



## Pemodelan Reduksi Gelombang Terhadap Hutan Mangrove Menggunakan Software Delft3D pada Pantai Bama Situbondo <sup>1</sup>

### *Wave Reduction Modeling of Mangrove Forest Using DELFT3D Software on Bama Beach Situbondo*

Sabrina Prihartami <sup>a</sup>, Retno Utami Agung Wiyono <sup>b,2</sup>, Saifurridzal <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.

#### ABSTRAK

Pantai Bama merupakan salah satu pantai di Indonesia yang memiliki ekosistem hutan *mangrove*. Hutan *mangrove* ini berfungsi untuk melindungi gelombang yang datang dari laut dalam menuju laut dangkal yang dapat menyebabkan abrasi. Pantai Bama terletak di Taman Nasional Baluran sehingga perlu dilindungi dari kerusakan yang dapat ditimbulkan dari gelombang dengan konsep *Building with Nature* (BWN). Oleh sebab itu, dilakukan pemodelan reduksi gelombang terhadap panjang hutan mangrove dengan bantuan software Delft3D. Pemodelan ini dilakukan dengan membuat dua skema hutan *mangrove* untuk mengetahui nilai energi dan tinggi gelombang signifikan. Hasil dari pemodelan menunjukkan bahwa gelombang signifikan tertinggi terjadi pada tanggal 15 Agustus 2023 pukul 18.00 WIB. Hutan *mangrove* terpanjang yaitu 130 meter pada skema pertama dapat mereduksi hingga 35,12% ketinggian gelombang dan 68,29% energi gelombang. Skema kedua dapat mereduksi hingga 37,18% ketinggian gelombang dan 70,27% energi gelombang.

*Kata kunci: Delft3D, Pantai Bama, Pemodelan Gelombang*

#### ABSTRACT

Bama Beach is one of the beaches in Indonesia that has a mangrove forest ecosystem. This mangrove forest aims to protect the waves coming from the deep sea to the shallow sea that can cause abrasion. Bama Beach is located in Baluran National Park so it needs to be protected from damage that can be caused by waves with the concept of Building with Nature (BWN). Therefore, wave reduction modeling of mangrove forest length was carried out with the help of Delft3D software. This modeling is carried out by creating two mangrove forest schemes to determine the energy value and significant wave height. The results of the highest significant wave modeling occurred on August 15, 2023 at 18.00 WIB. The longest mangrove forest, which is 130 meters, in the first scheme can reduce up to 35.12% of wave height and 68.29% of wave energy. The second scheme can reduce up to 37.18% of the wave height and 70.27% of the wave energy.

*Keywords: Delft3D, Bama Beach, Wave Modeling*

## PENDAHULUAN

*Mangrove* dapat didefinisikan sebagai tumbuhan yang terdapat di daerah pasang surut maupun sebagai ekosistem (Tomlinson, 2016). Secara umum, *mangrove* dapat ditemukan di tepian sungai atau pantai yang masih dipengaruhi pasang surut. Sebagai tumbuhan, *mangrove* dapat digunakan untuk keperluan obat-obatan, makanan dan bahan bangunan. Secara ekosistem, *mangrove* memberi kontribusi terhadap kesuburan perairan sekitar dan

<sup>1</sup> Info Artikel: Received: 25 Juli 2025, Accepted: 23 September 2025

<sup>2</sup> Corresponding author, email address: [retnoutami@unej.ac.id](mailto:retnoutami@unej.ac.id)

sebagai habitat bermacam-macam organisme. Secara fisik, tegakan *mangrove* yang padat dapat menjadi perisai wilayah pantai dari aksi gelombang (Djamaluddin, 2018).

Hutan *mangrove* memiliki peran penting dalam melindungi pantai dari tingginya gelombang (Davies & Claridge, 1993). Hutan *mangrove* di Desa Mayangan Kabupaten Subang dapat mengurangi tinggi gelombang dari 1,7 meter menjadi 0,1 meter (Taofiqurohman, 2014). Selain itu, hutan *mangrove* juga dapat meredam energi rambatan gelombang tsunami yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 (Senjana et al., 2023). Pada hutan *mangrove* di Pantai Dubibir dengan ketebalan 250 meter dapat mereduksi tinggi gelombang sebesar 55% dan mereduksi energi gelombang sebesar 67% (Alfaridzi, 2022). Begitu juga di Pantai Banyuglugur dengan ketebalan hutan *mangrove* 70 meter dapat mengurangi 50,6% tinggi gelombang dan meredam 62% energi gelombang (Waluyo, 2022).

