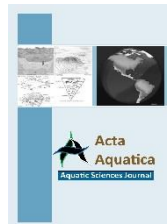




Acta Aquatica

Aquatic Sciences Journal



Analisis perubahan garis pantai di Kota Gorontalo Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh

Analysis of shoreline changes in the city of Gorontalo using remote sensing technology

Received: 20 July 2023, Revised: 25 January 2024, Accepted: 25 January 2024
DOI: 10.29103/aa.v11i1.12169

Mudalifa H. Mahua^a, Faizal Kasim^{b*}, dan Nuralim Pasingi^b

^a Program Sarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Negeri Gorontalo

^b Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Negeri Gorontalo

Abstrak

Wilayah pesisir penting untuk kegiatan ekonomi, tetapi juga rentan terhadap perubahan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Penggunaan teknologi penginderaan jauh dapat membantu monitoring perubahan garis pantai yang efisien dan akurat terkait dinamika spasial-temporal garis pantai wilayah lokal, yang yang diperlukan dalam pengembangan strategi pengelolaan pesisir yang efektif. Dengan menggunakan metode index air Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) untuk ekstraksi garis pantai, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kawasan pantai (akresi) sebagai bagian proses yang dominan pada kestabilan pantai di hampir seluruh wilayah pesisir Kota Gorontalo selama periode 2000-2022, mengalami percepatan *trend* secara signifikan selama periode 2015-2022 dengan peningkatan laju akresi sebesar 60.15%. Laju akresi pada periode ini telah menyebabkan peningkatan luas daratan kawasan pantai sebesar 425.44% dibandingkan akresi yang terjadi selama periode 2000-2015. Temuan penelitian ini dapat dijadikan dasar penelitian lebih lanjut mengenai dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem pesisir dan efektivitas strategi pengelolaan pesisir Kota Gorontalo.

Kata kunci: Google earth engine; kestabilan pantai; landsat; sentinel-2; MNDWI

Abstract

Coastal areas are essential for economic activities but are also vulnerable to environmental changes caused by human activities. Remote sensing technology can help monitor shoreline changes efficiently and accurately related to the spatial-temporal dynamics of the local area's coastline, which is needed to develop an effective coastal management strategy. By using the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) water index method for shoreline extraction, the results show that the addition of coastal areas (accretion) as part of the dominant process for coastal equilibrium in almost all coastal regions in Gorontalo City during the 2000-2022 period, experienced trend acceleration significantly during the 2015-2022 period with an increase in the accretion rate of 60.15%. The accretion rate in this period has resulted in an increase in the land area of the coastal zone by 425.44% compared to the accretion that occurred during the 2000-2015 period. The findings of this study can be used as a basis for further research regarding the impact of human activities on coastal ecosystems and the effectiveness of coastal management strategies for Gorontalo City.

Keywords: Google earth engine; coastal equilibrium; landsat; sentinel-2; MNDWI

1. Introduction

1.1. Latar belakang

Informasi mengenai garis pantai berperan penting untuk aktivitas di wilayah pesisir, khususnya bagi Indonesia sebagai negara kepulauan (Ginting & Faristyawan, 2020). Garis pantai ialah garis imajiner yang menjadi batas antara badan air laut dan daratan, menandai garis pasang dan surut terendah, garis pasang surut tertinggi, dan garis ketinggian air rata-rata yang dipengaruhi oleh pasang surut. Penentuan letak garis pantai dan ekstraksinya sangat penting untuk eksplorasi dan pemetaan wilayah pesisir, terumbu karang, dan pulau. Hal tersebut sangat berperan penting terhadap perencanaan dan perlindungan wilayah pesisir, memastikan keamanan masyarakat,

* Korespondensi: Prodi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Negeri Gorontalo. Kota Gorontalo, Gorontalo, 96128, Indonesia.
Telp: +62-81386116119
e-mail: faizalkasim@ung.ac.id

mengekstraksi pulau dan terumbu karang, dan meningkatkan navigasi (Kasim & Salam, 2015; Ding *et al.*, 2021). Penelitian menunjukkan pentingnya pemantauan dan studi rinci tentang dinamika spasial-temporal garis pantai untuk wilayah lokal, mengingat sifat dinamis garis pantai yang bisa diakibatkan oleh proses dan faktor-faktor dari darat maupun lautan, seperti seperti gelombang, arus pasang surut, kenaikan permukaan laut, penurunan muka tanah, aktivitas manusia, dan banyak faktor lainnya (Kasim & Siregar, 2012).

