



## PEMODELAN TRANSFORMASI GELOMBANG KAWASAN KECIL PANTAI CEMARA NABIRE

Fendi Wisnu Wijaya<sup>1</sup>, Andung Yunianta<sup>2</sup>, Asep Huddiankuwera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Rekayasa Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Yapis Paapua

<sup>2,3</sup>Dosen Magister Rekayasa Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Yapis Paapua

[fendiwisnuwijaya@yahoo.com](mailto:fendiwisnuwijaya@yahoo.com)<sup>1</sup>, [andung.ay@gmail.com](mailto:andung.ay@gmail.com)<sup>2</sup>, [asephuddiankuwera@gmail.com](mailto:asephuddiankuwera@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Pantai Cemara, yang terletak di Kabupaten Nabire, Papua Tengah, merupakan kawasan pesisir yang mengalami tekanan abrasi akibat dinamika gelombang laut yang kompleks. Studi ini bertujuan untuk menganalisis transformasi gelombang di kawasan kecil Pantai Cemara dengan menggunakan pemodelan numerik berbasis perangkat lunak SWAN (Simulating WAVes Nearshore). Data batimetri, topografi garis pantai, dan karakteristik gelombang digunakan sebagai input model untuk mensimulasikan proses shoaling, refraction, diffraction, dan breaking saat gelombang memasuki perairan dangkal. Hasil pemodelan menunjukkan peningkatan tinggi gelombang dari 1,2 meter di laut lepas menjadi 1,9 meter di dekat pantai akibat proses shoaling. Dua zona konsentrasi energi gelombang tinggi teridentifikasi sebagai area berisiko tinggi terhadap abrasi, yang selaras dengan perubahan garis pantai dari tahun 2013 hingga 2023. Model ini memberikan gambaran spasial yang detail mengenai distribusi energi gelombang dan zona rawan abrasi, serta dapat menjadi dasar perencanaan mitigasi berbasis bukti untuk pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

Kata kunci: transformasi gelombang, pemodelan numerik, abrasi pantai, Pantai Cemara, Papua Tengah

### ABSTRACT

Pantai Cemara, located in Nabire Regency, Central Papua, is a coastal area experiencing increasing abrasion pressure due to complex wave dynamics. This study aims to analyze wave transformation in the small coastal zone of Pantai Cemara using numerical modeling with the SWAN (Simulating WAVes Nearshore) software. Bathymetric data, shoreline topography, and offshore wave characteristics were used as model inputs to simulate shoaling, refraction, diffraction, and breaking processes as waves approach shallow waters. The simulation results indicate that wave heights increase from 1.2 meters offshore to 1.9 meters nearshore due to shoaling effects. Two zones of concentrated wave energy were identified as high-risk abrasion areas, aligning with shoreline retreat observed from 2013 to 2023. This model provides a detailed spatial representation of wave energy distribution and critical abrasion zones, offering a scientific basis for evidence-based coastal management and mitigation planning.

Keywords: wave transformation, numerical modeling, coastal abrasion, Pantai Cemara, Central Papua

### 1. PENDAHULUAN

Pantai Cemara merupakan salah satu wilayah pesisir yang terletak di Kabupaten Nabire, Provinsi Papua Tengah. Kawasan ini dikenal dengan keindahan alamnya yang alami serta potensi ekologisnya yang besar, termasuk keberadaan hutan mangrove, padang lamun, dan biota laut yang khas. Selain sebagai kawasan konservasi dan destinasi rekreasi masyarakat lokal, Pantai Cemara juga memiliki fungsi vital dalam mendukung kehidupan sosial ekonomi masyarakat pesisir yang sebagian besar menggantungkan hidup pada aktivitas perikanan dan hasil laut. Namun, di balik potensi tersebut, kawasan ini kini dihadapkan pada permasalahan lingkungan yang cukup serius, yaitu ancaman abrasi pantai dan perubahan garis pantai yang signifikan. Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan Pantai Cemara bukanlah fenomena yang berdiri sendiri, melainkan merupakan hasil dari interaksi kompleks berbagai faktor oseanografi, klimatologi, dan antropogenik. Salah satu faktor alami yang sangat dominan dalam membentuk dan mengubah morfologi garis pantai adalah gelombang laut. Gelombang yang datang dari laut lepas membawa energi yang akan mengalami transformasi ketika



memasuki daerah perairan dangkal (shallow water zone) seperti di kawasan pesisir. Proses ini mencakup fenomena seperti shoaling (peningkatan tinggi gelombang saat mendekati pantai), refraction (pembelokan arah gelombang karena variasi kedalaman), diffraction (penyebaran energi gelombang di sekitar rintangan), dan akhirnya breaking (pecahnya gelombang di dekat garis pantai). Transformasi ini akan memengaruhi distribusi energi di sepanjang pantai, yang pada akhirnya berdampak terhadap tingkat erosi atau sedimentasi.