Energi gelombang dapat memindahkan sedimen pesisir dalam jumlah yang cukup banyak dan jarak yang jauh yang menyebabkan abrasi (Pratikto et al., 1997). Pada saat terjadi badai, tinggi gelombangnya mencapai keadaan maksimal sehingga energi gelombang menjadi tinggi. Energi gelombang yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan di daerah Pantai, seperti terjadi kemunduran garis Pantai (Triatmodjo, 1999).

Prediksi perubahan garis pantai di Pantai Bama rata-rata sejauh -1,27 meter per tahunnya dengan interpretasi peta luasan hutan *mangrove* pada tahun 2003 memiliki luas sekitar 1,62 km<sup>2</sup>, tahun 2013 memiliki luas sekitar 1,41 km<sup>2</sup> dan tahun 2017 memiliki luas sekitar 1,70 km<sup>2</sup> (Sari, 2018). Lokasi Pantai Bama berada di Kawasan Taman Nasional Baluran, sehingga perlu dilindungi dari kerusakan yang dapat ditimbulkan dari gelombang dengan kosep *Building with Nature* (BWN). Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini dengan tujuan mereduksi tinggi dan energi gelombang pada hutan *mangrove* di Pantai Bama.

Pemodelan reduksi gelombang terhadap hutan *mangrove* menggunakan bantuan *software* Delft3D. Delft3D merupakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes untuk perhitungan yang digunakan untuk mensimulasikan proses-proses yang terjadi di Sungai, danau, muara, dan wilayah pesisir. Dalam melakukan Delft3D dibutuhkan data pasang surut dan data batimetri. (Deltares, 2023). Oleh sebab itu, *software* ini sangat dibutuhkan pada penelitian ini untuk mengetahui nilai reduksi tinggi dan energi gelombang yang diakibatkan adanya hutan *mangrove* di Pantai Bama.

## **METODE**

Penelitian ini berlokasi di Taman Nasional Baluran, Sumberwaru, Banyuputih, Situbondo, Jawa Timur. Luas hutan *mangrove* pada Pantai Bama adalah 95,81 ha atau 35,16% dari luas total hutan *mangrove* di Taman Nasional Baluran. Hutan *mangrove* yang berada di bibir Pantai Bama memiliki panjang 0,41 km dan lebar kurang lebih 135 m. (Suwarni, 2016). lokasi penelitian ini berada di titik koordinat 7°50'41.47"S dan 114°27'39.69"E sampai 7°50'45.93"S dan 114°27'35.85"E.

### **Pengolahan Garis Pantai dan Peta Dasar**

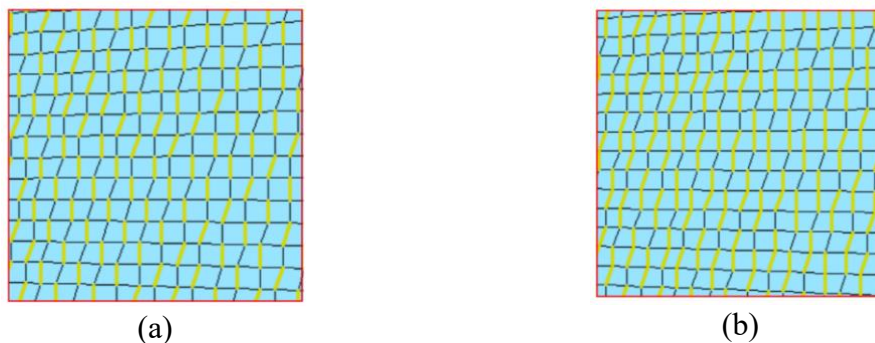
Pemodelan ini menggunakan peta dasar dan garis pantai yang diunduh dari *website* resmi tanah air Indonesia. Peta dasar harus menyesuaikan dengan lokasi penelitian. Oleh sebab itu, peta dasar harus disesuaikan dengan bantuan *software* QGIS. Garis Pantai yang didapat harus diubah dari (\*.kml) menjadi (\*.ldb) dengan bantuan perangkat lunak TextPad.

### Parameter Pemodelan

Pada pemodelan DELFT3D, nilai kekasaran dasar laut yang digunakan sebesar 0,011. Nilai ini ialah batas minimum nilai Manning pada Pantai Bama. Hal ini karena pada lingkungan hutan mangrove Pantai Bama, mangrove memiliki ukuran diameter sedimen sebesar 0,212 mm yang merupakan pasir halus. Oleh sebab itu nilai manning yang memenuhi adalah 0,010 hingga 0,012. Menggunakan nilai manning 0,011 karena batas minimum pemodelan dapat dijalankan dengan sempurna.