Eksplorasi sumber daya pesisir, dan migrasi serta perubahan gaya hidup masyarakat pesisir dapat berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kestabilan proses keseimbangan di wilayah pesisir. Hal tersebut bisa saja terjadi sebagaimana menurut Wicaksono & Darmawan (2021) bahwa aktivitas pembangunan di wilayah pesisir khususnya di kota-kota besar di Indonesia yang cenderung tidak memperhatikan daya dukung lingkungan di wilayah sempadan pantai. Kegiatan pemanfaatan lahan berupa reklamasi untuk pemukiman, serta kebutuhan industri dan pariwisata dan lainnya merupakan contoh yang dapat memberikan tekanan terhadap terjadinya perubahan kawasan sepadan dan garis pantai yang mengancam eksistensi kota-kota dan negara pesisir (Hidayah & Apriyanti, 2020; Karlina & Viana, 2020; Isdianto *et al.*, 2020).

Wilayah pesisir Kota Gorontalo sejak tahun 2000 mengalami peningkatan aktivitas pembangunan yang pesat, seiring perubahan wilayah administrasi Gorontalo dari semula merupakan salah satu wilayah Provinsi Sulawesi Utara menjadi propinsi tersendiri dengan Kota Gorontalo sebagai ibukota provinsi Gorontalo. Kondisi perkembangan tersebut berdampak pada peningkatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya lahan yang berada di wilayah Kota Gorontalo, termasuk kawasan sepadan pantai, mengingat kawasan ini termasuk salah satu pusat kegiatan ekonomi penting Kota Gorontalo dengan keberadaan pelabuhan laut dan pelabuhan perikanan, serta tempat pendaratan ikan (TPI). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan monitoring untuk memperoleh pemahaman terkait perubahan garis pantai di kawasan pesisir Kota Gorontalo untuk membantu perencanaan pembangunan berkelanjutan yang efektif di kawasan ini.

Teknologi penginderaan jauh, yang tersedia dalam berbagai jenis data dan resolusi spasial-temporal (Auliya *et al.*, 2017; Julianto & Anggara, 2021), dapat memberikan kemudahan dalam mengidentifikasi perubahan garis pantai di kawasan pesisir pantai secara efisien terkait waktu yang relatif cepat serta hasil yang akurat (Kurniadin & Fadlin, 2021). Penggunaan data penginderaan jauh banyak digunakan dalam mengekstraksi dan mendeteksi garis pantai, mengubah metode tradisional sebelumnya dalam pengumpulan data sehingga menyediakan kemudahan untuk studi garis pantai skala besar untuk memantau perubahan garis pantai secara spasial dan temporal (Ding *et al.*, 2021).

1.2. Identifikasi masalah

Pemantauan garis pantai yang dinamis sangat penting, terutama mengingat dampak eksploitasi sumber daya lahan berkaitan dengan pembangunan di kawasan pesisir. Situasi di Kota Gorontalo, yang mengalami pembangunan dan eksploitasi pesat, memerlukan strategi monitoring garis pantai yang efektif untuk pembangunan berkelanjutan. Implementasi teknologi penginderaan jauh dapat membantu dalam mendeteksi dan mengekstraksi garis pantai secara efisien dan akurat.

1.3. Tujuan dan manfaat

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi perubahan garis pantai di Kota Gorontalo dari rentang tahun 2000 - 2022 dengan

memanfaatkan teknologi penginderaan jauh, dan tingkat akurasi hasil pemetaan perubahan garis pantai. Data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi informasi bagi pemerintah dalam menetapkan kebijakan pengelolaan kawasan pesisir pantai untuk rencana pengelolaan dan pengembangan kawasan pesisir Kota Gorontalo.

2. Materials and Methods

2.1. Waktu dan tempat

Waktu penelitian ini dilakukan selama bulan Februari sampai pada bulan April tahun 2023. Lokasi penelitian merupakan kawasan pantai yang terdapat di wilayah Kota Gorontalo, meliputi empat kelurahan pesisir, yaitu; Kelurahan Leato Utara, Kelurahan Leato Selatan, Kelurahan Pohe dan Kelurahan Tanjung Kramat.

2.2. Bahan, alat, dan pengumpulan data penelitian

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini terdiri atas seleksi koleksi data citra dan pengumpulan data lapangan melalui survei. Pengumpulan kedua jenis data dilakukan secara *purposive*, sebagai berikut:

- Kriteria yang ditentukan dalam pengumpulan data citra satelit multi-temporal yaitu ketersediaan untuk tahun 2000, 2015, dan 2022, memiliki presentase tutupan awan 20%, serta sudah terkoreksi secara atmosferik dan radiometrik (Tabel 1). Untuk alasan kemudahan, kebutuhan data ini dikumpulkan memanfaatkan *platform big data cloud* yang tersedia pada *google earth engine*.
- Survei pengumpulan data lapangan mengacu pada Kasim & Salam (2015), yaitu pada masing-masing lokasi *feature class* hasil ekstraksi yang diperlukan untuk langkah uji akurasi, titik ikat, dan data lainnya.

Jenis citra berbeda (Tabel 1) yang digunakan dalam penelitian ini, adalah didasarkan atas keputusan terhadap kebutuhan analisis terhadap data citra yang memenuhi syarat *purposive* kriteria tutupan awan dan ketersediaannya secara spasial-temporal (wilayah kajian dan waktu pengamatan).

