

Analisis Perubahan Garis Pesisir Utara Enggros Menggunakan Citra Satelit Landsat Periode 2014–2024

Sitti Rosnafi'an Sumardi¹, Tamara Louraine Jeanette Kainama^{2*}, Muhammad Hisyam², dan Kristhoper A. A. Manalu²

¹ Program Studi Matematika, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Cenderawasih. Jln. Kamp. Wolker. Waena. Papua

² Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, FMIPA Universitas Cenderawasih. Jln. Kamp. Wolker. Waena. Papua

*e-mail korespondensi: tamaralouraine97@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 06 November 2025
Disetujui : 29 November 2025
Terbit Online : 30 November 2025

Kata Kunci:

Abrasi,
Akresi,
Garis Pantai,
MNDWI

ABSTRAK

Perubahan garis pantai merupakan indikator penting dinamika pesisir yang dipengaruhi oleh faktor alam dan aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai di Pesisir Utara Enggros, Teluk Youtefa, Kota Jayapura, selama periode 2014–2024 menggunakan citra satelit Landsat. Data yang digunakan meliputi citra Landsat 8 yang telah melalui proses koreksi, masking awan, dan penggabungan tahunan. Metode utama yang diterapkan adalah *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) untuk memisahkan area darat dan perairan, kemudian dilakukan *thresholding*, morfologi, vektorisasi, serta *overlay* multi-temporal guna menghitung luasan abrasi dan akresi tiap tahun. Analisis tren temporal dilakukan menggunakan regresi polinomial orde 2–6 untuk mengevaluasi pola perubahan dan memprediksi kondisi hingga tahun 2027. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama 2014–2024, wilayah Pantai Enggros mengalami total akresi sebesar $\pm 2.157,32$ Ha dan abrasi $\pm 1.930,01$ Ha, dengan rasio rata-rata perubahan 1,12, yang menandakan dominasi akresi secara umum. Namun, area barat (sekitar Jembatan Merah dan Pantai Ciberi) menunjukkan fluktuasi signifikan, dengan abrasi terbesar terjadi pada 2023–2024 ($\pm 632,29$ Ha) dan puncak akresi pada 2022–2023 ($\pm 656,21$ Ha). Model regresi polinomial orde 6 menunjukkan hasil paling sesuai ($R^2 \approx 0,845$ untuk akresi dan $0,934$ untuk abrasi), serta memproyeksikan tren peningkatan abrasi pada 2025–2027. Secara keseluruhan, Pesisir Utara Enggros menunjukkan dinamika pesisir yang kompleks akibat kombinasi proses alami dan aktivitas pembangunan.

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir didefinisikan sebagai antarmuka darat dan laut yang saling berinteraksi secara biogeofisik dan sosial-ekonomi, dengan karakteristik unik sebagai hasil dari proses-proses interaksi tersebut (Adisasmita, 2013). Akibat fenomena alam dan aktivitas manusia, wilayah pesisir sangat rentan terhadap kerusakan. Dinamika tinggi di wilayah pesisir sangat memengaruhi pembangunan, terutama kota-kota pesisir. Salah satu indikator penting kerentanan adalah perubahan garis pantai (Pendleton et al., 2010), yang merupakan batas pertemuan darat dan laut yang bentuknya selalu berubah secara dinamis (Hamuna, 2022). Perubahan ini disebabkan oleh proses alami seperti penambahan daratan (akresi) dan pengikisan daratan (abrasi).

Perubahan garis pantai merupakan indikasi dinamika pesisir yang penting untuk dikaji karena berdampak pada ekosistem pesisir dan laut (ekosistem mangrove, ekosistem lamun, dan ekosistem terumbu karang) dan kegiatan manusia. Perubahan garis pantai yang disebabkan proses abrasi atau erosi terjadi akibat adanya arus laut dan

ombak laut yang terus menerus menghantam bibir pantai serta bentuk pantai yang relatif datar, sedangkan proses akresi pada pantai disebabkan oleh penumpukan sedimen yang berasal dari daratan dan terendapkan di pantai (Zikri et al., 2024).