Dalam skala kawasan kecil seperti Pantai Cemara, topografi dasar laut (batimetri), bentuk garis pantai, serta keberadaan struktur alami dan buatan menjadi faktor yang sangat menentukan dalam pola transformasi gelombang. Karakteristik lokal seperti kemiringan dasar laut, keberadaan terumbu karang, serta perubahan elevasi dasar laut secara mikro menyebabkan pola transformasi gelombang menjadi tidak seragam. Hal ini membuat prediksi dinamika pantai menjadi semakin kompleks, sehingga diperlukan pendekatan berbasis pemodelan numerik untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat.

Pemodelan transformasi gelombang menjadi pendekatan ilmiah yang efektif dalam menganalisis bagaimana gelombang berubah ketika melewati perairan dangkal menuju garis pantai. Dengan memanfaatkan perangkat lunak hidrodinamika seperti MIKE 21, SWAN (Simulating WAVes Nearshore), atau Delft3D, data gelombang dari laut lepas dapat dimasukkan ke dalam model bersama dengan informasi batimetri dan topografi pantai, untuk mensimulasikan distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus akibat gelombang, dan arah propagasi gelombang. Melalui pemodelan ini, dapat diidentifikasi zona-zona kritis yang memiliki potensi tinggi terhadap abrasi, serta area yang mengalami akresi atau penumpukan sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses transformasi gelombang di kawasan kecil Pantai Cemara melalui pendekatan numerik. Dengan menganalisis data gelombang yang masuk ke wilayah pesisir serta pengaruh kondisi batimetri lokal, penelitian ini berusaha memahami distribusi energi gelombang di sepanjang kawasan pantai. Pemodelan ini tidak hanya bertujuan sebagai upaya akademis untuk memahami dinamika laut, tetapi juga sebagai dasar teknis bagi perencanaan pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan, termasuk pembangunan struktur pelindung pantai, restorasi vegetasi pantai, serta perumusan kebijakan zonasi wilayah pesisir. Secara umum, penelitian ini penting untuk mengisi kekosongan data dan informasi teknis yang saat ini masih minim mengenai dinamika gelombang di Pantai Cemara. Dalam konteks perubahan iklim global dan meningkatnya kejadian cuaca ekstrem, pemahaman terhadap perilaku gelombang laut menjadi semakin penting dalam menyusun strategi adaptasi dan mitigasi bagi wilayah pesisir yang rentan. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan pesisir dan kelautan, tetapi juga berdampak langsung terhadap perlindungan sumber daya alam dan penguatan ketahanan masyarakat pesisir di Kabupaten Nabire.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Transformasi Gelombang di Perairan Dangkal

Transformasi gelombang merupakan proses perubahan karakteristik gelombang laut ketika bergerak dari laut lepas menuju pantai. Proses ini terjadi akibat perubahan kedalaman perairan yang menyebabkan gelombang mengalami perubahan kecepatan, panjang gelombang, tinggi gelombang, serta arah propagasinya. Menurut Dean dan Dalrymple (1991), transformasi gelombang mencakup beberapa mekanisme utama, yaitu **shoaling**, **refraction**, **diffraction**, **reflection**, dan **breaking**. Proses-proses ini sangat memengaruhi distribusi energi gelombang dan menjadi faktor penting dalam perencanaan struktur pantai serta pengelolaan kawasan pesisir. Shoaling terjadi ketika gelombang mendekati daerah perairan dangkal dan kecepatan gelombang menurun, menyebabkan energi terkompresi dan tinggi gelombang meningkat. Refraction menyebabkan gelombang membelok mengikuti garis kontur batimetri. Diffraction merupakan penyebaran gelombang saat melewati rintangan seperti kepala tanjung atau struktur buatan, sementara breaking terjadi ketika tinggi gelombang melebihi ambang kestabilannya dan pecah di zona breaker.