Tabel 1

Jenis dataset citra yang digunakan

No	Jenis Data Citra	Tahun	Resolusi (m)
1	Landsat 5 TM, Collection 2 Tier 1 TOA Reflectance	2000	30
2	Landsat 8 Landsat Collection 2 Tier1 TOA Reflectance	2015	30
3	Harmonized Sentinel-2 MSI: Multi-Spectral Instrument, Level-2A	2022	10

2.3. Pengolahan data

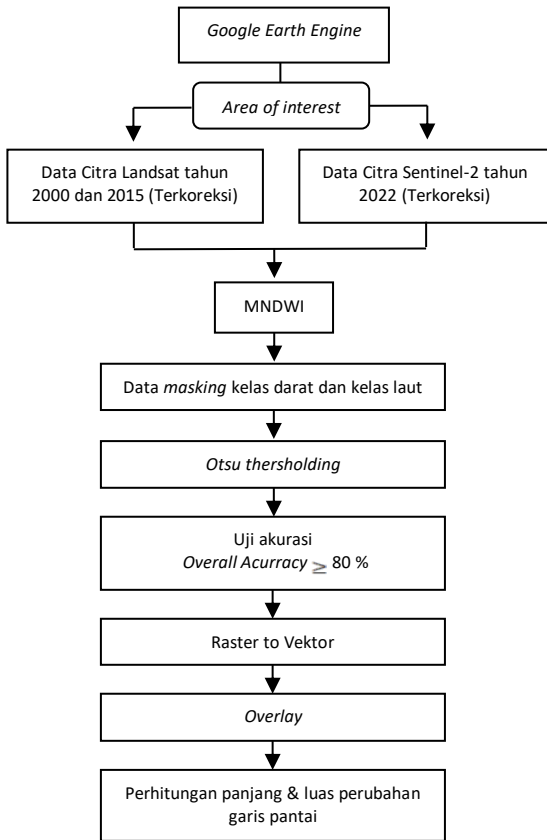
Teknik deliniasi batas darat dan laut untuk mendeteksi perubahan garis pantai dalam penelitian ini menggunakan metode algoritma *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*. MNDWI adalah indeks citra yang dihitung dari citra *multiband* dan menekankan fitur air sambil mengurangi efek area terbangun, yang sering berkorelasi dengan air pada indeks lain.

2.4. Prosedur penelitian

2.4.1. Masking darat-laut

Langkah *masking* menentukan nilai ambang batas (*threshold value*) pada batas darat-air, dapat dilakukan melalui nilai piksel MNDWI. Nilai *threshold* yang digunakan dalam penelitian ini ialah nilai 0.0 untuk menghasilkan citra *binner* atau *masking* darat terhadap air. *Google earth engine* memungkinkan untuk mengeksport dataset hasil olahan untuk dianalisis di *platform* lain. Terkait dengan hal tersebut, langkah pengolahan

dataset citra untuk mengekstraksi garis pantai menggunakan *platform google earth engine* yang terdiri atas tahapan; pemilihan dataset sesuai criteria, penapisan temporal dan spasial, penerapan metode MNDWI dan *otsu threshold* (Gambar 1).



Gambar 1. Prosedur-prosedur pengolahan data.

2.4.2. Konversi raster to vector dan overlay

Hasil olahan *dataset* berupa *raster biner* (tiff) di ekspor untuk pengolahan lebih lanjut berupa *overlay* serta *confusion matrix* untuk uji akurasi menggunakan *software* QGIS melalui langkah konversi *raster to vector* (Gambar 1).

2.4.3 Uji akurasi

Uji akurasi pada penelitian ini dilakukan pada data citra hasil interpretasi tahun 2022, mengikuti pendapat Lubis *et al* (2018) bahwa perhitungan uji akurasi dapat dilakukan dengan menggunakan data citra perekaman tahun terdekat dengan tahun proses pengolahan data citra.

2.6. Analisis data

Rumus MNDWI menggunakan kisaran panjang gelombang 0,5-0,6 μm (band *green*) dan band *shortwave infrared* (SWIR) dengan panjang gelombang 0,55-1,75 μm., dimana rumus index ini dihitung sebagai $(Green - SWIR) / (Green + SWIR)$ (Xu, 2006). Penerapan jenis band citra tersebut dalam penghitungan rumus MNDWI disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2
Jenis penggunaan band data set citra dan penerapan rumus MNDWI