### Simulasi Model Gelombang

Skema pertama merupakan kondisi eksisting dengan asumsi jarak antar *mangrove* yaitu dua meter. Skema kedua dilakukan dengan mensimulasikan gelombang dengan bentuk penanaman lebih rapat dibandingkan dengan skema pertama. Kedua skema ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Grid: (a) Skema Pertama; dan (b) Skema kedua

### Validasi Pemodelan

Validasi pemodelan dilakukan untuk membandingkan hasil awal dengan data yang diperoleh dari website resmi Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengambilan data pasang surut dilakukan minimal 15 hari dengan interval pembacaan maksimal 1 jam (Pedoman Sumber Daya Air No. 11/SE/D/2021, 2021). Data tersebut diolah dengan bantuan *tools* “TIDE”.

### Perhitungan Reduksi Tinggi dan Energi Gelombang

Ketinggian gelombang saat sebelum dan sesudah melewati hutan *mangrove* akan mengalami perubahan. Hal ini disebut dengan reduksi gelombang. Sehingga, persentase reduksi gelombang dapat diperoleh dari persamaan:

$$\text{Reduksi tinggi gelombang} = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan  $A_1$  = tinggi gelombang sebelum hutan *mangrove* dan  $A_2$  = tinggi gelombang sesudah hutan *mangrove*.

Energi total gelombang adalah jumlah dari energi kinetik dengan energi potensial. Energi kinetik ( $E_k$ ) adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air akibat gerak gelombang. Energi potensial ( $E_p$ ) adalah energi yang dapat ditimbulkan oleh pergerakan muka air yang disebabkan oleh gelombang. Energi total gelombang dapat diperoleh dari persamaan:

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2)$$

dengan  $E$  = energi total gelombang,  $\rho$  = massa jenis air,  $g$  = percepatan gravitasi,  $H$  = tinggi gelombang dan  $L$  = panjang gelombang.

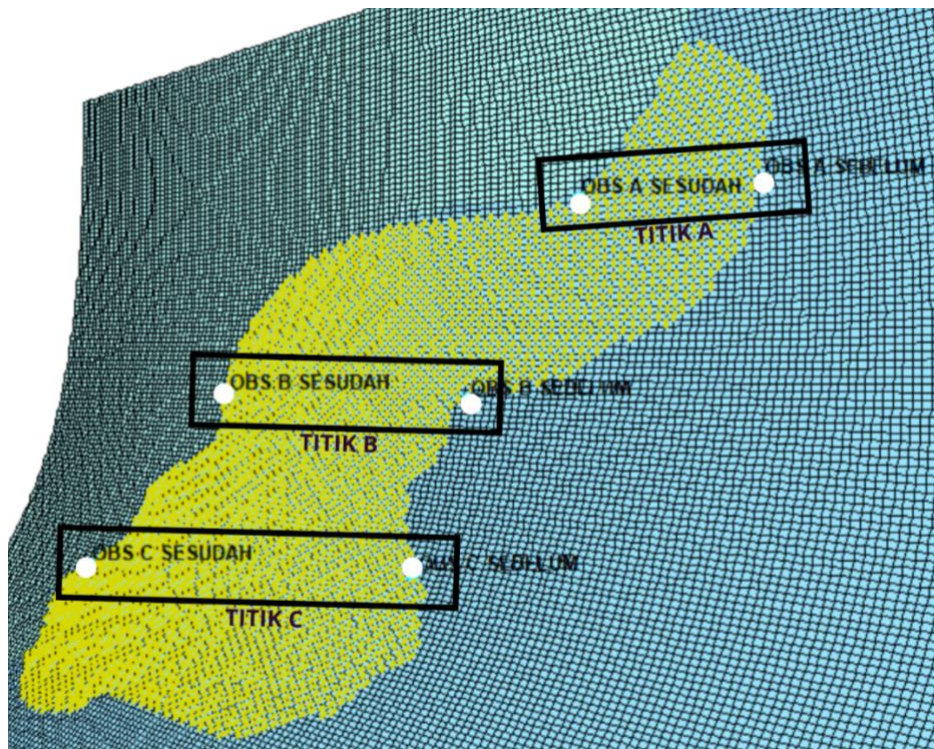
Persentase reduksi energi gelombang dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Reduksi energi gelombang} = \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) \times 100\% \quad (3)$$

dengan  $A_1$  = tinggi gelombang sebelum hutan *mangrove* dan  $A_2$  = tinggi gelombang sesudah hutan *mangrove*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