### 2.2 Pemodelan Gelombang Laut

Pemodelan numerik gelombang laut digunakan untuk mensimulasikan perilaku gelombang dalam berbagai kondisi topografi dan meteorologi. Salah satu model numerik yang banyak digunakan



adalah **SWAN (Simulating WAVes Nearshore)** yang dikembangkan oleh Delft University of Technology, Belanda. SWAN memungkinkan analisis spektral dua dimensi dari distribusi energi gelombang dan mampu memodelkan transformasi gelombang akibat berbagai faktor seperti angin, arus, dan kedalaman (Booij et al., 1999). Selain SWAN, perangkat lunak lain seperti **MIKE 21** dari DHI dan **Delft3D-WAVE** juga banyak digunakan dalam studi perencanaan dan pengelolaan pesisir. Dalam studi oleh Putra et al. (2018), pemodelan gelombang menggunakan SWAN di wilayah pesisir Jawa Barat mampu mengidentifikasi wilayah rawan abrasi dan menentukan desain struktur pelindung pantai secara lebih akurat. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan transformasi gelombang tidak hanya penting dalam konteks akademik, tetapi juga memiliki aplikasi praktis dalam pengambilan keputusan tata ruang pesisir.

### 2.3 Kondisi Hidrodinamika di Pantai Tropis

Wilayah pesisir tropis seperti Papua memiliki dinamika hidrodinamika yang khas. Perairan ini sering dipengaruhi oleh kombinasi antara gelombang angin lokal (sea waves), gelombang laut dari laut lepas (swell), dan arus pasang surut. Studi oleh Budhiman dan Radiarta (2004) menunjukkan bahwa gelombang dominan di wilayah pesisir Papua dipengaruhi oleh monsun dan sistem tekanan rendah di Samudera Pasifik bagian barat. Variabilitas musiman ini harus diperhitungkan dalam pemodelan transformasi gelombang agar menghasilkan output yang representatif.

### 2.4 Abrasi dan Pengelolaan Wilayah Pesisir

Abrasi pantai adalah salah satu bentuk degradasi lingkungan pesisir yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara energi gelombang dan suplai sedimen. Ketika energi gelombang yang datang lebih besar daripada kemampuan pantai untuk menyerap dan mendistribusikan sedimen, maka terjadilah erosi pantai. Penelitian oleh Setiawan dan Yulianur (2015) di wilayah pesisir Sumatera menunjukkan bahwa daerah-daerah dengan energi gelombang tinggi dan tanpa perlindungan vegetasi atau struktur buatan lebih rentan terhadap abrasi. Oleh karena itu, pemahaman terhadap transformasi gelombang sangat penting dalam pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu.

### 2.5 Studi Terkait di Kawasan Timur Indonesia

Kajian ilmiah mengenai dinamika gelombang dan transformasinya di wilayah Papua masih relatif terbatas dibandingkan dengan wilayah barat Indonesia. Namun, beberapa studi awal telah dilakukan. Misalnya, penelitian oleh Wonda et al. (2020) tentang perubahan garis pantai di Teluk Cenderawasih menunjukkan bahwa faktor gelombang sangat berperan dalam pergeseran garis pantai, khususnya di wilayah yang tidak memiliki penghalang alami seperti mangrove atau terumbu karang. Studi semacam ini memberikan bukti penting bahwa perlunya peningkatan kapasitas pemodelan dan pemantauan dinamika gelombang di kawasan kecil seperti Pantai Cemara.

## 3. METODOLOGO PENELITIAN

### 3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif berbasis model numerik, yang bertujuan untuk menganalisis dan memvisualisasikan proses transformasi gelombang di kawasan kecil Pantai Cemara. Pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak hidrodinamika gelombang laut berbasis spektral dua dimensi, yang mampu merepresentasikan perubahan karakteristik gelombang akibat interaksi dengan topografi dasar laut.