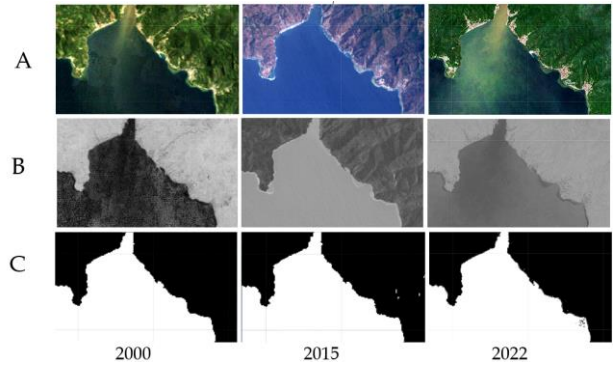
No	Jenis Data Citra	Rumus MNDWI
1	Data Citra Landsat-5	$MNDWI = \frac{band\ 2 - band\ 5}{band\ 2 + band\ 5}$ (Xu, 2006)
2	Data Citra Landsat-8	$MNDWI = \frac{band\ 3 - band\ 6}{band + band\ 6}$ (Ko <i>et al.</i> , 2015 dalam Hasan <i>et al.</i> , 2020)

No	Jenis Data Citra	Rumus MNDWI
3	Data Citra Sentinel-2A	$MNDWI = \frac{Band\ 11 - Band\ 3}{Band\ 11 + Band\ 3}$ (Wijaya <i>et al.</i> , 2021)

Hasil transformasi masing-masing *dataset* citra menghasilkan peta citra MNDWI yang memiliki rentang nilai piksel -1 hingga 1. Nilai positif menunjukkan adanya air atau genangan air dan awan, sedangkan nilai negatif menunjukkan adanya daratan dan daerah terbangun.

3. Result and Discussion

Penerapan analisis berdasarkan komposit citra *true color*, dan hasil penerapan metode MNDWI dengan *otsu threshold* 0.0 berupa citra biner darat-air disajikan pada Gambar 2.

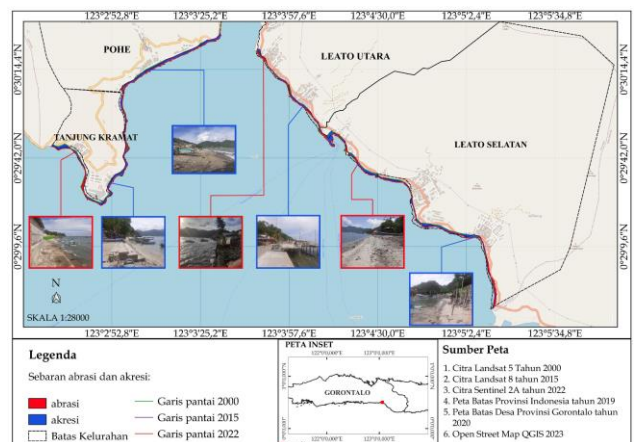


Gambar 2. Peta citra biner dataset 2000, 2015, 2022 hasil transformasi penerapan algoritma Otsu Threshold (Keterangan: A= Komposit True Color RGB, B=Citra MNDWI, C=Citra Biner).

3.1. Feature garis Pantai

Feature garis pantai berupa hasil masking darat terhadap laut atau sebaliknya menunjukkan tampilan perbedaan batas antara darat dan air secara jelas yang direpresentasikan oleh peta MNDWI. Nilai piksel darat cenderung <0 sedangkan badan air memiliki nilai pixel >0 (Hasan *et al.*, 2020). Penerapan aloraritma *otsu threshold* menghasilkan data citra *biner* yang mengelompokkan nilai MNDWI menjadi dua nilai pixel yaitu nilai 1 sebagai darat dan nilai pixel 0 sebagai badan air (Gambar 2).

Hasil analisis *overlay* atas luas (*polygon*) dan panjang garis pantai (*polyline*) garis pantai tahun 2000, 2015 dan 2022 wilayah pesisir pantai Kota Gorontalo, yang diperoleh dari hasil ekspor raster binerasasi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta perubahan garis pantai Kota Gorontalo tahun 2000-2022

3.2. Perubahan pantai

Analisis berupa perubahan panjang dan luas pantai berurutan-turut disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses akresi merupakan proses yang

dominan dibandingkan erosi di masing-masing wilayah pesisir kelurahan Kota Gorontalo. Pengamatan perubahan *feature* panjang garis dan luas area menunjukkan *trend* perubahan ini yang sejalan dengan laporan sebelumnya berdasarkan pengamatan periode waktu 2000-2015, bagi perubahan di wilayah Kecamatan Dumbo Raya (Kasim & Salam, 2015). Analisis lanjut untuk melihat perbandingan nilai laju perubahan panjang garis pantai, menunjukkan laju perubahan garis pantai yang signifikan sepanjang 7 tahun terakhir (periode 2015-2022) dibandingkan periode perubahan sebelumnya selama 15 tahun (2000-2015), dengan perbedaan laju perubahan panjang garis pantai sebesar 6468.52% (Tabel 3).

Tabel 3

Perubahan *feature* panjang garis pantai pesisir kelurahan di Kota Gorontalo.