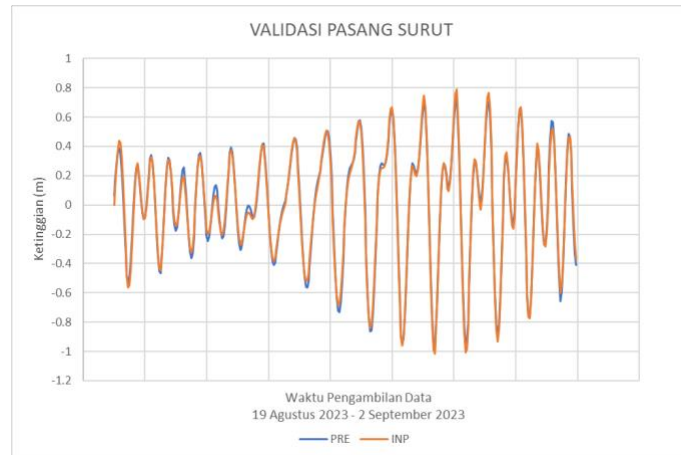
Hutan *mangrove* pada pemodelan ditinjau di 3 titik tiap skema. Titik A dengan panjang 80 m, titik B dengan panjang 100 m dan titik C dengan panjang 130 m. Asumsi Panjang hutan *mangrove* diukur menggunakan *tools* pada Google Maps dengan titik koordinat yang telah ditentukan. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Simulasi Tiap Skema

### Validasi Pemodelan

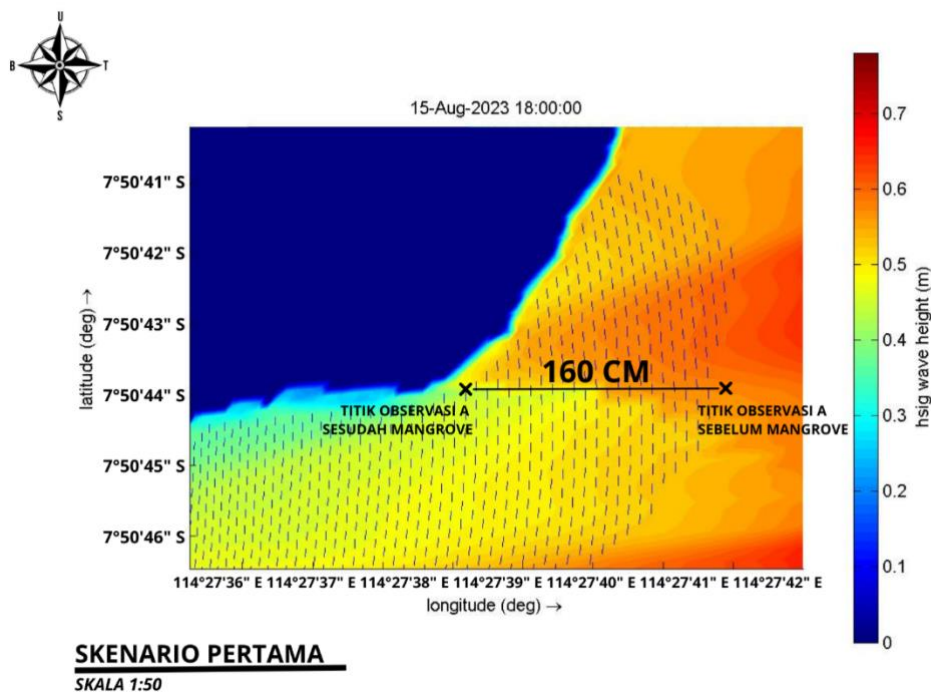
Hasil pemodelan divalidasi menggunakan data dari situs resmi Badan Informasi Geospasial (BIG) selama 15 hari mulai 19 Agustus 2023 hingga 2 September 2023. Titik koordinat pengambilan data berada di titik lintang  $-7,8464^\circ$  dan titik bujur  $114,4635^\circ$ . Dihasilkan nilai standar deviasi sebesar 0,0326. Grafik validasi pasang surut dapat dilihat pada Gambar 3.