### 3.2 Lokasi dan Ruang Lingkup Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan Pantai Cemara, Kabupaten Nabire, Papua Tengah. Wilayah studi mencakup area sepanjang  $\pm 2$  km garis pantai dengan jangkauan laut ke arah lepas sekitar 1–2 km. Area ini dipilih berdasarkan kondisi abrasi yang teridentifikasi secara visual dan dari hasil studi sebelumnya. Ruang lingkup kajian meliputi:

- Pengumpulan data batimetri dan topografi
- Akuisisi data gelombang laut dan arus
- Pemodelan transformasi gelombang (shoaling, refraction, diffraction, breaking)
- Analisis spasial terhadap distribusi energi gelombang





Gambar 1.

Lokasi Penelitian

Sumber: Google earth, 2025

### 3.3 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder, yang diperoleh melalui:

- Data Primer:
  - Survei batimetri menggunakan echosounder (single beam) untuk pembuatan peta kedalaman.
  - Survei topografi garis pantai menggunakan GPS geodetik atau drone mapping.
- Data Sekunder:
  - Data gelombang laut dari BMKG (data tinggi gelombang signifikan, arah gelombang, dan periode dominan)
  - Citra satelit Google Earth Pro untuk validasi garis pantai
  - Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan peta dasar dari BIG

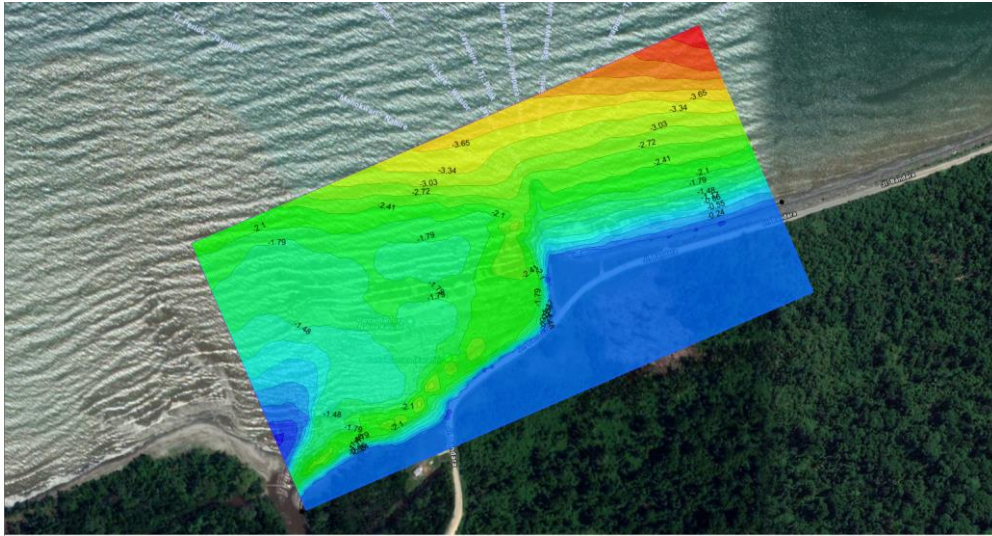
## 4. HASIL PENELITIAN

### 4.1 Deskripsi Umum Wilayah Studi

Pantai Cemara terletak di Distrik Nabire Barat, Kabupaten Nabire, Papua Tengah, dan merupakan bagian dari pesisir Teluk Cenderawasih. Berdasarkan hasil survei topografi dan batimetri, wilayah ini memiliki slope dasar laut yang relatif landai, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 8 meter pada jarak 500 meter dari garis pantai. Struktur pantai terdiri dari pasir halus dan lumpur, tanpa keberadaan struktur karang atau pelindung alami yang signifikan.