Pesisir Pantai Kota Gorontalo	Panjang (km)			2000-2015 (km)	Proses	Perubahan				
	2000	2015	2022			Laju (m/thn)	2015-2022 (km)	Proses	Laju (m/thn)	
Kecamatan Dumbo Raya										
Kelurahan Leato Utara	1.18	1.17	1.44	-0.008	Abrasi	-0.53	0.27	Akresi	38.71	
Kelurahan Leato Selatan	3.40	3.41	4.22	0.010	Akresi	0.67	0.80	Akresi	114.71	
Jumlah	4.58	4.58	5.65	0.002	Akresi	0.13	1.07	Akresi	153.43	
Kecamatan Hulongthlangi										
Kelurahan Pohe	1.37	1.40	1.81	0.028	Akresi	1.87	0.41	Akresi	59.00	
Kelurahan Tanjung Kramat	2.44	2.46	2.76	0.029	Akresi	1.93	0.29	Akresi	42.00	
Jumlah	3.81	3.86	4.57	0.057	Akresi	3.80	0.71	Akresi	101.00	
Total Panjang keseluruhan	8.38	8.44	10.22	0.059	Akresi	3.93	1.78	Akresi	254.43	

Tabel 4

Luas proses abrasi dan akresi *feature* polygon kelurahan di Kota Gorontalo.

Pesisir Pantai Kota Gorontalo	Panjang (km)			2000-2015 (km)	Proses	Perubahan				
	2000	2015	2022			Laju (m/thn)	2015-2022 (km)	Proses	Laju (m/thn)	
Kecamatan Dumbo Raya										
Kelurahan Leato Utara	1.18	1.17	1.44	-0.008	Abrasi	-0.53	0.27	Akresi	38.71	
Kelurahan Leato Selatan	3.40	3.41	4.22	0.010	Akresi	0.67	0.80	Akresi	114.71	
Jumlah	4.58	4.58	5.65	0.002	Akresi	0.13	1.07	Akresi	153.43	
Kecamatan Hulongthlangi										
Kelurahan Pohe	1.37	1.40	1.81	0.028	Akresi	1.87	0.41	Akresi	59.00	
Kelurahan Tanjung Kramat	2.44	2.46	2.76	0.029	Akresi	1.93	0.29	Akresi	42.00	
Jumlah	3.81	3.86	4.57	0.057	Akresi	3.80	0.71	Akresi	101.00	
Total Panjang keseluruhan	8.38	8.44	10.22	0.059	Akresi	3.93	1.78	Akresi	254.43	

Penyebab akresi pantai di Indonesia dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah reklamasi pantai (Mutaqin *et al.*, 2021), serta adanya bangunan buatan seperti *groin*, *jetty*, *breakwater*, dan pelabuhan (Munandar & Kusumawati, 2017). Selain itu, keberadaan sungai-sungai besar, seperti yang banyak terdapat ada di pantai Timur Sumatera dan Kalimantan juga dapat menjadi penyebab akresi pantai karena menjadi pemasok sedimen yang dapat merubah garis pantai (Yulius *et al.*, 20020). Kondisi berbagai faktor tersebut, kecuali reklamasi, bisa ditemui pada kondisi pesisir wilayah Kota Gorontalo. Walau demikian, dibutuhkan penelitian lanjutan hidro-oseanografi untuk menentukan faktor-faktor yang dominan menyumbangkan akresi akibat sumbangan sedimentasi yang berasal dari muara sungai di wilayah kajian.

Penelitian tersebut penting, mengingat informasi sebelumnya yang menyebutkan implikasi muatan sedimen pada akresi yang dominan di kawasan pesisir Kota Gorontalo berdasarkan kondisi geomorfologi merupakan daerah pertemuan sungai-sungai yang mengalir masuk melewati wilayah kota (Sungai Bolango dan Sungai Tamalate) serta bagian hilir dari daerah aliran sungai (DAS) Bolango, sehingga menerima dampak kegiatan di daerah hulu (*upland areas*) berupa aliran sedimen dan material lain. Demikian pula, antara lain pada peningkatan pembangunan infrastruktur dasar dan ekonomi serta bertambahnya hunian padat penduduk di kawasan pesisir baik di sepanjang muara Sungai Bone maupun sempadan pesisir

Trend perbandingan yang mirip ditemukan pula pada analisis laju perubahan luas area abrasi dan akresi pada kedua periode pengamatan. Proses abrasi berkurang dari semula 0.51 ha/tahun selama periode 2000-2015 menjadi 0.49 ha/tahun pada pada periode 2015-2022, atau terjadi pengurangan laju abrasi sebesar -3.90%. Hal berbeda terdapat pada penambahan luas area yang diakibatkan oleh laju akresi, yakni sebesar 1.37 ha/tahun pada periode 2000-2015 menjadi 2.19 ha/tahun pada periode 2015-2022 atau terjadi peningkatan sebesar 60.15% laju akresi pada kedua periode. Dimana, perbandingan laju perubahan luas kawasan pantai di kedua periode ini adalah sebesar 425.44% (Tabel 4).