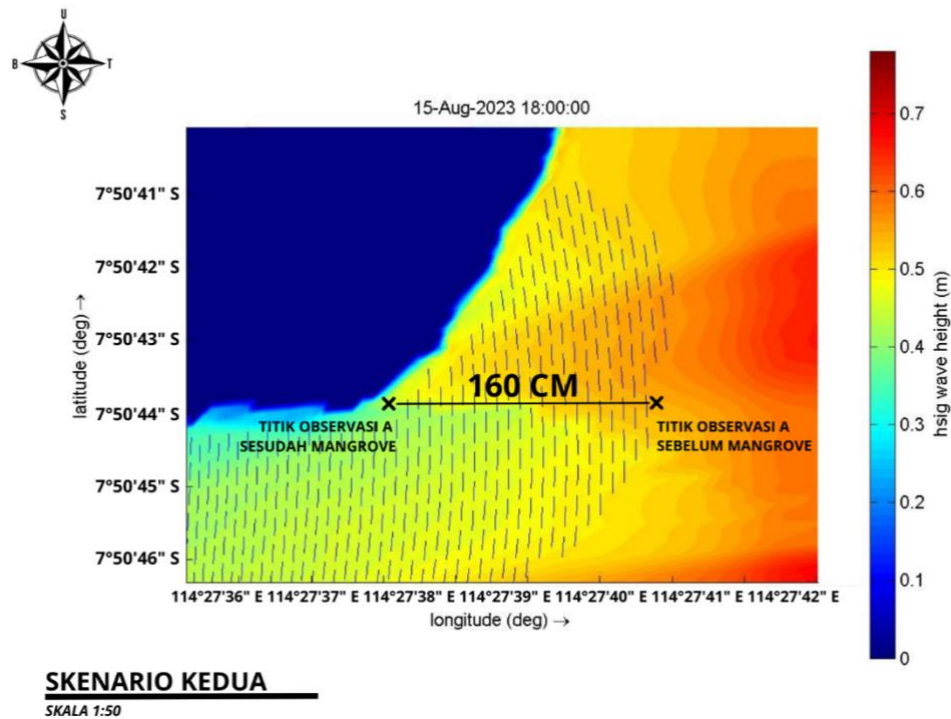
**Gambar 3** Grafik Validasi Pasang Surut

### Hasil Pemodelan Gelombang Titik A

Titik A berada pada koordinat  $-7.8455^{\circ}$ ,  $114.4611^{\circ}$  hingga  $-7.8453^{\circ}$ ,  $114.4604^{\circ}$  dengan panjang 80 m. Hasil dari pemodelan gelombang signifikan tertinggi terjadi pada tanggal 15 Agustus 2023 pukul 18.00 WIB dengan gelombang signifikan yang ditunjukkan pada Gambar 4.



(a)



(b)

**Gambar 4** Perbandingan Tinggi Gelombang Titik A pada (a) Skema Pertama dan (b) Skema Kedua

Berikut hasil yang menunjukkan reduksi tinggi dan energi gelombang pada pemodelan skema pertama dan kedua yang tertera pada Tabel 1.

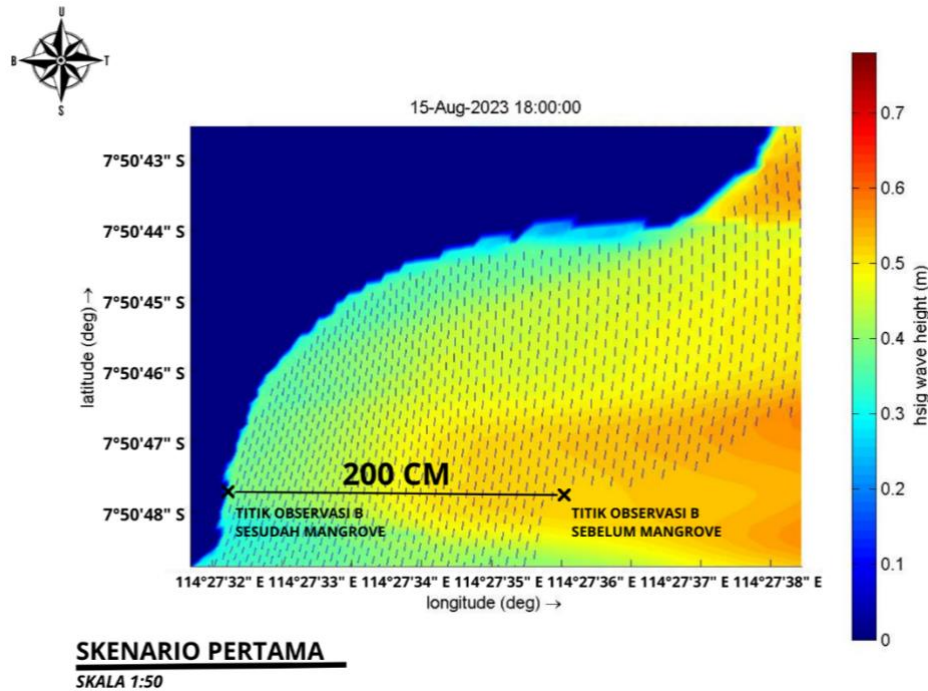
**Tabel 1** Hasil Pemodelan Gelombang pada Titik A