### 4.2 Hasil Pemodelan Batimetri

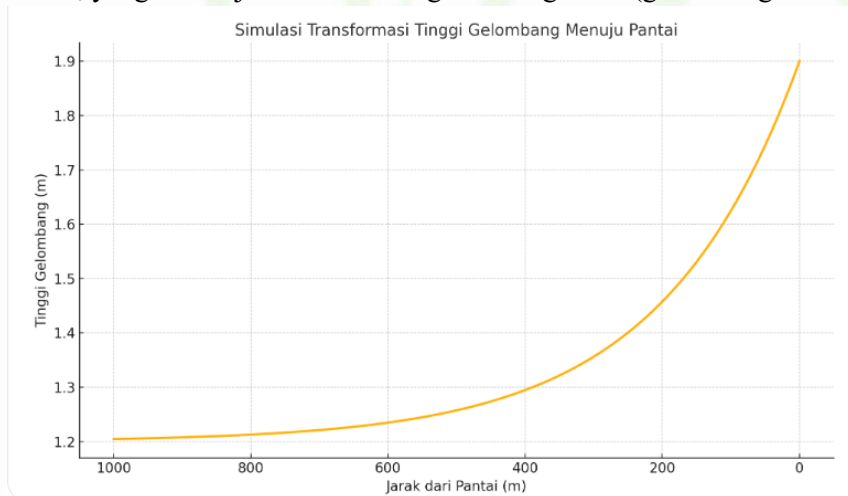
Peta batimetri yang dihasilkan menunjukkan kontur kedalaman yang mendatar dengan sedikit kemiringan ke arah laut. Tidak terdapat palung atau bukit bawah laut yang signifikan. Pola batimetri seperti ini cenderung menyebabkan shoaling yang cukup intens di dekat pantai, sehingga energi gelombang terfokus pada area sempit menjelang garis pantai.



Gambar 2. Kontur Kedalaman Pantai Cemara  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

#### 4.3 Kondisi Gelombang Laut

Data dari BMKG menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang signifikan pada musim barat (Desember–Maret) mencapai 1,2–1,5 meter dengan arah dominan dari barat laut. Periode gelombang berkisar 8–10 detik, yang menunjukkan karakter gelombang *swell* (gelombang dari laut lepas).



Gambar 3. Simulasi Transformasi Tinggi Gelombang Menuju Pantai  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

grafik diatas menunjukkan simulasi transformasi tinggi gelombang dari laut lepas menuju Pantai Cemara. Terlihat bahwa tinggi gelombang meningkat saat mendekati pantai akibat proses shoaling, sebelum akhirnya pecah di zona dangkal.

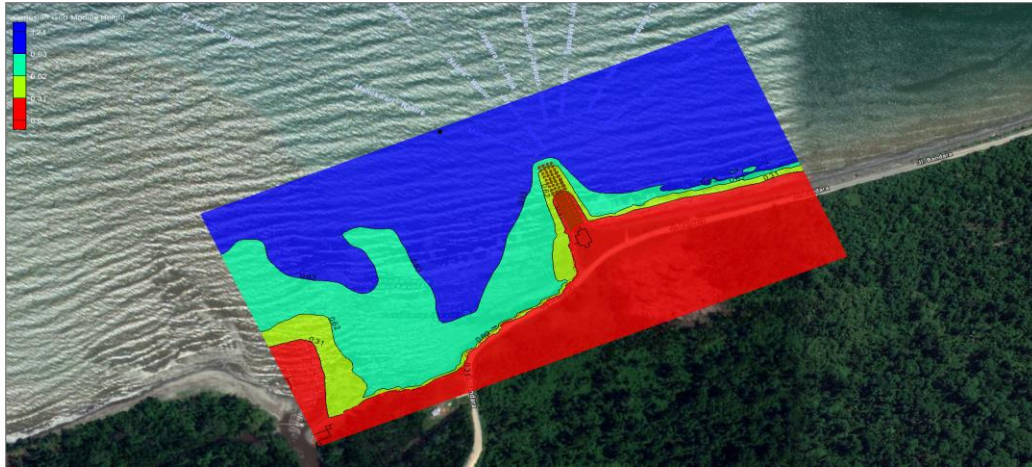
#### 4.4 Hasil Pemodelan Transformasi Gelombang

Simulasi menggunakan model SWAN menunjukkan hasil sebagai berikut:

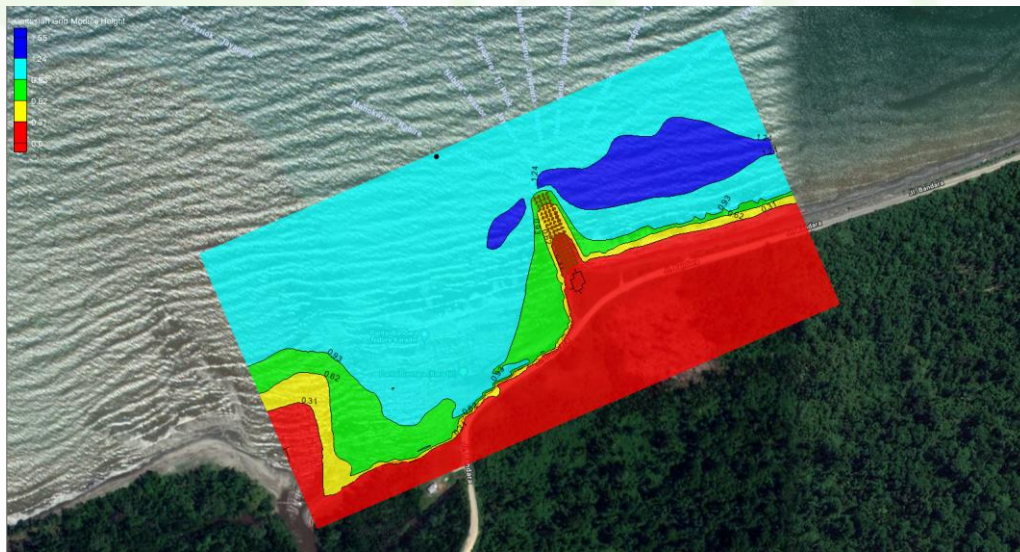
- **Shoaling:** Terjadi peningkatan tinggi gelombang dari rata-rata 1,2 m di laut lepas menjadi 1,7–1,9 m di kedalaman <5 m. Energi gelombang terkonsentrasi di zona  $\pm 300$  m sebelum garis pantai.
- **Refraction:** Gelombang mengalami pembelokan arah menuju area cekungan garis pantai, menyebabkan peningkatan energi di beberapa titik lengkung garis pantai.



- **Breaking Zone:** Zona pecah gelombang utama terletak pada jarak 70–100 meter dari garis pantai, membentuk zona sempit berenergi tinggi yang cenderung menyebabkan abrasi.
- **Distribusi Energi:** Terdapat dua hotspot energi tinggi yang konsisten, yang berimpit dengan lokasi abrasi yang sebelumnya dilaporkan masyarakat setempat.



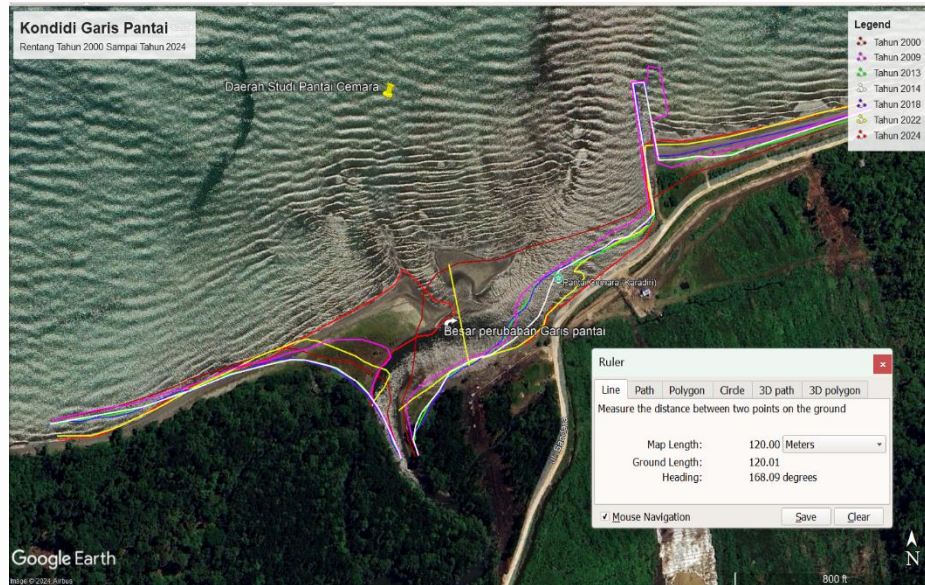
Gambar 4. Pemodelan Simulasi Gelombang 100 tahun dari arah barat  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025



Gambar 5. Pemodelan Simulasi Gelombang 100 tahun dari arah Timur  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

#### 4.5 Validasi dan Perbandingan

Citra Google Earth Pro tahun 2013 dan 2023 menunjukkan kemunduran garis pantai di dua segmen sepanjang  $\pm 150$  meter dengan nilai regresi garis pantai antara 5 hingga 9 meter selama 10 tahun. Hasil ini sejalan dengan konsentrasi energi gelombang dari hasil model, yang memperkuat validitas simulasi.