Di kawasan Teluk Youtefa, percepatan pembangunan dan interaksi gelombang-sedimen berpotensi mengubah morfologi pesisir secara signifikan. Jumlah penduduk yang semakin tinggi di Kawasan Kota Jayapura mendorong percepatan pembangunan sehingga mengalami dinamika yang sangat pesat dalam berbagai hal, terutama dalam pembangunan fisik di wilayah pesisir Teluk Youtefa, khususnya di Kampung Enggros. Pembangunan fisik yang umumnya tidak memperhatikan kearifan lingkungan mengakibatkan berbagai masalah di sekitar pesisir Kampung Enggros. Akibat dari banyaknya pembangunan di Kawasan Teluk Youtefa, yang mana pembangunan di kawasan pesisir di Teluk Youtefa yang menjorok ke laut.

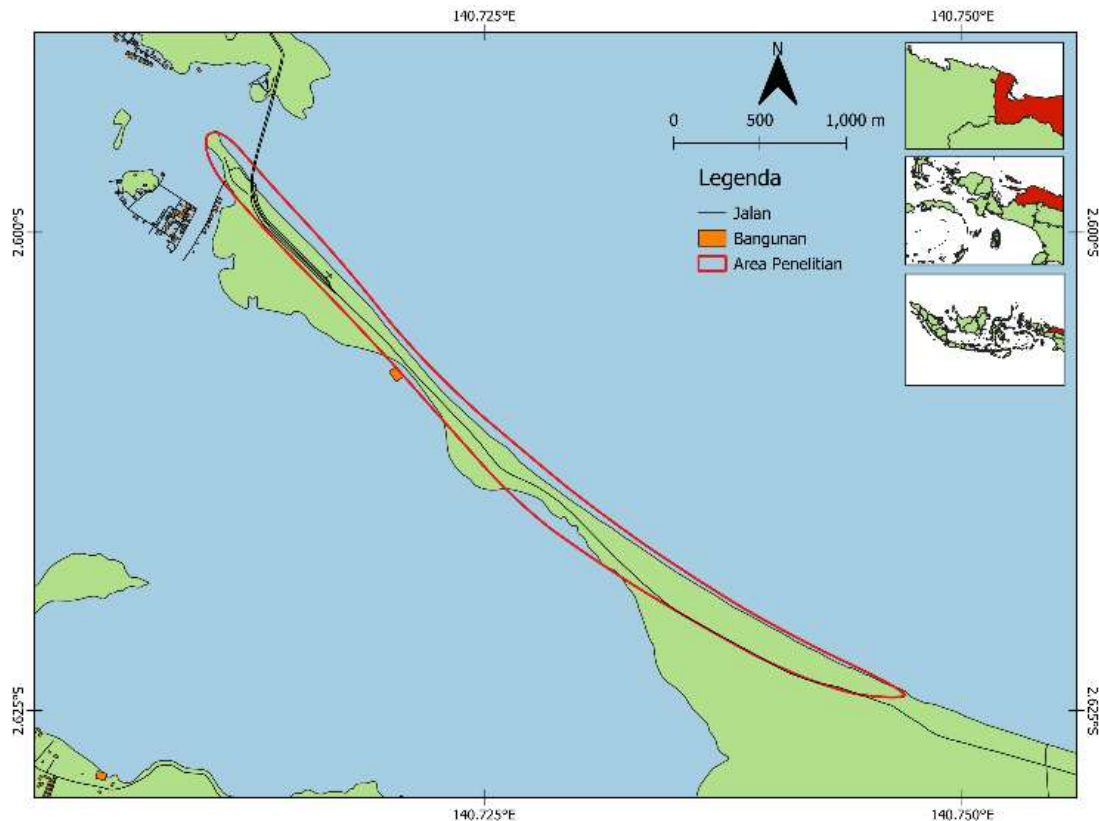
Pemantauan multi-temporal menggunakan citra satelit menjadi metode yang efisien untuk menilai tren perubahan garis pantai. Indeks MNDWI

efektif memisahkan tutupan air dari permukaan darat/vegetasi karena menggunakan pita hijau dan SWIR sehingga mengurangi kontaminasi vegetasi/nisbah tanah. Tujuan penelitian ini memetakan perubahan garis pantai Pantai Enggros pada periode 2014–2024, menghitung luasan abrasi dan akresi tiap tahun, dan mengidentifikasi zona kritis dan trend temporal menggunakan model matematis.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Area penelitian merupakan pesisir utara Enggros berada di bibir Teluk Youtefa, Kota Jayapura, (Gambar 1) dengan area penelitian meliputi garis pantai utama yang membentang ±6 km menghadap Teluk Yos Sudarso. Sumber data yang digunakan merupakan data tahunan citra Landsat 8 periode tahun 2014 hingga 2024 yang didapatkan dari Google Earth Engine yang sudah dilakukan proses cloud masking dan merging pertahunnya.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Pantai Enggros

