikan, terutama di Desa Waduwalla dengan jarak rata-rata perubahan mencapai 34,97 m dan laju 46,28 m/tahun. Sedangkan akresi terbesar tercatat di Desa Laderaga dengan rata-rata jarak perubahan 3,98 m dan laju 5,27 m/tahun. Secara total, luas abrasi mencapai 45,18 Ha (97,56%) sementara akresi mencapai 1,13 Ha (2,44%). Dari penelitian ini penulis mengalami kendala dalam memvalidasi perubahan karena penelitian ini *based on data* dan tidak melakukan pengamatan langsung di lapangan. Untuk itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai perubahan garis pantai dengan melakukan pengamatan di lapangan agar menghasilkan hasil koreksi yang lebih valid. Selain itu, untuk memperkuat penelitian, dapat dilihat parameter meteorologi lainnya di sekitar lokasi penelitian, seperti curah hujan, kelembaban, dan sebagainya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada Program Studi Meteorologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah mendukung pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini. Kemudian, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada kepada bapak, ibu pembina serta teman-teman yang telah mendukung dan menyukseskan pelaksanaan penelitian dan penulisan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aniendra, A. A., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2020). Analisis Perubahan Garis Pantai dan Hubungannya Dengan Land Subsidence Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (Dsas) (Studi Kasus: Wilayah Pesisir Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 12–19. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26027>
- Annada, A. R., & Kumalawati, R. (2023). Bencana Badai Siklon Tropis di Indonesia. *Environmental Science Journal (ESJo): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 2(1), 27–31. <http://journal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/esjo>
- Astuti, Bernadetta Indri D., Laksono, Agung., Muhammad, Dzakwan T, N. & Nurbaiti, Intan. F. (2021). Dinamika Perubahan Garis Pantai Kabupaten Kendal Tahun 2000-2020. *Majalah Geografi Indonesia*, 35(1), 75–83. <http://dx.doi.org/10.22146/mgi.62301>
- Bianchi, E., & Malki-Epshtein, L. (2021). Evaluating the risk to Bangladeshi coastal infrastructure from tropical cyclones under climate change. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 57, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102147>
- Darmiati, Nurjaya, I. W., & Atmadipoera, A. S. (2020). Analisis Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 211–222. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.22815>
- Dyahwathi, N., Effendy, S., & Adiningsih, E. S. (2007). Karakteristik Badai Tropis dan Dampaknya Terhadap Anomali Hujan di Indonesia. *J. Agromet Indonesia*, 21(2), 61–72. http://www.eorc.nasda.go.jp/cgi_bin/trmm/search_t.cgi
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google earth engine open-source code for land surface

- temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing*, 12(9), 1–21. <https://doi.org/10.3390/RS12091471>
- Fuad, M., & D A Setiani, M. F. (2017). *Modul Panduan Penggunaan Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Universitas Brawijaya
- Gopal, V., Krishnamurthy, R. R., Sreeshma, T., Chakraborty, P., Nathan, C. S., Kalaivanan, R., Anshu, R., Magesh, N. S., & Jayaprakash, M. (2021). Effect of a tropical cyclone on the distribution of heavy metals in the marine sediments off Kameswaram, Southeast coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.1127>
- Halim, Halili, & Afu, L. O. A. (2016). Studi Perubahan Garis Pantai Dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Wilayah Pesisir Kecamatan Soropia. *Sapa Laut*, 1(1), 24–31. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jsl>
- Hidayat, S. I., Akhrianti, I., & Pamungkas, A. (2023). Analisis Perubahan Garis Pantai Di Pantai Matras Kabupaten Bangka Kepulauan Bangka Belitung. *Journal of Tropical Marine Science*, 6(1), 69–75. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v6i1.4102>
- Kafhi, B. (2023). *Analisis Tinggi Gelombang Signifikan Di Wilayah Pelayanan Stasiun Meteorologi Maritim Lampung Menggunakan Metode Transformasi Wavelet (Studi Kasus Januari 2011 s/d Desember 2020)* [Skripsi]. Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Kasim, F., & Salam, A. (2015). Identifikasi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit serta Korelasinya dengan Penutup Lahan di Sepanjang Pantai Selatan Provinsi Gorontalo. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 3(4), 160–167.
- Kurniadin, N., & Fadlin, F. (2021). Analisis Perubahan Morfologi Garis Pantai Akibat Tsunami di Teluk Palu Menggunakan Data Citra Sentinel-2. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 16(2), 240–247. <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v16i2.8078>
- Kurniawan, R., Harsa, H., Nurrahmat, M. H., Sasmito, A., Florida, N., Makmur, E. E. S., Swarinoto, Y. S., Habibie, M. N., Hutapea, T. F., Hendri, Sudewi, R. S., Fitria, W., Praja, A. S., & Adrianita, F. (2021). The Impact of Tropical Cyclone Seroja to the Rainfall and Sea Wave Height in East Nusa Tenggara. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012049>
- Latue, P. C., Rakuasa, H., Somae, G., & Muin, A. (2023). Analisis Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kabupaten Seram Bagian Barat Menggunakan Platform Berbasis Cloud Google Earth Engine. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 45–51. <https://doi.org/10.56211/sudo.v2i2.261>
- Masri, A. M. M., Rachman, T., & Paotonan, C. (2020). Identifikasi Perubahan Garis Pantai Kecamatan Mappakasunggu Kabupaten Takalar Dengan Menggunakan Citra Satelit. *SENSISTEK*, 3(1), 45–50. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v3i1.13239>
- McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index (ndwi) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544–3561. <https://doi.org/10.3390/rs5073544>
- McINTIRE, W. G., & Walker, H. J. (1964). Tropical Cyclones And Coastal Morphology In Mauritius 1. *Annals of the Association of American Geographers*, 54(4), 582-596.