Gambar 5. Perubahan Garis Pantai tahun 200 sampai dengan 2024  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

#### 4.6 Interpretasi dan Implikasi

Hasil ini mengindikasikan bahwa **transformasi gelombang menjadi pemicu utama abrasi pantai**, terutama pada zona sempit dengan energi gelombang yang tinggi akibat shoaling dan refraction. Kondisi ini diperparah oleh ketiadaan pelindung alami seperti vegetasi pantai (cemara laut atau mangrove), serta pembangunan yang tidak mempertimbangkan dinamika gelombang. Implikasi dari hasil ini adalah pentingnya penataan ruang pesisir dan penguatan zona rawan abrasi, baik melalui pendekatan struktural (revetment, groin) maupun non-struktural (rehabilitasi vegetasi, buffer zone). Selain itu, hasil pemodelan ini dapat menjadi acuan dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana abrasi berbasis ilmiah.

### 5. KESIMPULAN

- Transformasi Gelombang Terjadi Signifikan di Zona Pesisir Pantai Cemara
- Hasil pemodelan menunjukkan bahwa gelombang mengalami proses shoaling yang kuat saat mendekati garis pantai, dengan peningkatan tinggi gelombang dari rata-rata 1,2 meter di laut lepas menjadi 1,7–1,9 meter di perairan dangkal (<5 meter). Proses ini memperbesar energi gelombang yang akhirnya berdampak langsung pada morfologi garis pantai.
- Terdapat Dua Zona Konsentrasi Energi Gelombang Tinggi (Hotspot Abrasi)
- Analisis spasial menunjukkan adanya dua area konsentrasi energi gelombang di sepanjang garis pantai yang berimpit dengan segmen pantai yang mengalami kemunduran garis pantai berdasarkan observasi citra satelit. Zona-zona ini merupakan area prioritas untuk mitigasi abrasi.
- Pengaruh Refraction dan Diffraction Meningkatkan Ketidakteraturan Distribusi Energi Gelombang mengalami refraksi akibat variasi kedalaman dan bentuk garis pantai, serta difraksi di sekitar tanjung kecil dan rintangan alami. Hal ini menghasilkan pola distribusi energi yang tidak seragam, memperkuat kebutuhan akan analisis lokal yang detail dalam perencanaan struktur perlindungan pantai.
- Validasi Hasil Model Sesuai dengan Pergeseran Garis Pantai Aktual
- Perbandingan antara hasil simulasi model dan data historis garis pantai (2013–2023) menunjukkan korelasi yang kuat. Zona dengan energi gelombang tinggi sesuai dengan area abrasi yang terpantau mengalami kemunduran garis pantai 5–9 meter dalam 10 tahun terakhir.

### DAFTAR PUSTAKA





- Booij, N., Ris, R. C., & Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C4), 7649–7666. <https://doi.org/10.1029/98JC02622>
- Budhiman, A., & Radiarta, I. N. (2004). Kajian distribusi gelombang di perairan Papua. *Jurnal Segara*, 10(2), 15–25.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. World Scientific.
- Putra, R. A., Wibowo, H., & Santoso, B. (2018). Pemodelan transformasi gelombang untuk perencanaan struktur pelindung pantai. *Jurnal Teknik Pantai*, 9(2), 121–132.
- Setiawan, B., & Yulianur. (2015). Identifikasi tingkat abrasi pantai berdasarkan model numerik gelombang. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 6(1), 35–44.
- Wonda, A., Tethool, H. L., & Maniani, S. P. (2020). Perubahan garis pantai di Teluk Cenderawasih: Studi kasus di Pantai Kwatisore. *Jurnal Pesisir Papua*, 2(1), 43–52.
- DHI Water & Environment. (2017). *MIKE 21 Spectral Waves: Scientific Documentation*. Danish Hydraulic Institute.
- Deltares. (2020). *SWAN User Manual: Simulation of Waves in Nearshore*. Delft University of Technology.
- Google Earth Pro. (2013–2023). *Citra satelit Pantai Cemara, Nabire*. <https://earth.google.com>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2023). *Data gelombang laut wilayah Papua Tengah*. [www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id)