Analisis Data

Perhitungan Modified Normalize Difference Water Index (MNDWI)

Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) merupakan salah satu indeks spektral yang digunakan untuk mendeteksi dan mengekstraksi badan air dari citra satelit secara lebih akurat. Indeks ini dikembangkan sebagai modifikasi dari NDWI (Normalized Difference Water Index). Perbedaan utama MNDWI terletak pada penggunaan kanal Green (cahaya hijau) dan Shortwave Infrared (SWIR), menggantikan kanal Near Infrared (NIR) yang digunakan pada NDWI (Mahua et al., 2024). Secara matematis, MNDWI dirumuskan sebagai:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{SWIR}}{\text{Green} + \text{SWIR}}$$

Prinsip dasar dari indeks ini adalah bahwa permukaan air memiliki reflektansi tinggi pada kanal hijau dan reflektansi sangat rendah pada kanal SWIR, sedangkan permukaan daratan, vegetasi, dan bangunan buatan memiliki karakteristik sebaliknya (Tuan et al., 2019). Dengan demikian, nilai MNDWI yang positif (lebih dari 0) umumnya mengindikasikan area perairan, sementara nilai negatif (kurang dari 0) merepresentasikan daratan.

Keunggulan MNDWI dibandingkan NDWI adalah kemampuannya yang lebih baik dalam menekan gangguan reflektansi dari area terbangun, vegetasi, dan tanah lembap, sehingga batas antara darat dan air dapat teridentifikasi lebih jelas. Indeks ini sangat efektif digunakan untuk pemantauan

perubahan garis pantai, luasan perairan, serta deteksi genangan pada wilayah pesisir (Hadibasyir et al., 2023). Selain itu, MNDWI dapat diterapkan pada berbagai sensor satelit seperti Landsat maupun Sentinel-2, sehingga fleksibel untuk analisis multitemporal.

Dalam penelitian perubahan garis pantai, MNDWI menjadi tahap awal penting karena hasilnya digunakan untuk membangun citra biner (air–darat) sebelum dilakukan proses *thresholding*, morfologi, dan vektorisasi. Nilai ambang MNDWI yang tepat akan menentukan akurasi garis pantai yang dihasilkan, sehingga sering kali dilakukan penyesuaian lokal untuk mengatasi perbedaan karakteristik wilayah seperti adanya mangrove, laguna, atau air keruh di daerah pesisir.

Thresholding & Ekstraksi Garis Pantai

Proses *thresholding* dan ekstraksi garis pantai merupakan tahapan penting dalam identifikasi batas antara daratan dan perairan berdasarkan hasil pengolahan indeks air seperti MNDWI. Tahapan ini diawali dengan penentuan *threshold*, yaitu proses untuk memisahkan area air dan darat berdasarkan nilai indeks. Metode yang umum digunakan adalah *Threshold Region of Interest (ROI)*, yang secara otomatis menentukan nilai ambang optimal berdasarkan distribusi histogram citra dengan kriteria $MNDWI > 0$ untuk air dan $MNDWI \leq 0$ untuk darat.

Setelah nilai ambang ditentukan, citra dikonversi menjadi peta masking yang terdiri atas dua kelas utama, yaitu air (1) dan darat (0). Proses ini menghasilkan pemisahan yang jelas antara kedua wilayah, sehingga mempermudah identifikasi batas perairan. Selanjutnya dilakukan pemrosesan morfologi untuk memperhalus hasil klasifikasi dan menghilangkan noise. Citra masking hasil pemrosesan kemudian diterapkan pada peta raster sehingga hanya mendapatkan data raster darat. Hasil tersebut kemudian diubah menjadi data vektor melalui proses vektorisasi. Pada tahap ini, darat bagian luar ditarik sebagai *polyline* yang merepresentasikan garis pantai. Garis ini selanjutnya dapat digunakan untuk analisis spasial lanjutan, seperti pengukuran panjang garis pantai atau deteksi perubahan posisi garis pantai dari tahun ke tahun.

Tahap akhir adalah *smoothing* dan generalisasi, yang bertujuan untuk mengurangi osilasi tajam pada garis pantai akibat resolusi piksel citra. Parameter yang digunakan adalah *Iteration* sebesar 5 dan nilai *offset* sebesar 35%. Dengan demikian, tahapan *thresholding* dan ekstraksi ini menghasilkan garis pantai yang halus, akurat, dan representatif terhadap kondisi sebenarnya di lapangan.