(Husain *et al.*, 2019). Temuan kami menunjukkan bahwa dugaan implikasi sumbangan sedimentasi dan pertumbuhan infrasktruktur tersebut terhadap proses akresi pantai di kawasan pesisir Kota Gorontalo mengalami percepatan sepanjang kurun waktu 7 tahun terakhir (periode 2015-2022).

3.3 Akurasi peta garis pantai

Pemetaan garis pantai memiliki akurasi yang bervariasi berdasarkan masing-masing teknik penentuannya. Beberapa metode pembuatan peta garis pantai yang dikenal yaitu survey lapang, pemetaan melalui foto udara dan *drone*, serta data citra satelit. Perbedaan akurasi peta hasil deliniasi *feature* garis pantai dari *feature* permukaan bumi lainnya adalah berkenaan dengan sifat dinamis permukaan air laut di wilayah pantai berkaitan dengan ketidakastian (*uncertainty*) posisi garis *feature* garis pantai tersebut diekstraksi menurut kondisi datum terkait pasang surut tiap lokasi yang dipetakan (Kasim, 2011; Oktaviani *et al.*, 2021). Berdasarkan jenis penentuan garis pantai tersebut, akurasi peta garis pantai terbaik adalah tentunya melalui survey langsung di lapangan.

Bagi deliniasi posisi garis pantai menggunakan data foto udara dan data citra satelit, ketelitian berkaitan dengan *uncertainty* posisi datum saat perekaman citra (akuisi citra) akan sangat ditentukan oleh resolusi citra, kelandaian pantai (*slope*) dan luas daerah kisaran pasang surut (*tidal range area*), serta posisi ketinggian air pada masing-masing kondisi datum (Kasim,

2011). Walau demikian, penelitian kami tidak mengikutsertakan tahapan koreksi pasang surut tersebut dalam menganalisis hasil deliniasi feature garis pantai. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan adalah secara umum pesisir pantai Kota Gorontalo memiliki karakteristik topografi jenis pantai terjal dengan tidal range area yang sempit, serta ketiadaan data datum yang mewakili posisi genangan permukaan air saat kondisi pasang High Astronomic Tide (HAT) berupa higher high-water level (HHWL) dan high water level (HWL), juga posisi surut Lowest Astronomic Tide (LAT) yang terdiri atas lowest low water height (LLWH), dan low water height (LWH) serta Peta Lingkungan Pantai (LPI) yang menjadi acuan mean sea level (MSL).

Dengan ketiadaan langkah koreksi pasang surut, hasil deliniasi garis pantai tahun 2000, 2015, dan 2022 maka ketelitian peta garis pantai dan uncertainty perubahannya dalam penelitian ini mengacu sepenuhnya pada langkah proses pengolahan dataset citra yang dihitung dengan metode confusion matrix pada peta yang dihasilkan. Nilai uji akurasi confusion matrix data citra biner hasil masking pengolahan MNDWI pada dataset Sentinel 2022 penelitian ini diperoleh sebesar 96,4%, menunjukkan hasil yang sangat baik seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5

Confusion matrix uji akurasi hasil ekstraksi garis pantai.

Klasifikasi	Sampel lapangan		Jumlah
	Badan Air	Darat	
Badan Air	28	0	28
Darat	2	26	28
Total	30	28	56
Producers' accuracy			0,92%
Consumers accuracy			0,93%
Kappa index			0,92%
Overall accuracy			96,4%

Tingkat akurasi hasil ekstraksi garis pantai penelitian kami menggunakan metode MNDWI pada dataset Sentinel-2 bersesuaian dengan laporan lain yang menyebutkan bahwa metode MNDWI merupakan salah satu metode terbaik dalam membedakan antara perairan dan daratan secara jelas, dengan tingkat akurasi bisa mencapai 99,85% (Abrar, 2022; Hasan *et al.*, 2020). Di mana, jika dibandingkan dengan NDWI, MNDWI sering menghasilkan nilai permukaan air yang lebih besar karena badan air memiliki daya serap yang lebih kuat pada band SWIR daripada band NIR (Tuan *et al.*, 2019).

Penelitian kami pun tidak melihat perbandingan metode transformasi index air dalam menganalisis trend perubahan garis pantai. Walau demikian, sebagai tambahan, terdapat beberapa hal yang menentukan tingkat ketelitian jenis transformasi index air dalam mendeliniasi garis pantai. Seperti nilai pemilihan nilai threshold, kondisi dataset citra asal yang digunakan menerapkan transformasi index, pilihan formula index yang digunakan, keberadaan piksel campuran, serta gangguan atmosferik berupa liputan awan dan kabut. Demikian pula, tidak ada satu pun indeks air yang secara baik mengakomodasi perolehan garis pantai pada semua kelas penutup lahan, terutama pada skala 1:100.000 (Wicaksono & Wicakson, 2019; Sasmito *et al.*, 2021; Cholidah, 2022).

