



Dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai Pulau Ternate dengan pemanfaatan citra resolusi tinggi google earth

Spatial-temporal dynamics of Ternate Island shoreline change by utilizing high resolution google earth imagery

Rustam E Paembonan^{1*}, Najamuddin¹, Irmalita Tahir¹, Nebuchadnezzar Akbar¹, Firdaut Ismail¹, Abdul Ajiz Siolimbona¹, Eko S Wibowo¹, S Baddu², Mutmainnah³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Khairun, Ternate

²Badan Karantina Indonesia Maluku Utara, Ternate

³Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Universitas Khairun Ternate

*E-mail : effendirustam400@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan garis pantai merupakan fenomena yang dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor alamiah maupun aktivitas manusia. Perubahan garis pantai menyebabkan terjadinya perubahan panjang garis pantai dan perubahan luas area pulau. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate dengan memanfaatkan citra resolusi tinggi dari Google Earth. Metode yang digunakan meliputi analisis citra satelit multi-temporal, digitasi manual garis pantai, serta pengolahan data spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengidentifikasi pola perubahan yang terjadi dalam kurun waktu tahun 2004 sampai tahun 2025. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan tren perubahan garis pantai dengan variabel perubahan panjang garis pantai dan perubahan luas Pulau Ternate. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pulau Ternate mengalami perubahan garis pantai yang bervariasi, dengan beberapa wilayah mengalami akresi dan wilayah lain mengalami rekresi/abrasi. Beberapa faktor yang teridentifikasi mempengaruhi perubahan garis pantai di Pulau Ternate yaitu abrasi pantai, sedimentasi, reklamasi dan pembangunan infrastruktur di area pantai. Analisis spasial-temporal menunjukkan bahwa perubahan garis pantai terjadi secara bertahap dan lebih signifikan dalam periode temporal tertentu. Pemanfaatan citra resolusi tinggi Google Earth berhasil dalam pemantauan perubahan garis pantai yang lebih akurat dan efisien. Studi ini menekankan pentingnya penggunaan teknologi pemetaan berbasis citra satelit dalam mendukung perencanaan tata ruang pulau-pulau kecil yang lebih berkelanjutan. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengambilan kebijakan dalam mitigasi risiko bencana pesisir dan pengelolaan sumber daya pesisir yang lebih optimal.

Kata kunci : Dinamika, pesisir, peta, pulau kecil, tropis

ABSTRACT

The dynamics of coastal changes are influenced by a range of natural factors and human activities. These changes result in alterations to both the length of the coastline and the surface area of Ternate Island. This study aims to model the spatial-temporal dynamics of coastline changes and the area of Ternate Island utilizing high-resolution imagery from Google Earth. The methodologies employed include multi-temporal satellite image



analysis, manual digitization of the coastline, and spatial data processing through Geographic Information Systems (GIS) to identify the patterns of change occurring from 2004 to 2025. The acquired data is subsequently analyzed to determine the trends in coastline changes based on variations in coastline length and the area of Ternate Island. The findings indicate that Ternate Island is experiencing variable coastline changes, with some regions undergoing accretion while others face erosion. Identified factors influencing the coastline changes on Ternate Island include beach erosion, sedimentation, land reclamation, and infrastructure development in coastal areas. The spatial-temporal analysis reveals that coastline changes occur gradually and are more pronounced during specific temporal periods. The application of high-resolution Google Earth imagery has proven effective for more accurate and efficient coastline monitoring. This study underscores the importance of utilizing satellite-based mapping technology to support sustainable spatial planning for small islands. The results can also inform policy decisions regarding coastal disaster risk mitigation and the optimal management of coastal resources.

Keywords: *Dynamics, coast, map, small island, tropical*

I. Pendahuluan

Pulau Ternate adalah sebuah pulau vulkanik kecil yang terletak di Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Pulau ini memiliki sejarah panjang sebagai pusat perdagangan rempah-rempah, terutama cengkeh dan pala, yang menjadikannya salah satu wilayah strategis dalam jalur perdagangan internasional sejak era kolonial (Reid, 2011). Secara geologis, Pulau Ternate terbentuk dari aktivitas vulkanik yang masih aktif hingga saat ini, dengan Gunung Gamalama sebagai puncak yang mendominasi lanskapnya. Selain itu, wilayah pesisirnya memiliki karakteristik geomorfologi yang dinamis akibat pengaruh erosi, sedimentasi, serta aktivitas tektonik yang berkontribusi terhadap perubahan garis pantai (Dibiyosaputro & Haryono, 2020). Pulau Ternate memiliki beberapa fungsi yang strategis diantaranya sebagai pusat ekonomi di Maluku Utara dan menjadi destinasi ekowisata yang menarik di wilayah ini. Pulau Ternate dengan ekosistem laut yang kaya akan biodiversitas, seperti terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove yang memiliki fungsi ekologis penting dalam mendukung keseimbangan lingkungan pesisir (Mardin *et al.*, 2024; Paembonan *et al.*, 2024).

Dinamika spasial perubahan garis pantai sangat penting untuk mengetahui proses alami dan aktivitas manusia terhadap lingkungan pesisir (Aiello *et al.*, 2013; Chowdhury *et al.*, 2023). Dengan menganalisis pola erosi, sedimentasi, dan penggunaan lahan di sepanjang garis pantai, peneliti dapat mengidentifikasi area rentan yang mungkin berisiko terhadap bahaya pesisir seperti banjir, erosi, dan gelombang badai (Hardinata, 2022). Informasi ini sangat penting dalam pengembangan strategi pengelolaan pesisir berkelanjutan yang dapat membantu melindungi ekosistem yang rentan dan komunitas yang bergantung pada garis pantai untuk kehidupan mereka (Utomo *et al.*, 2024). Selain itu, penelitian tentang perubahan garis pantai juga dapat memberikan wawasan berharga tentang dampak jangka panjang perubahan iklim dan kenaikan permukaan laut terhadap wilayah pesisir, yang akan membantu merumuskan upaya adaptasi dan mitigasi. Dengan memantau perubahan garis pantai secara temporal, peneliti dapat melacak bagaimana bahaya ini memengaruhi lingkungan dan masyarakat di daerah tersebut. Kajian perubahan garis pantai dapat digunakan untuk memprediksi risiko di masa depan dan