Analisis Perubahan & Perhitungan Luas

Tahapan analisis perubahan dan perhitungan luas dilakukan untuk mengidentifikasi dinamika garis pantai dari waktu ke waktu, serta menghitung besarnya perubahan wilayah akibat proses abrasi dan akresi. Proses ini diawali dengan *overlay* temporal, yaitu menumpang-tindihkan (*overlay*) hasil ekstraksi garis pantai dari dua tahun pengamatan secara berurutan. Melalui *overlay* ini dapat diamati pergeseran posisi garis pantai antar waktu, di mana pergeseran garis ke arah darat menunjukkan zona abrasi, sedangkan pergeseran ke arah laut menunjukkan zona akresi. Analisis ini memberikan gambaran visual dan spasial mengenai pola perubahan garis pantai yang terjadi selama periode pengamatan (Muchlisin, 2008).

Tahapan berikutnya adalah perhitungan luasan abrasi dan akresi. Hasil *overlay* garis pantai antar tahun dikonversi menjadi poligon perubahan, yang merepresentasikan area darat yang hilang (abrasi) atau area baru yang terbentuk (akresi). Luas masing-masing poligon kemudian dihitung dalam satuan hektar (Ha) menggunakan fungsi geometri spasial. Nilai luas ini dapat dijadikan dasar untuk menilai tingkat perubahan secara kuantitatif dan membandingkan dinamika garis pantai antar lokasi atau periode waktu yang berbeda.

Analisis Statistik & Pemodelan

Tahapan analisis statistik dan pemodelan bertujuan untuk merangkum hasil perubahan garis pantai secara kuantitatif dan mengidentifikasi pola temporal yang terjadi selama periode pengamatan. Langkah awal dilakukan melalui ringkasan statistik tahunan, di mana total luas abrasi dan akresi dihitung untuk setiap tahun pengamatan. Berdasarkan hasil ini diperoleh nilai agregat seperti total abrasi (Ha/tahun), total akresi (Ha/tahun), serta rasio abrasi terhadap akresi. Selain itu, dihitung pula persentase dominansi, yaitu persentase luas area yang mengalami abrasi dibandingkan akresi dalam satu tahun. Hal ini memberikan gambaran umum mengenai kecenderungan perubahan garis pantai — apakah suatu kawasan lebih didominasi oleh proses abrasi atau akresi dalam jangka waktu tertentu.

Selanjutnya dilakukan pemodelan tren temporal untuk memahami pola perubahan garis pantai secara dinamis. Pemodelan ini dapat dilakukan dengan menerapkan regresi polinomial orde 2 hingga 6 terhadap data luas abrasi dan akresi tahunan. Regresi polinomial merupakan salah satu metode pemodelan statistik yang digunakan untuk menggambarkan hubungan nonlinier antara variabel independen (waktu) dengan variabel dependen (luas abrasi atau akresi). Berbeda dengan regresi linear sederhana yang hanya memodelkan hubungan berbentuk garis lurus, regresi polinomial menambahkan pangkat-pangkat lebih tinggi dari variabel independen sehingga mampu menangkap

pola perubahan yang lebih kompleks dan berfluktuasi. Secara umum, model regresi polinomial dapat ditulis dalam bentuk (Ndiva *et al.*, 2025):

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots + a_nX^n + \varepsilon$$

Keterangan

Y = Variabel independen (luasan)

X = Variabel dependen (tahun)

a_0, a_1, \dots, a_n = Koefisien regresi

ε = Komponen error

n = orde polinomial

Dalam konteks analisis perubahan garis pantai, regresi polinomial digunakan untuk menelusuri tren temporal dan memprediksi kecenderungan perubahan di masa mendatang. Pemilihan orde polinomial yang tepat perlu mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi dan kompleksitas model. Orde yang terlalu rendah dapat gagal menangkap variasi data, sedangkan orde yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overfitting*, yaitu model terlalu menyesuaikan diri dengan data historis namun kurang baik dalam memprediksi tren nyata. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan dengan melihat koefisien determinasi (R^2) untuk memastikan bahwa model regresi polinomial yang digunakan benar-benar merepresentasikan pola perubahan garis pantai secara realistis dan ilmiah (Fauzi *et al.*, 2023).