4. Conclusion

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi penginderaan jauh, khususnya metode index air MNDWI, telah membantu pemantauan perubahan garis pantai yang efisien dan akurat. Dengan teknologi ini informasi rinci kestabilan baik *feature* garis pantai maupun luas area pantai pesisir Kota Gorontalo diketahui mengalami *trend* akresi sepanjang 2000-2022. Temuan penelitian ini menyoroti trend akresi tersebut yang menyebabkan penambahan garis pantai sebesar 0.059 km

selama 2000-2025 dan 1.78 km pada 2015-2022, yang berarti percepatan akresi sebesar 6468.52% di antara kedua periode. *Trend* yang sama ditemukan pula pada perubahan luas area, di mana walaupun abrasi dan akresi berlangsung di seluruh kawasan, namun laju akresi yang dominansi telah mengalami percepatan sebesar 60.15% dibandingkan abrasi yang mengalami pengurangan percepatan sebesar -3.90% pada periode 2015-2022. Perbandingan laju abrasi/akresi tersebut telah berakibat pada penambahan area pantai sebesar 425.44% di antara kedua periode. Dari hasil tersebut, studi ini merekomendasikan pentingnya upaya pengembangan strategi pengelolaan pantai yang efektif untuk mengurangi dampak negatif dari aktivitas manusia terhadap ekosistem di wilayah pesisir Kota Gorontalo.

Ucapan Terima kasih

Penulis berterima kasih kepada pihak Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan untuk membiayai penelitian kolaborasi dan publikasi artikel ini melalui Penelitian Kolaboratif Dosen Dan Mahasiswa Dana BLU FPIK Universitas Negeri Gorontalo Tahun 2023, berdasarkan SK Dekan FPIK Universitas Negeri Gorontalo Nomor: 1391/UN47.B10/HK.04/2023.

Bibliography

- Auliya, P., Sasmito, B., dan Nugraha, A. L. 2017. Efektivitas penentuan garis pantai menggunakan citra resolusi tinggi dan resolusi menengah (Studi Kasus: Kabupaten Pacitan). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 267-276. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.15435>
- Bird, E.C. 2011. Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley & Sons.
- Cholidah, N.N.Z. 2022. Analisis temporal perubahan garis pantai Kedung Celeng Kabupaten Malang tahun 1995-2021 menggunakan metode MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 20(2), 52-58. <http://dx.doi.org/10.21831/gm.v20i2.46217>
- Ding, Y., Yang, X., Jin, H., Wang, Z., Liu, Y., Liu, B., ... and Meng, D. 2021. Monitoring coastline changes of the Malay islands based on Google Earth engine and dense time-series remote sensing images. *Remote Sensing*, 13(19), 3842. <https://doi.org/10.3390/rs13193842>
- Ginting, D.N.B., dan Faristyan, R. 2020. Deteksi tipe dan perubahan garis pantai menggunakan analisis digital citra penginderaan jauh. *GEOMA TIKTA*, 26(1), 17-24.
- Hasan, M.Z., Citra, I.P.A., dan Nugraha, A.S.A. 2020. Monitoring perubahan garis pantai di Kabupaten Jembrana Tahun 1997–2018 menggunakan Modified Difference Water Index (MNDWI) dan Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 7(3), 93–102. <https://doi.org/10.23887/jjgg.v7i3.21507>
- Hidayah, Z., and Apriyanti, A. 2020. Deteksi perubahan garis pantai Teluk Jakarta Bagian Timur tahun 2003-2018. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 13(2), 143-150. <https://doi.org/10.21107/jk.v13i2.7980>
- Husain, A., Satria, A., Kusmana, C., dan Eriyatno, E. 2019. Kelembagaan pengelolaan sumber daya pesisir Kota