memprioritaskan area untuk intervensi dan perlindungan (Toimil *et al.*, 2020; Elliott *et al.*, 2014). Memahami dinamika proses pesisir sangat berguna bagi pemangku kepentingan untuk menerapkan strategi kebijakan dalam mengurangi dampak perubahan iklim dan mewujudkan ketahanan wilayah pesisir secara berkelanjutan. Penelitian tentang perubahan garis pantai sangat penting untuk menjaga keindahan dan kelestarian sumber daya alam wilayah pesisir (Purnomo *et al.*, 2024).

Penelitian kerentanan wilayah pantai Pulau Ternate sebagai suatu yang tergolong dalam kriteria pulau kecil sangat penting untuk mengidentifikasi potensi risiko. Informasi kondisi eksisting merupakan landasan ilmiah dalam merumuskan strategi mitigasi dan adaptasi yang efektif untuk melindungi ekosistem pesisir, infrastruktur, serta masyarakat yang bergantung pada sumber daya pantai (Muntaza & Hidayati, 2024). Selain itu, pemahaman terhadap tingkat kerentanan pantai juga berperan penting dalam mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan dan upaya konservasi lingkungan di wilayah pulau kecil yang rentan terhadap bencana alam dan tekanan aktivitas manusia. Penelitian terdahulu tentang perubahan spasial di wilayah pantai telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Perubahan garis pantai di pantai barat daya Pulau Ternate mengalami abrasi dan sedimentasi pada lokasi yang berbeda (Angkotasan *et al.*, 2012). Mangrove yang terdapat disekitar area pantai Pulau Ternate telah mengalami degradasi dan di beberapa lokasi tengah dilakukan pelestarian mangrove melalui upaya rehabilitasi (Paembonan *et al.*, 2022).

Pentingnya mempelajari perubahan garis pantai secara komprehensif meliputi identifikasi area yang rentan, penilaian efektivitas strategi pengelolaan, dan memberikan informasi untuk pengambilan keputusan kebijakan memerlukan data dan informasi yang akurat. Penelitian tentang perubahan garis pantai dapat meningkatkan pengetahuan keterkaitan antara proses alam dan aktivitas manusia serta mengembangkan solusi berkelanjutan yang menyeimbangkan kebutuhan ekosistem dan komunitas lokal (Wilson & Forsyth, 2018). Pengetahuan ini juga dapat membantu kita mengurangi dampak perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan laut dan cuaca ekstrem, terhadap daerah pesisir. Kajian perubahan garis pantai sangat penting untuk menciptakan komunitas pesisir yang resilien dan berkembang sehingga mampu beradaptasi dengan tantangan lingkungan dalam memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan (Andrews *et al.*, 2021; Jurjonas & Seekamp, 2018).