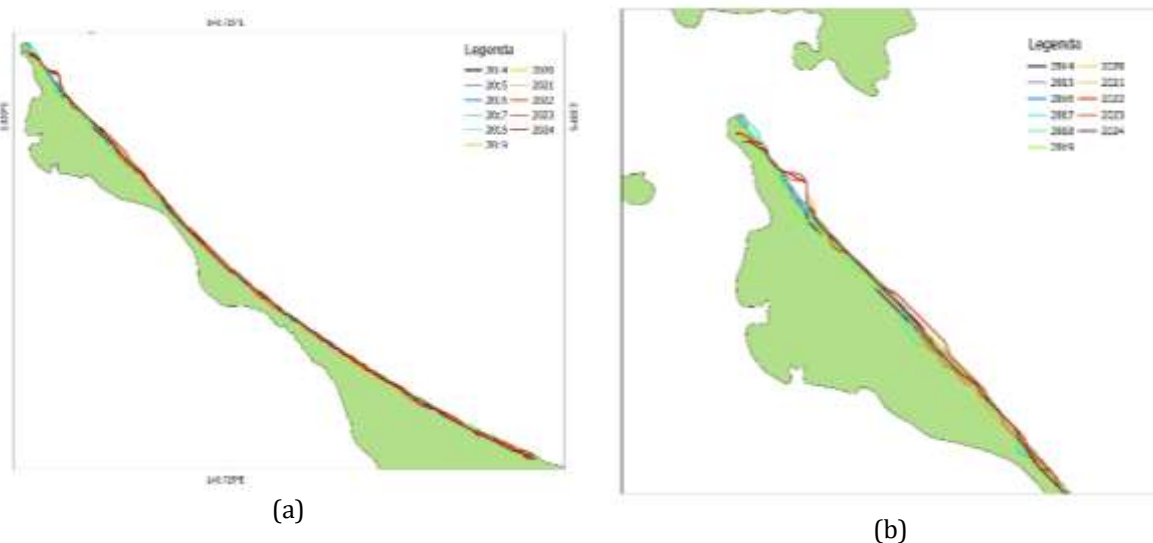
Regresi polinomial digunakan karena mampu menangkap pola nonlinier yang umum terjadi pada sistem pesisir yang dipengaruhi oleh berbagai faktor alami dan antropogenik. Melalui analisis ini dapat diketahui arah tren jangka panjang, seperti peningkatan atau penurunan laju abrasi, serta fluktuasi musiman atau periodik yang mungkin terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

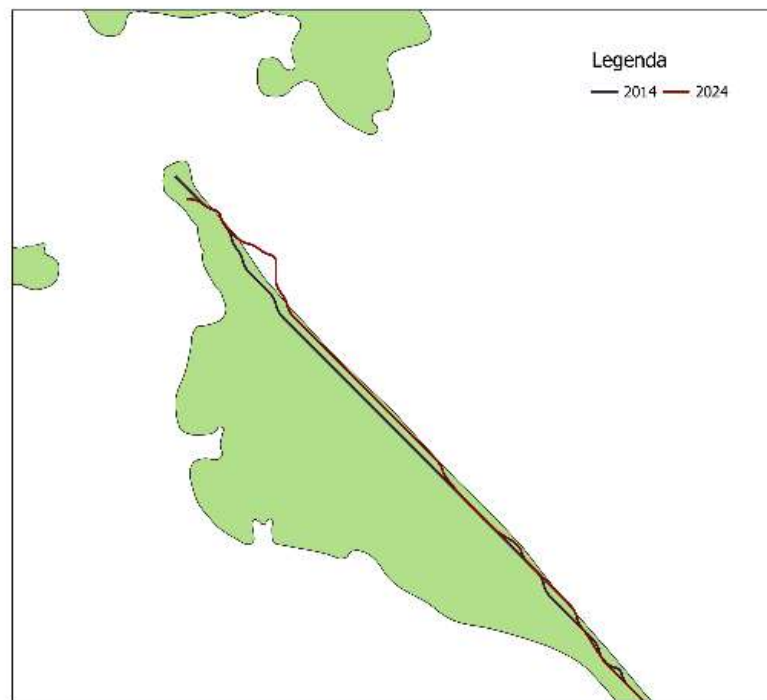
Perubahan Tahunan Garis Pantai

Faktor-faktor penyebab perubahan garis pantai di Kawasan Pesisir Kampung Enggros sangat beragam. Menurut Triatmodjo (2009), faktor-faktor utama yang bertanggung jawab atas dinamika garis pantai meliputi pasang surut, gelombang, dan arus. Lebih lanjut dijelaskan, pasang surut yang mencapai titik tertinggi dan memiliki durasi surut yang lebih lama berpotensi besar untuk membangkitkan gelombang pengerosi, meskipun kekuatan yang dihasilkan oleh siklus ini tidak melebihi energi gelombang yang dibangkitkan oleh angin (Sutirto *et al.*, 2014).