- Gorontalo. *Jurnal Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(4), 1041-1052. <https://doi.org/10.29244/jpsi.9.4.1041-1052>
- Isdianto, A., Asyari, I.M., Haykal, M.F., Adibah, F., Irsyad, M.J., dan Supriyadi, S. 2020. Analisis perubahan garis pantai dalam mendukung ketahanan ekosistem pesisir. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2). <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9260>
- Julianto, R., dan Anggara, O. 2021. Deteksi perubahan garis pantai menggunakan citra satelit Sentinel-1 (Studi Kasus: Pesisir Kabupaten Lampung Selatan). In *Seminar Nasional Geomatika* (pp. 623-632).
- Karlina, W.R., dan Viana, A.S. 2020. Pengaruh naiknya permukaan air laut terhadap perubahan garis pangkal pantai akibat perubahan iklim. *Jurnal Komunikasi Hukum (Jkh)*, 6(2), 757-586. <https://doi.org/10.23887/jkh.v6i2.28203>
- Kasim F. 2011. Koreksi pasang surut dalam pemetaan perubahan garis pantai menggunakan data Inderaja dan SIG. *Jurnal Ilmiah Agrosain Tropis*, 6(3), 180-188. <https://repository.ung.ac.id/get/karyailmiah/354/Koreksi-Pasang-Surut-Dalam-Pemetaan-Perubahan-Garis-Pantai-Menggunakan-Data-Inderaja-dan-SIG.pdf>
- Kasim, F., dan Siregar, V.P. 2012. Penilaian kerentanan pantai menggunakan metode integrasi CVI-MCA studi kasus pantai Indramayu. *Forum Geografi*, 26(1), 65-74. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v26i1.5051>
- Kasim, F., dan Salam, A. 2015. Identifikasi perubahan garis pantai menggunakan citra satelit serta korelasinya dengan penutup lahan di sepanjang Pantai Selatan Provinsi Gorontalo. *The NIKe Journal*, 3(4). <https://ejournal.ung.ac.id/index.php/nike/article/viewFile/1330/1076>
- Kurniadin, N., dan Fadlin, F. 2021. Analisis perubahan morfologi garis pantai akibat tsunami di teluk palu menggunakan data citra Sentinel-2. *Geoid*, 16(2), 240-247. <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v16i2.8078>
- Lubis, R.R.Z., Rizwan, T., Purnawan, S., Ulfah, M., Yuni, S.M., dan Setiawan, I. 2018. Studi perubahan garis Pantai Timur Laut Kabupaten Aceh Besar dan Pidie pada tahun 2002-2014. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(2), 113-119. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i2.3894>
- Munandar, M., dan Kusumawati, I. 2017. Studi analisis faktor penyebab dan penanganan abrasi pantai di wilayah Pesisir Aceh Barat. *Jurnal Perikanan Tropis*, 4(1), 47-56. <https://doi.org/10.35308/jpt.v4i1.55>
- Mutaqin, B.W., Kurniawan, I.A., Airawati, M.N., dan Marfai, M.A. 2021. Kajian perubahan garis pantai di sebagian wilayah Pesisir Pandeglang, Banten, periode tahun 1990-2020. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(3), 232-242. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i3.9832>
- Oktaviani, N., Hartanto, P., Susetyo, D.B., Kusuma, H.A., Ardhitasari, Y., dan Dewi, R.S. 2021. Pemodelan garis pantai menggunakan metode Interpolasi Stacked Curve Spline Tension. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/download/32940/19855>
- Sasmito, B., Pratomo, B.D., dan Bashit, N. 2021. Pemantauan perubahan garis pantai menggunakan metode Net Shoreline Movement (NSM) di wilayah Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta. In *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT)-Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)* (Vol. 1, pp. 269-275). Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. <https://proceedings.undip.ac.id/index.php/isiundip2021/article/view/623/362>
- Tuan, V.A., Hang, L.T.T., and Quang, N.H. 2019. Monitoring urban surface water bodies change using mndwi estimated from pan-sharpened optical satellite images. *Proceedings of the FIG Working Week, Hanoi, Vietnam*, 22-26. https://www.researchgate.net/profile/Nguyen-Quang-17/publication/339229844_Monitoring-Urban-Surface-Water-Bodies-Changes-Using-MNDWI-Estimated-From-Pan-sharpened-Optical-Satellite-Images/links/5e450f34458515072d96aaa1/Monitoring-Urban-Surface-Water-Bodies-Changes-Using-MNDWI-Estimated-From-Pan-sharpened-Optical-Satellite-Images.pdf
- Wicaksono, M.S., dan Darmawan, S. 2021. Pemetaan dan pemantauan lahan terbangun perkotaan dengan data landsat multitemporal menggunakan Google Earth Engine (Studi Kasus: Kota Bandung, Jawa Barat dan Kota Semarang, Jawa Tengah). *FTSP*, 395-400. <https://e-proceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/829/700>
- Wicaksono, A., dan Wicaksono, P. 2019. Akurasi geometri garis pantai hasil transformasi indeks air pada berbagai penutup lahan di Kabupaten Jepara. *Majalah Geografi Indonesia*, 33(1), 86-94. <https://doi.org/10.22146/mgi.36948>
- Wijaya, C., Yusiyan, I., dan Joel Piero, N. 2021. Deteksi otomatis garis pantai menggunakan teknologi machine learning dengan Coastsat. *Jurnal Prosiding Sriwijaya Geology Festival*, 189-198. https://www.researchgate.net/profile/Calvin-Wijaya2/publication/362060563_deteksi_otomatis_garis_pantai_menggunakan_teknologi_machine_learning_dengan_coastsat/links/62d41525d351bd24f51f5857/deteksi-otomatis-garis-pantai-menggunakan-teknologi-machine-learning-dengan-coastsat.pdf
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Yulius, Y., Putra, N.K.K., Ramdhan, M., dan Rochaddi, B. 2020. Abrasi dan akresi berdasarkan longshore sediment transport dan perubahan garis pantai: studi kasus pantai Pulau Cemara Besar, Karimunjawa. *Jurnal Segara*, 16(3), 197-208. <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v16i3.9309>