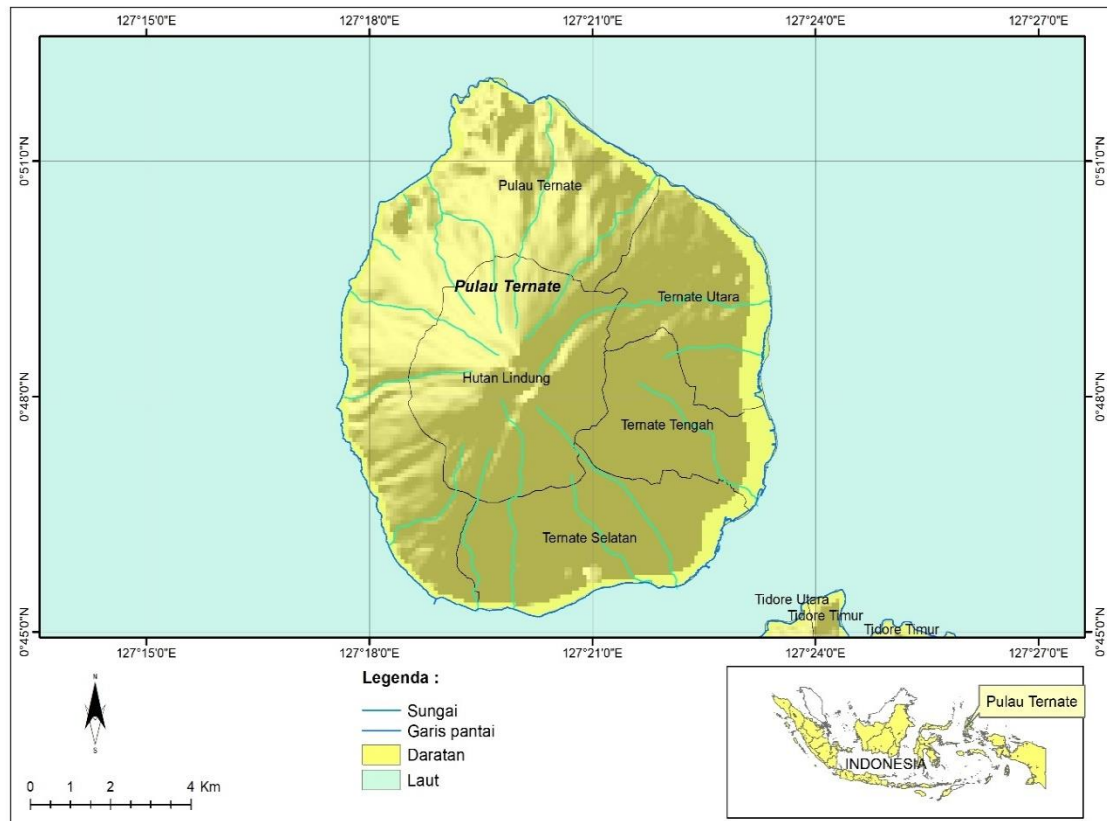
II. Metode penelitian

2.1. Pengumpulan Data

2. 1. Perolehan data citra Google Earth

Lokasi studi dalam penelitian ini adalah Pulau Ternate yang terletak di Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara (Gambar 1). Citra Google Earth yang digunakan untuk meneliti perubahan garis pantai secara temporal didownload aplikasi google earth secara online. Penelitian ini membutuhkan citra yang berkualitas untuk mendukung akurasi data sehingga diperlukan beberapa hal yang dilakukan dari dalam perolehan citra Google Earth. Menghilangkan *primary database* untuk membersihkan data atribut pada citra sehingga citra terbebas dari data label. Wilayah cakupan diatur perbesarannya sedemikian rupa sampai diperoleh sapuan area penelitian yang paling optimal. Pemilihan temporal citra berdasarkan tahun ukuisisi dilakukan dengan menggunakan *icon show historical imagery*. Penentuan titik referensi geometry dengan menggunakan *icon placemark* minimal 4 titik

georeferensi dan disimpan dalam ekstensi *.Kml. Untuk memposisikan citra sesuai dengan arah utara dan memposisikan citra dalam keadaan datar digunakan menu *Tilt and compass*. Citra yang didownload disimpan dengan resolusi tinggi : 8192 x 4320 (8K UHD) yang bertujuan untuk memperoleh citra dengan kualitas dan visualisasi yang terbaik.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian Pulau Ternate. Provinsi Maluku Utara

2.2. Pengolahan dan Analisis Data

2.2.1. Pengolahan Data Citra

Pengolahan data citra dilakukan dengan menggunakan software SIG (Sistem Informasi Geografis). Pengolahan data citra dalam penelitian ini meliputi georeferencing, digitasi, editing dan melengkapi basis data. Georeferencing meliputi rektifikasi dan registrasi yang bertujuan untuk melakukan koreksi geometric data cira. Digitasi dilakukan untuk melakukan perubahan format data raster menjadi data vector sehingga ekstraksi data spasial dapat dilaksanakan. Proses editing dilakukan untuk melakukan perbaikan data vector hasil digitasi sehingga error data dapat diminimalkan. Basis data dalam penelitian ini dibutuhkan untuk mengetahui data atribut perubahan garis pantai khususnya panjang garis pantai dan luas Pulau Ternate secara temporal.

2.2.2 Analisis Statistik

Perubahan garis pantai dalam penelitian ini terdiri dari dua variable yaitu perubahan panjang garis pantai dan perubahan luas Pulau Ternate. Analisis statistika dalam penelitian ini meliputi *Uji Independent Samples T-test*, *Pearson Correlation* dan



regeresi sederhana. *Uji Independent Samples T-test* dan analisis *Pearson Correlation* digunakan untuk mengetahui hubungan antara perubahan luas pulau dan perubahan panjang garis pantai. Analisis regresi digunakan untuk menemukan persamaan matematik yang akan digunakan untuk membangun model dinamika spasial-temporal.

2. 2.2 *Pemodelan Dinamik Spasial-Temporal*

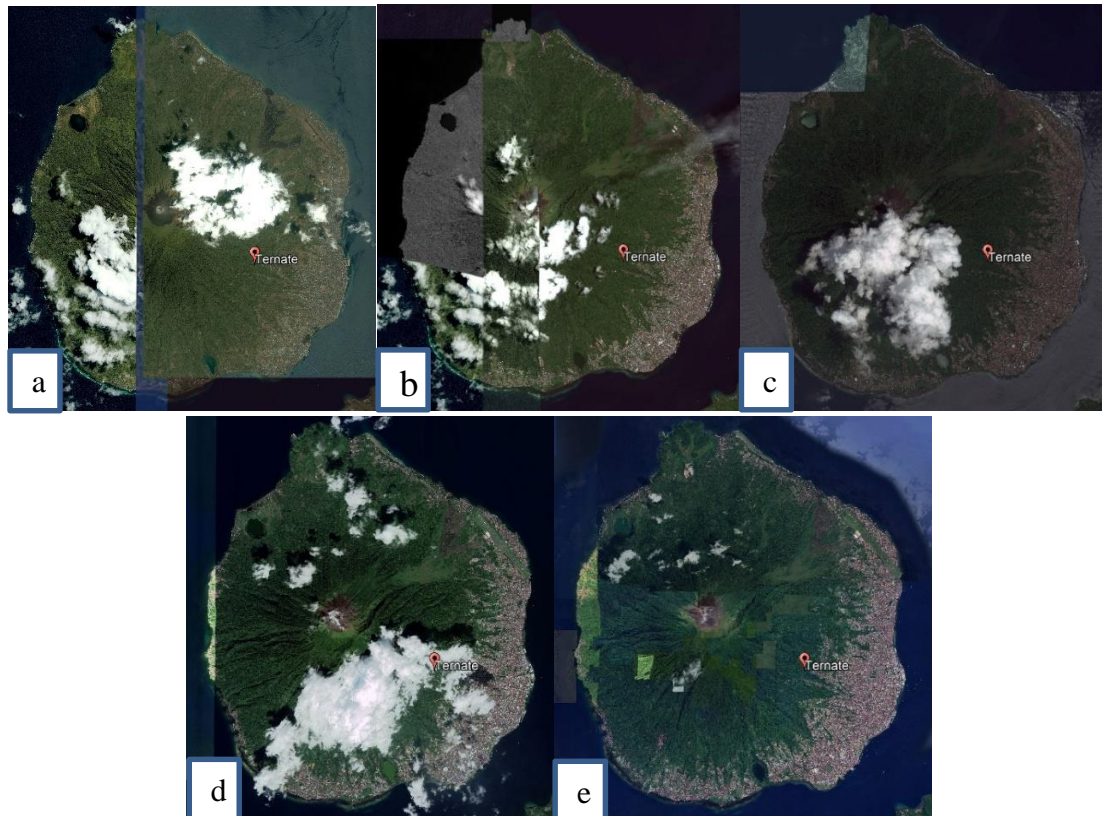
Pemodelan dinamika spasial-temporal dalam penelitian ini menggunakan software yang dapat melakukan simulasi dan prediksi perubahan spasial dalam jangka waktu tertentu. Pemodelan dinamika dalam penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan informasi perubahan spasial dan gambaran Pulau Ternate berdasarkan proyeksi data kuantitatif dalam periode tertentu secara ilmiah.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil perolehan data citra dari Google Earth