Perubahan garis pantai menunjukkan tren perubahan hampir di sepanjang area pengamatan dengan fluktuasi abrasi dan akresi yang terjadi setiap tahunnya (Gambar 2(a)). Namun, fluktuasi perubahan terbesar terdapat pada bagian barat pantai (Gambar 2(b)), tepatnya di bawah Jembatan Merah sekitar Pantai Ciberi yang menunjukkan tingkat abrasi dan akresi yang cukup signifikan. Perbandingan garis pantai sebelah barat antara tahun 2014 dan 2024 (Gambar 3) menunjukkan sebagian wilayah mengalami akresi yang cukup tinggi dengan adanya daerah pantai yang tergerus akibat abrasi. Fluktuasi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya peningkatan pembangunan di daerah pesisir Enggros terutama pembangunan Jembatan Merah yang mulai dibangun pada tahun 2015 dan diresmikan tahun 2019. Pembangunan ini menyebabkan perubahan pola arus dan sedimentasi di bibir Teluk Youtefa sehingga meningkatkan fluktuasi abrasi dan akresi di daerah tersebut.



Gambar 2. (a)Garis pantai tahun 2014-2024 dan (b) area dengan perubahan garis pantai terbesar



Gambar 3. Perbandingan garis pantai antara tahun 2014 dan 2024 bagian barat pesisir Enggros

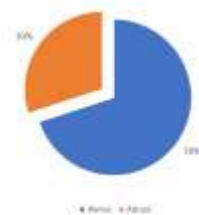
Berdasarkan perhitungan luas daerah akresi dan abrasi pertahunnya (Tabel 1), pesisir Enggros menunjukkan tingkat akresi yang tinggi dengan total luasan mencapai sekitar 2000 Ha selama 10 tahun. Akresi menunjukkan total presentase mencapai 70%

selama 1 dekade terakhir (Gambar 4). Perbedaan luas antara akresi dan abrasi selama 10 tahun berkisar 200 Ha dengan hampir seluruh tahun di dominasi oleh akresi. Dominasi ini ditandai dengan rasio antara akresi dan abrasi bernilai lebih dari 1.

Tabel 1. Luas (Ha) abrasi dan akresi, rasio sedimentasi, serta dominansi tahunan di pesisir Enggros

Periode Tahun	Abrasi (Ha)	Akresi (Ha)	Rasio	Keterangan Dominansi
2014-2015	80.19	314.66	3.92	Akresi
2015-2016	71.45	139.12	1.95	Akresi
2016-2017	129.50	112.32	0.87	Abrasi
2017-2018	335.82	30.53	0.09	Abrasi
2018-2019	175.32	205.47	1.17	Akresi
2019-2020	168.99	353.44	2.09	Akresi
2020-2021	169.84	172.59	1.02	Akresi
2021-2022	145.17	159.59	1.10	Akresi
2022-2023	21.44	656.21	30.60	Akresi
2023-2024	632.29	13.40	0.02	Abrasi
Total	1930.01	2157.32	1.12	Akresi
Rata-rata	193.00	215.73	1.12	Akresi

Dominasi akresi di sebagian besar tahun mengindikasikan fase deposisi material di sepanjang pesisir yang kemungkinan terkait pasokan sedimen dari dinamika arus lokal terutama pada daerah mulut Teluk Youtefa dekat tiang penyangga Jembatan Merah. Sebaliknya, lonjakan abrasi pada 2018 dan terutama 2024 menandakan gangguan keseimbangan sedimen yang bisa diakibatkan peningkatan energi gelombang atau aktivitas manusia.