- Mishra, M., Kar, D., Santos, C. A. G., da Silva, R. M., & ... (2022). Assessment of impacts to the sequence of the tropical cyclone Nisarga and monsoon events in shoreline changes and vegetation damage in the coastal zone of *Marine pollution* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113262>
- Muskananfola, I. L., & Feoh, F. T. (2023). Pengaruh Pendidikan Kesehatan dengan Booklet Tas Siaga Bencana Terhadap Pengetahuan Penyintas Siklon Seroja di Kabupaten Kupang. *Jurnal Keperawatan Suaka Insan (JKSI)*, 8(1), 30–36. <https://doi.org/10.51143/jksi.v8i1.422>
- Pemerintah Kabupaten Sabu Raijua (2023, 1 Agustus). *Kondisi Geografis*. Diakses pada Diakses pada 31 Desember 2023, dari <https://saburaijuakab.go.id/halaman/geografis>.
- Potabuga, E. E., Taroreh, R., & Supardjo, S. (2023). Analisis Pengaruh Bencana Abrasi Terhadap Area Pesisir Pantai Iyok Kecamatan Nuangan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. *Jurnal Spasial*, 11(1), 9–17.
- Ramadhani, Y. P., Praktikto, I., & Suryono, C. A. (2021). Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Landsat di

- Pesisir Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 10(2), 299–305. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i2.30468>
- Sekaranom, A. B., Putri, N. H., & Puspaningrani, F. C. (2021). The impacts of Seroja Tropical Cyclone towards extreme weather in East Nusa Tenggara. *E3S Web of Conferences*, 325. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132501020>
- Selamat, M. B., Ukkas, M., & Samawi, M. F. (2018). Karakterisasi Spektral Sedimen Tersuspensi di Perairan Muara Sungai Kota Makassar Menggunakan Citra Sentinel 2A. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V*, 181–190.
- Setyoningrum, D., Okta, F., Sekar, A., Akmal, F., Falbian, M., & Wicaksono, A. (2023). Analisis Perubahan Garis Pantai Dengan Metode Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Tahun 2017-2021 (Studi Kasus: Pantai Parangtritis, Kabupaten Bantul). *Journal of Fisheries and Marine Research*, 7(2), 88–100. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2023.007.02.10>
- Singa, J. C. B. G., Nuarsa, I. W., & Dirgayusa, I. G. N. P. (2023). Deteksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 di Kabupaten Klungkung, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 9(1), 70–81. <https://doi.org/10.24843/jmas.2023.v09.i01.p08>
- Surinati, D., & Kusuma, D. A. (2018). Karakteristik dan Dampak Siklon Tropis Yang Tumbuh di Sekitar Wilayah Indonesia. *Oseana*, XLIII(2), 1–12. <http://dx.doi.org/10.14203/oseana.2018.Vol.43No.2.16>
- Syaifulloh, M. D. (2015). Siklon tropis, karakteristik dan pengaruhnya di wilayah Indonesia pada tahun 2012. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2), 61–65.
- Tarigan, M. S. (2007). Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pesisir Perairan Cisadane, Provinsi Banten. *Makara Journal of Science*, 11(1), 49–55. <https://scholarhub.ui.ac.id/science/vol11/issue1/8>
- Wanta, K. C., Santoso, H., & Witono, J. R. B. (2023). Pendampingan Kelompok Petani Garam Pulau Sabu, NTT Dalam Pembuatan Tambak Garam. *Abdimas Galuh*, 5(2), 1094–1102. <http://dx.doi.org/10.25157/ag.v5i2.10382>
- Welkis, D. F. B., Sidharno, W., Wahyuni, S., & Krisnayanti, D. S. (2021). Analisis Curah Hujan Pada Badai Siklon Seroja Terhadap Aliran Debit Sungai di DAS TEMEF. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 20(2), 108–117. <https://doi.org/10.35760/dk.2021.v20i2.5048>
- Yudistira, F. A., Agustriani, F., & Fauziyah. (2023). Pemantauan Perubahan Garis Pantai Pesisir Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, XV(1), 23–31. <https://doi.org/10.56064/maspari.v15i1.21153>
- Yulius, & Ramdhan, M. (2013). Perubahan Garis Pantai di Teluk Bungus Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat Berdasarkan Analisis Citra Satelit. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(2), 417–427. http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej_itkt52
- Zaidan, R. R., Suryono, C. A., & Pratikto, I. (2022). Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2A untuk Mengevaluasi Perubahan Garis Pantai Semarang Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 11(2), 105–113. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.33395>