Citra resolusi tinggi yang diperoleh dari Google Earth dengan temporal tahun 2004, 2010, 2014, 2019, dan 2025 dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai dan spasial pulau di Pulau Ternate secara spasial-temporal (Gambar 2). Analisis overlay dalam membandingkan citra dari berbagai tahun, dapat diidentifikasi pola perubahan secara spasial akibat parameter lingkungan abrasi, sedimentasi, aktivitas vulkanik, serta intervensi manusia seperti reklamasi atau pembangunan infrastruktur pesisir. Citra resolusi tinggi ini memungkinkan pemetaan detail perubahan garis pantai, yang sangat penting untuk memahami dinamika wilayah pesisir dan dampaknya terhadap lingkungan serta pemukiman masyarakat setempat (Harley *et al.*, 2019).

Analisis spasial dan pengolahan citra satelit dalam mendeteksi perubahan garis pantai dalam penelitian ini dievaluasi dengan menggunakan metode digitasi manual sehingga diperoleh data perubahan garis pantai dan perubahan luasan Pulau Ternate. Data spasial yang diekstraksi dalam penelitian ini ini dapat mengungkap tren perubahan garis pantai di berbagai titik pesisir Pulau Ternate. Perubahan yang terjadi pada garis pantai yang ditemukan meliputi perubahan secara akresi dan rekresi. Perubahan secara akresi ditemukan didaerah yang mengalami reklamasi dan sedimentasi sedangkan perubahan secara rekresi ditemukan pada pantai yang mengalami erosi. Pola perubahan garis pantai yang telah diketahui sangat berperan dalam mitigasi bencana pesisir serta perencanaan wilayah pesisir yang lebih adaptif. Data citra dengan temporal yang panjang dari tahun 2004 hingga 2025 mengakuisisi kondisi pantai Pulau Ternate sekitar 21 tahun. Dinamika spasial yang didukung oleh data temporal yang panjang sangat berguna untuk pola perubahan jangka panjang dapat dikaji hubungannya dengan dampak perubahan iklim, aktivitas tektonik, serta pengaruh pembangunan terhadap kestabilan garis pantai (Le Cozannet *et al.*, 2014).



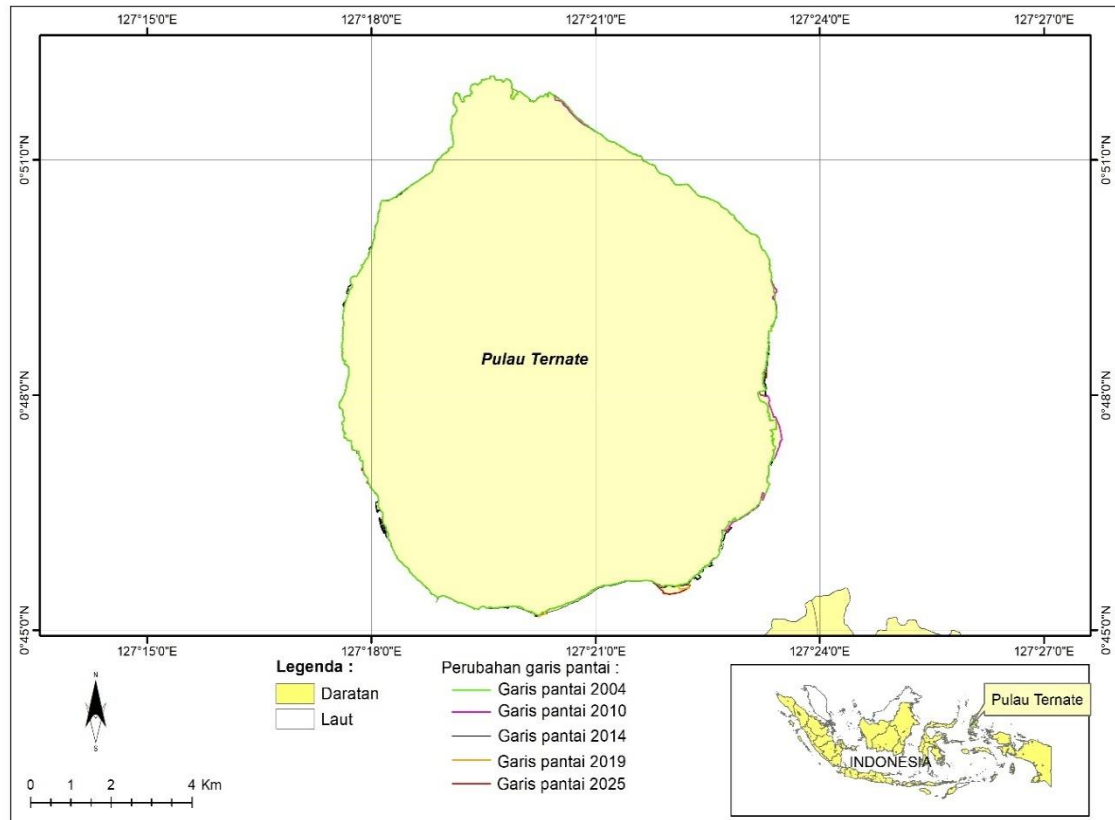
Gambar 2. Citra resolusi tinggi Pulau Ternate yang di peroleh dari Google Earth. (a) tahun 2004, (b) tahun 2010, (c) tahun 2014, (d) tahun 2019, dan (e) tahun 2025