Gambar 4. Persentase total sedimentasi di pesisir Enggros

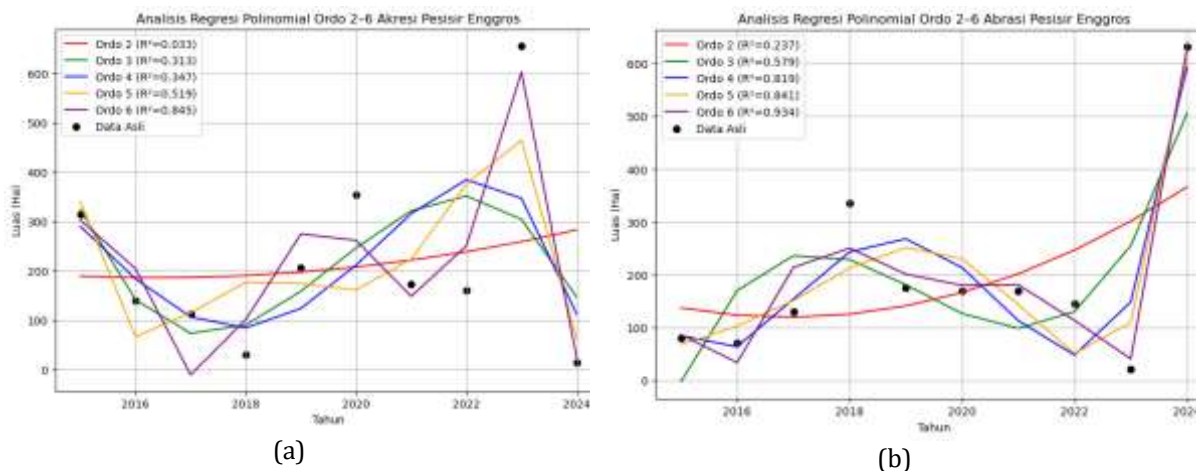
Selain itu, Menurut Triatmodjo (2012), bangunan pelindung pantai (yang digunakan untuk melindungi pesisir hasil reklamasi) dapat mengubah arah arus pantai yang datang, menyebabkan pembelokan pada gelombang merusak dan arus pembawa sedimen. Pembelokan arus ini dapat memicu erosi di lokasi lain. Hasil pengamatan lapangan juga mengonfirmasi bahwa kawasan pesisir yang tidak memiliki pelindung pantai yang memadai cenderung mengalami abrasi lebih besar dibandingkan dengan kawasan yang dilindungi secara baik. Meskipun bertujuan melindungi, perubahan arah arus yang diakibatkan oleh bangunan ini juga dapat memengaruhi proses erosi di area pesisir (Triatmodjo, 2009).

Tren Temporal dan Pemodelan

Tren temporal dari akresi menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada tahun 2023 dan turun secara drastis pada tahun 2024 (Gambar 5(a)) namun abrasi mengalami pelonjakan drastis pada tahun 2024 (Gambar 5(b)). Analisis regresi polinomial dari orde ke 2 hingga 6, baik pada akresi maupun abrasi, menghasilkan pendekatan terbaik pada orde ke 6 dengan nilai korelasi sebesar 0.845

pada akresi dan 0.934 pada abrasi yang menunjukkan tren yang paling mendekati dengan data asli. Berdasarkan analisis polinomial, pada periode tahun 2025-2027 akresi akan mengalami penurunan dan abrasi akan mengalami peningkatan. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi pesisir di daerah Pesisir Enggros akan mengalami kerusakan yang signifikan karena aktifitas abrasi tanpa adanya akresi pada daerah tersebut. Kondisi abrasi dapat diduga akan terus mengalami peningkatan dilihat pada tren polinomial orde 2 hingga 6 yang cenderung mengalami peningkatan di akhir sedangkan akresi hanya pada orde 3 hingga 6.

Regresi polinomial kerap digunakan untuk memodelkan perubahan garis pantai yang bersifat non-linear. Sebagai contoh, Bruno *et al.* (2016) menerapkan evolutionary polynomial regression (EPR) untuk memprediksi dinamika pantai jangka pendek dan memvalidasi modelnya dengan membandingkan posisi pantai teramati dengan hasil prediksi model. Hasilnya menunjukkan bahwa model regresi polinomial yang dihasilkan memiliki tingkat kesalahan yang dapat diterima atau dengan kata lain, output prediksi pantai cukup mendekati data observasi.