3.2. Spasial-temporal perubahan panjang garis pantai dan luas Pulau Ternate

Dinamika spasial-temporal perubahan panjang garis pantai Pulau Ternate menunjukkan fenomena yang lebih kompleks (Gambar 3 dan Tabel 1). Pada tahun 2004, panjang garis pantai Pulau Ternate tercatat 44,201 km, kemudian mengalami rekresi pada tahun 2010 menjadi 44,043 km. Dinamika spasial berikutnya menunjukkan terjadinya fluktuasi dengan peningkatan panjang garis pantai pada tahun 2014 menjadi 44,996 km, kemudian naik kembali menjadi 45,539 km pada tahun 2019. Dinamika spasial yang tergolong unik, pada tahun 2025, panjang garis pantai mengalami sedikit rekresi menjadi 45,526 km. Perubahan ini mengindikasikan adanya proses abrasi, sedimentasi dan reklamasi yang berlangsung secara dinamis. Peningkatan panjang garis pantai yang cukup signifikan pada periode 2010–2019 dapat menunjukkan adanya proses reklamasi dan sedimentasi yang dominan, sementara penurunan kecil di tahun 2025 mencerminkan adanya abrasi atau perubahan arus laut yang menyebabkan hilangnya sebagian daratan pesisir.

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 1, data perubahan luas Pulau Ternate dari tahun 2004 hingga 2025, terlihat adanya peningkatan luas pulau secara bertahap. Pada tahun 2004, luas Pulau Ternate tercatat sebesar 10.150,711 ha, kemudian mengalami peningkatan menjadi 10.171,904 ha pada tahun 2010, dan terus meningkat hingga 10.201,262 ha pada tahun 2025. Secara kumulatif, dalam rentang waktu 21 tahun, luas pulau bertambah sekitar 50,551 ha. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor,

seperti proses sedimen, aktivitas vulkanik Gunung Gamalama yang menghasilkan material baru, serta adanya reklamasi pantai untuk pembangunan infrastruktur pesisir.



Gambar 3. Perubahan panjang garis pantai dan luasan Pulau Ternate secara temporal.

Tabel 1. Perubahan Luas Pulau dan Garis Pantai Pulau Ternate.

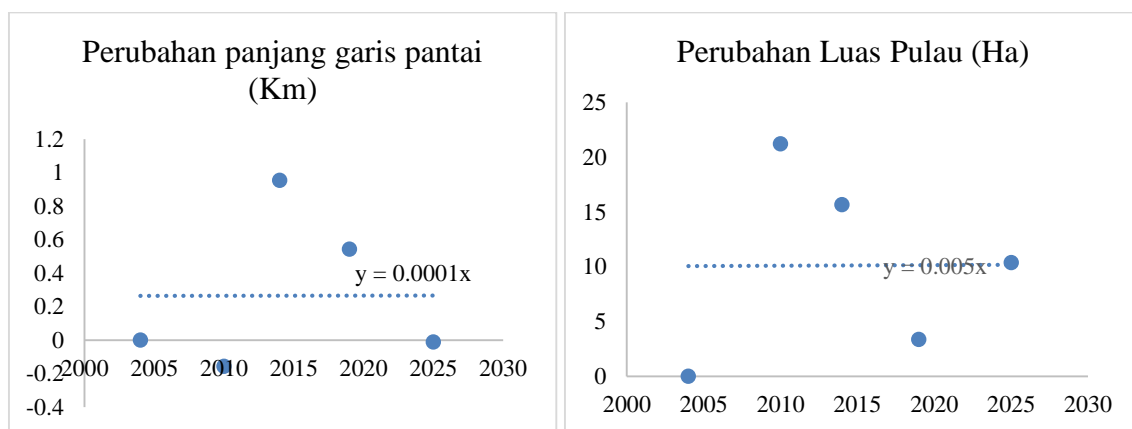
No	Tahun	Luas Pulau (ha)	Panjang Garis Pantai (km)	Δ Luas (ha)	Δ Pantai (km)	Jenis Perubahan
1	2004	10150.7110	44.201	-	-	-
2	2010	10171.904	44.043	21.193	-0.158	rekresi/abrasi
3	2014	10187.557	44.996	15.653	0.953	akresi
4	2019	10190.910	45.539	3.353	0.543	akresi
5	2025	10201.262	45.526	10.351	-0.013	rekresi/abrasi

Tren perubahan panjang garis pantai dan luas Pulau Ternate mencerminkan bahwa wilayah ini mengalami dinamika pesisir yang kompleks, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor alami dan intervensi manusia melalui pembangunan dan reklamasi. Hasil ekstraksi analisis data spasial menggunakan citra satelit resolusi tinggi dengan temporal yang berbeda merupakan studi awal yang dapat membantu dalam memahami pola perubahan yang lebih rinci serta dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat pesisir (Burke *et al.*, 2021; Petropoulos *et al.*, 2015).

3.3. Model dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai Pulau Ternate

Hasil analisis model dinamika spasial-temporal dengan variable perubahan garis pantai dan variable perubahan luas Pulau Ternate menggunakan *Uji Independent Samples T-test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0.26, yang lebih besar dari tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$ (95% confidence level). Nilai ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate pada periode yang dianalisis. Perubahan yang terjadi cenderung bersifat gradual dan tidak menunjukkan pola fluktuasi data yang ekstrem yang saling mempengaruhi antara kedua variabel yang diteliti. Hasil uji statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan, hal ini tidak diinterpretasikan perubahan garis pantai dan luas pulau tidak terjadi. Sebaliknya, perubahan spasial terjadi dalam skala yang lebih kecil atau bersifat lokal, sehingga tidak terdeteksi secara statistik dalam skala keseluruhan.

Hasil analisis *Pearson Correlation* sebesar -0.289 antara perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate menunjukkan adanya hubungan negatif yang lemah antara kedua variabel tersebut. Nilai negatif ini mengindikasikan bahwa saat panjang garis pantai meningkat, luas pulau cenderung menurun, yang dapat disebabkan oleh fenomena abrasi yang lebih dominan dibandingkan akresi di beberapa wilayah pesisir. Namun, karena nilai korelasi tergolong lemah, hubungan ini tidak cukup kuat untuk menyimpulkan bahwa perubahan panjang garis pantai secara langsung berpengaruh besar terhadap luas pulau.



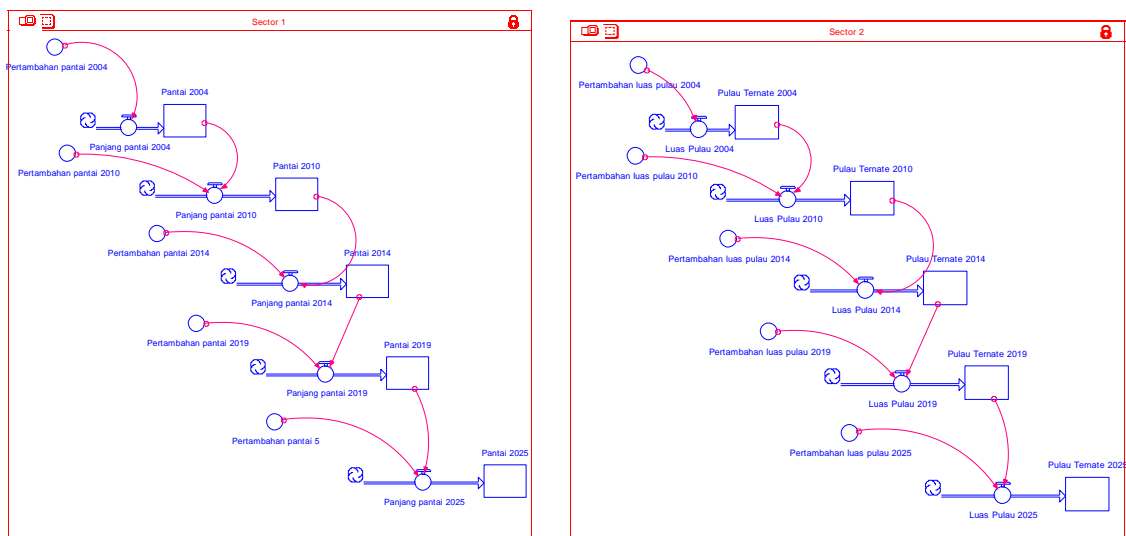
Gambar 4. Grafik regresi linier perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate secara temporal

Gambar 4b adalah grafik yang menunjukkan perubahan luas Pulau Ternate dengan persamaan tren linier yang memiliki kemiringan positif sebesar $0,005x$. Persamaan ini mengindikasikan bahwa luas pulau mengalami peningkatan secara bertahap seiring waktu. Peningkatan ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti proses sedimentasi, akresi alami, aktivitas vulkanik yang menambah material ke daratan, dan reklamasi pantai yang dilakukan untuk pengembangan wilayah pesisir. Meskipun tren menunjukkan kenaikan luas pulau, distribusi titik data yang cukup tersebar menunjukkan adanya fluktuasi dalam pertumbuhan luas pulau di berbagai periode. Nilai kemiringan regresi yang relative lebih tinggi (0,005) dibandingkan dengan perubahan garis pantai

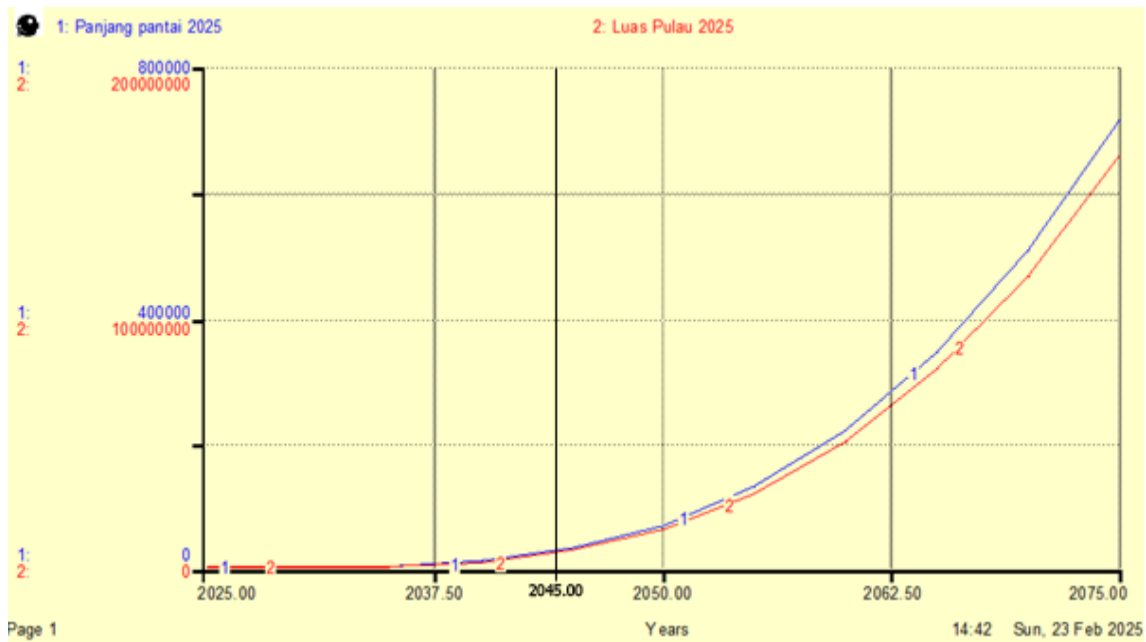
menunjukkan bahwa luas pulau mengalami pertumbuhan yang lebih nyata dibandingkan dengan perubahan panjang garis pantai. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa meskipun garis pantai tidak mengalami perubahan yang signifikan, penambahan luas daratan mungkin terjadi di lokasi tertentu akibat penumpukan sedimen atau perluasan lahan (Le Cozannet *et al.*, 2014; Besset *et al.*, 2019).