Gambar 5. Analisis tren dan regresi polinomial perubahan (a)akresi dan (b)abrasi selama periode 2014-2024

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pantai Enggros di Teluk Youtefa mengalami perubahan garis pantai yang dinamis selama periode 2014-2024. Berdasarkan analisis citra satelit menggunakan metode MNDWI, wilayah ini mengalami total akresi sekitar 2.157,32 hektar dan abrasi sekitar 1.930,01 hektar, dengan rasio rata-rata perubahan sebesar 1,12 yang mengindikasikan dominasi proses akresi secara keseluruhan. Meskipun demikian, perubahan tersebut bersifat fluktuatif secara temporal dan spasial, terutama di bagian barat pantai yang menunjukkan tingkat abrasi tertinggi pada tahun 2023-2024 dan akresi

terbesar pada tahun 2022-2023. Analisis regresi polinomial orde 6 menghasilkan kecocokan model terbaik dengan nilai R^2 0,845 untuk akresi dan 0,934 untuk abrasi, serta memperlihatkan kecenderungan peningkatan abrasi pada periode 2025-2027. Temuan ini mengindikasikan bahwa dinamika garis pantai di kawasan Enggros dipengaruhi oleh kombinasi faktor alami, seperti arus laut, pasang surut, sedimentasi, serta aktivitas pembangunan pesisir. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan rutin berbasis penginderaan jauh, verifikasi lapangan, serta penerapan strategi pengelolaan pesisir yang berkelanjutan guna

meminimalkan risiko abrasi dan menjaga keseimbangan ekosistem pesisir di Teluk Youtefa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmita, Rahardjo. 2013. Pembangunan Kelautan dan Kewilayahan, Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Bruno, D. E., Barca, E., Gonçalves, R. M., Lay-Ekuakille, A., Maggi, S. & Passarella, G. 2016. *Evolutionary Polynomial Regression Model for the Prediction of Coastal Dynamics*. In: Proceedings of the 2nd Edition Workshop on Environmental Instrumentation and Measurements, IMEKO TC19, Reggio Calabria, Italy, 28 October 2016. IMEKO.
- Fauzi, F.A.N., Santoso, R. & Maruddani, D.A.I. 2023. Pemodelan data time series menggunakan pendekatan regresi polinomial lokal pada data harga saham MDKA. *Indonesian Journal of Applied Statistics*, 6(2): 186-197. <https://doi.org/10.13057/ijas.v6i2.80118>
- Hadibasyir, H.Z., Firdaus, N.S., Fikriyah, V.N. & Sari, D.N. 2023. Assessing performance of modified spectral indices as land surface temperature indicators in tropical urban areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1190: 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1190/1/012005>
- Hamuna, B., Kalor, D John. 2022. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System: Studi Kasus Wilayah Pesisir Kota Jayapura, Provinsi Papua. *Acropora: Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*. Vol. 5, No. 2, Hal. 101 – 110. <http://ejournal.uncen.ac.id/index.php/ACR>
- Landoala, Tasrif. Kondisi & Potensi Wilayah Pesisir, *Jurnal Ilmu Hukum*, <http://retorics.blogspot.com/2015/02/html>, diakses pada tanggal 05 Juli 2018.
- Mahua, M.H., Kasim, F. & Pasingi, N. 2024. Analisis perubahan garis pantai di Kota Gorontalo menggunakan teknologi penginderaan jauh. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 11(1): 78-83. <https://doi.org/10.29103/aa.v11i1.12169>
- Muchlisin Arief, Gathot Winarso, dan Teguh Prayogo. 2008. Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan data Satelit Landsat di Kabupaten Kendal. *Jurnal penginderaan jauh* vol 8: Jakarta
- Ndiva, S.T., Daratullaila, A., Kurniawan, A., Audiyah, T., Ginting, L.I. & Saumi, F. 2025. Model regresi untuk menganalisis hubungan antara produksi pala dan produk domestik regional bruto Indonesia. *Jurnal Pengabdian dan Penelitian Masyarakat Mandiri (JPMM)*, 5(1): 60-63.
- Pendleton, E. A., Thieler, E. R. dan Williams, S. J. 2010. Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea- and lake level change. *Journal of Coastal Research*, 261(261): 176-183.
- Putra, H., Prasetyo, L.B. & Santoso, N. 2016. Monitoring perubahan garis pantai dengan citra satelit di Muara Gembong Bekasi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(2): 178-186. <https://doi.org/10.19081/jpsl.2016.6.2.178>.
- Sutirto & Diarto Trisnoyuwono. 2014. Gelombang dan Arus Laut Lepas. GRAHA ILMU: Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2009, Teknik Pantai, cetakan ke lima. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
- Zikri, F.A., F. M. Hasbi, A. P. Nugroho, W. W. Wibowo, & A. A. R. Hidayat. 2024. Analisis Proses Akresi Pantai pada Zona Wisata di Pesisir Selatan Kulon Progo dengan Citra Sentinel-2. *Jurnal Geodesi* 10(1): 68-78