3.4. Model dinamika spasial-temporal perubahan panjang garis pantai dan luas Pulau Ternate

Pemodelan dinamika-spasial perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate dalam penelitian ini dibuat dalam suatu alur diagram alur yang menggunakan hasil ekstraksi data yang diperoleh dari data citra resolusi tinggi Google Earth dalam kurun waktu dua dekade yang berlangsung antara tahun 2004 hingga 2025. Diagram ini menggambarkan temporal perubahan panjang pantai (Gambar 5a) dan perubahan luasan pulau (Gambar 5b) secara sistematis dalam menyusun variable menjadi persamaan untuk membangun model dinamika. Data spasial-temporal sebagai acuan sumber dalam membangun model dinamika dari penelitian ini meliputi data temporal 2004, 2010, 2014, 2019, dan 2025. Variabel model meliputi data berdasarkan temporal dan perubahan yang diperoleh dari selisih temporal. Pemodelan dinamika spasial yang dibangun berdasarkan data temporal secara berkelanjutan dapat membentuk simulasi model yang lebih representative (Karssenberget al., 2010; Xu & Wikle, 2007).



Gambar 5. Diagram pemodelan dinamika perubahan panjang garis pantai dan luas Pulau Ternate



Gambar 6. Grafik hasil pemodelan spasial-temporal perubahan anjang garis pantai dan luas Pulau Ternate

Model dinamika spasial-temporal yang ditampilkan dalam bentuk grafik pertumbuhan eksponensial memvisualisasikan dua variable yaitu perubahan garis pantai (warna biru) dan perubahan luasan pulau (warna merah) (Gambar 6). Pembacaan grafik ditampilkan dalam konversi nilai berbeda terdapat pada sumbu y, perubahan panjang garis pantai memiliki nilai yang lebih kecil (km) dibandingkan nilai perubahan luas pulau (ha). Grafik tersebut menunjukkan tren pertumbuhan kedua variabel dalam rentang waktu antara tahun 2025 hingga 2075. Histori data pemodelan yang digunakan bersumber dari data temporal tahun 2004-2025 sehingga model prediktif yang lebih akuntabel berada pada interval waktu tahun 2025-2045. Berdasarkan hasil pemodelan, grafik perubahan panjang garis pantai dan perubahan luas pulau antara tahun 2025 hingga 2045 menampilkan grafik yang linear, kedua variabel mengalami pertumbuhan yang relatif lambat dan cenderung stabil tanpa lonjakan signifikan. Grafik pemodelan setelah tahun 2045 menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan pola perubahan peningkatan eksponensial, selanjutnya perubahan yang sangat signifikan ditampilkan setelah tahun 2050. Kondisi ini menggambarkan bahwa pemodelan dinamika perubahan panjang garis pantai dan luas pulau dalam jangka waktu yang lebih panjang membutuhkan perhatian lebih banyak dan variable koreksi yang lebih kompleks. Hasil pemodelan dalam temporal yang lebih panjang menggambarkan kedua variable mengalami perubahan yang lebih signifikan. Berdasarkan visualisasi pemodelan dinamika spasial, perubahan luasan pulau menunjukkan percepatan yang lebih besar dibandingkan perubahan panjang pantai di Pulau Ternate. Keunggulan pemodelan dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai dalam penelitian ini memberikan informasi visual yang lebih baik dalam menganalisis dan memprediksi perubahan garis pantai secara akurat dari waktu ke waktu. Pemodelan dinamika spasial-temporal dapat mendukung perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, dan pengelolaan sumber daya pesisir yang lebih berkelanjutan (Peng *et al.*, 2020; Fang *et al.*, 2017).



IV. Kesimpulan

Pemodelan dinamika spasial-temporal perubahan garis pantai dan luas Pulau Ternate melalui pemanfaatan citra resolusi tinggi Google Earth dapat memberikan gambaran yang akurat. Studi ini menunjukkan bahwa pemantauan berbasis citra satelit dapat menjadi tools yang efektif dalam menganalisis perubahan wilayah pesisir. Pemanfaatan citra resolusi tinggi yang tersedia di Google Earth memungkinkan analisis SIG yang lebih rinci dalam mengetahui perubahan garis pantai yang lebih detail. Uji statistika dari penelitian ini membuktikan bahwa perubahan panjang garis pantai mempunyai hubungan signifikansi yang lemah terhadap perubahan luasan pulau. Hasil pemodelan dinamika spasial-temporal menunjukkan adanya variasi perubahan garis pantai secara eksponensial di Pulau Ternate. Berdasarkan data simulasi, perubahan garis pantai dalam 20 tahun menunjukkan pola yang stabil dari variable perubahan panjang garis pantai dan perubahan luas pulau. Penelitian pemantauan berbasis citra satelit ini, diharapkan dapat membantu dalam perencanaan tata ruang yang lebih berkelanjutan, mitigasi risiko bencana pesisir, serta pengelolaan sumber daya pesisir yang lebih efektif.

Daftar pustaka

- Aiello A, Canora F, Pasquariello G, Spilotro G. 2013. Shoreline variations and coastal dynamics: A space–time data analysis of the Jonian littoral, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 129:124-135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.06.012>
- Andrews N, Bennett NJ, Le Billon P, Green SJ, Cisneros-Montemayor AM, Amongin S, Gray NJ, Sumaila UR. 2021. Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. *Energy Research & Social Science* 75:102009. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102009>
- Angkotasana AM, Nurjaya IW, Natih NMN. 2012. Analisis perubahan garis pantai di pantai barat daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* 3(2):11-22. DOI: <https://doi.org/10.24319/jtpk.3.11-22>.
- Besset M, Anthony EJ, Bouchette F. 2019. Multi-decadal variations in delta shorelines and their relationship to river sediment supply: An assessment and review. *Earth-Science Reviews* 193:199-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.018>
- Burke M, Driscoll A, Lobell DB, Ermon S. 2021. Using satellite imagery to understand and promote sustainable development. *Science* 371:eabe8628. DOI:10.1126/science.abe8628
- Chowdhury P, Lakku NKG, Lincoln S, Seelam JK, Behera MR. 2023. Climate change and coastal morphodynamics: Interactions on regional scales. *Science of The Total Environment* 899:166432. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166432>
- Dibiyosaputro S, Haryono E. 2020. Geomorfologi dasar. UGM PRESS.
- Elliott M, Cutts ND, Trono A. 2014. A typology of marine and estuarine hazards and risks as vectors of change: A review for vulnerable coasts and their management. *Ocean & Coastal Management* 93:88-99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.03.014>



- Fang J, Liu W, Yang S, Brown S, Nicholls RJ, Hinkel J, Shi X, Shi P. 2017. Spatial-temporal changes of coastal and marine disasters risks and impacts in Mainland China. *Ocean & Coastal Management* 139:125-140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.02.003>
- Hardinata YP. 2022. Strategi Pengurangan Resiko Perubahan Garis Pantai Di Kawasan Pesisir Di Kecamatan Bangko Kabupaten Rokan Hilir. Thesis, Universitas Islam Riau.
- Harley MD, Kinsela MA, Sánchez-García E, Vos K. 2019. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering* 150:175-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003>
- Jurjonas M, Seekamp E. 2018. Rural coastal community resilience: Assessing a framework in eastern North Carolina. *Ocean & Coastal Management* 162:137-150. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.010>
- Karssenberg D, Schmitz O, Salamon P, de Jong K, Bierkens MFP. 2010. A software framework for construction of process-based stochastic spatio-temporal models and data assimilation. *Environmental Modelling & Software* 25(4):489-502. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.004>
- Le Cozannet G, Garcin M, Yates M, Idier D, Meyssignac B. 2014. Approaches to evaluate the recent impacts of sea-level rise on shoreline changes. *Earth-Science Reviews* 138:47-60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.005>
- Mardin H, Husain IH, Latjompoh M, Ahmad J, Lamangantjo C. 2024. Pemanfaatan Biodiversitas Pesisir sebagai Mitigasi Bencana: Pembelajaran Project di SMK Negeri 1 Batudaa Pantai Provinsi Gorontalo. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Darma Bakti Teuku Uma* 6(1):119-128. <https://doi.org/10.35308/baktiku.v6i1.9514>.
- Muntaza I, Hidayati I. 2024. Analisis Keselarasan Rencana Tata Ruang dan Persepsi Stakeholder Terhadap Rencana Rekonstruksi Kawasan Pesisir di Kota Palu. *Jurnal Plano Madani*, 13(1):68-79. <https://doi.org/10.24252/jpm.v13i1.44854>.
- Paembonan RE, Akbar N, Ibrahim A, Tahir I, Baksir A, Marus I, Najamuddin N, Ismail F, Wibowo ES, Siolimbona AA. 2024. Ekologi dan Dimensi Pengelolaan Keberlanjutan Mangrove (Studi Kasus Lokasi Ekowisata Guraping, Kota Tidore Kepulauan, Maluku Utara). *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 8(4):291-304. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2024.Vol.8.No.4.412>.
- Paembonan RE, Achmad MD, Marus I, Baddu S, Karman A, Najamuddin N, Akbar N, Natih NMN, Tahir I, Wibowo ES. 2022. Hutan mangrove di Pulau Ternate secara spasial dan temporal. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan* 5(2). DOI: <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i2.5687>
- Peng L, Xia J, Li Z, Fang C, Deng X. 2020. Spatio-temporal dynamics of water-related disaster risk in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015. *Resources, Conservation and Recycling* 161:104851. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104851>
- Petropoulos GP, Kalivas DP, Griffiths HM, Dimou PP. 2015. Remote sensing and GIS analysis for mapping spatio-temporal changes of erosion and deposition of two Mediterranean river deltas: The case of the Axios and Aliakmonas rivers, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35:217-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.004>



- Purnomo RH, Listriyana A, Barizy R. 2024. Analisis Indeks Kerusakan Pesisir Pantai Berighe'en Di Kabupaten Situbondo Upaya Pelestarian Ekosistem Pesisir. *Jurnal Manajemen Pesisir dan Laut*, 2(01):17-22.
- Reid A. 2011. *Asia Tenggara Dalam Kurun Niaga 1450-1680 Jilid 2: Jaringan Perdagangan Global*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Toimil A, Losada IJ, Nicholls RJ, Dalrymple RA, Stive MJF. 2020. Addressing the challenges of climate change risks and adaptation in coastal areas: A review. *Coastal Engineering* 156:103611. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103611>
- Utomo AP, Haerani JO, Ferdian RN, Paradise R, Radianto DO. 2024. Pemaksimalan Fungsi Penanaman Mangrove di Daerah Rawan Abrasi Jakarta. *Jurnal Ilmiah Nusantara* 1(3):12-22. <https://doi.org/10.61722/jinu.v1i3.1502>.
- Wilson AMW, Forsyth C. 2018. Restoring near-shore marine ecosystems to enhance climate security for island ocean states: Aligning international processes and local practices. *Marine Policy* 93:284-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.018>.
- Xu K, Wikle CK. 2007. Estimation of parameterized spatio-temporal dynamic models. *Journal of Statistical Planning and Inference* 137(2):567-588. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jspi.2005.12.005>