| No. | Hasil Pemodelan          | Satuan | Skema Pertama    |                  | Skema Kedua      |                  |
|-----|--------------------------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|     |                          |        | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove |
| 1   | Tinggi gelombang         | meter  | 0.6017           | 0.4664           | 0.6019           | 0.4612           |
| 2   | Periode Gelombang        | detik  | 4.5416           | 4.3698           | 4.5416           | 4.3698           |
| 3   | Panjang Gelombang        | meter  | 16.3157          | 14.8016          | 16.3157          | 14.8016          |
| 4   | Tinggi Muka Air          | meter  | 0.6257           | 0.4796           | 0.6257           | 0.4796           |
| 5   | Reduksi Tinggi Gelombang | %      |                  | 22.48            |                  | 23.37            |
| 6   | Reduksi Energi Gelombang | %      |                  | 45,49            |                  | 46,73            |

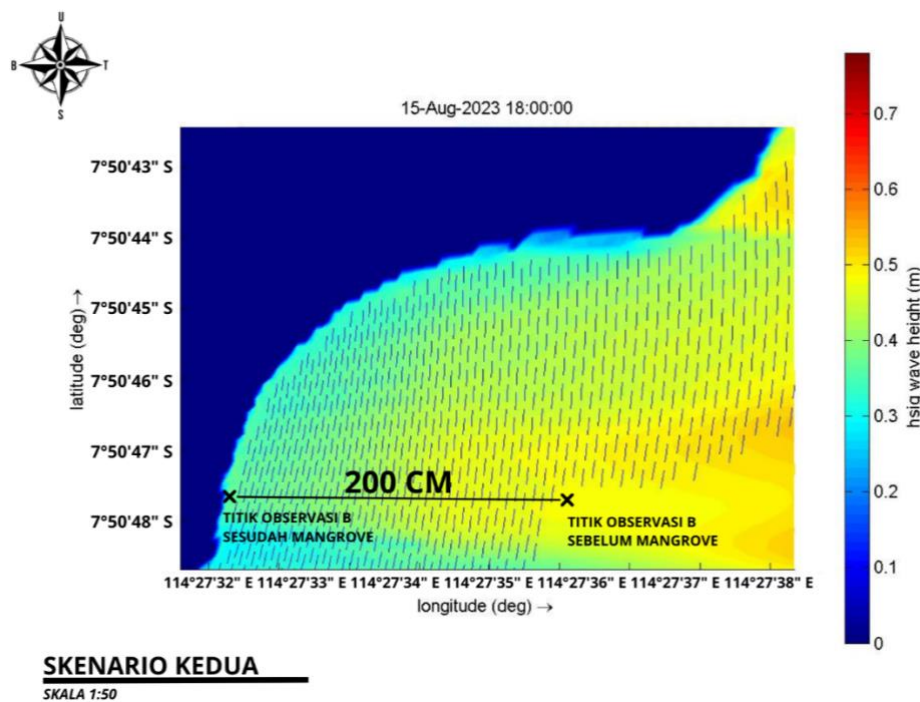
Pada skema pertama, persentase reduksi tinggi gelombang sebesar 22,48% dan persentase reduksi energi gelombang sebesar 45,49%. Untuk skema kedua, persentase reduksi tinggi gelombang sebesar 23,37% dan reduksi energi gelombang sebesar 46,73%.

## Hasil Pemodelan Gelombang Titik B

Titik B berada pada koordinat  $-7.8461^{\circ}$ ,  $114.4600^{\circ}$  hingga  $-7.8460^{\circ}$ ,  $114.4591^{\circ}$  dengan panjang 100 m. Hasil dari pemodelan gelombang signifikan tertinggi terjadi pada tanggal 15 Agustus 2023 pukul 18.00 WIB dengan gelombang signifikan yang ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)



(b)

**Gambar 5** Perbandingan Tinggi Gelombang Titik B pada (a) Skema Pertama dan (b) Skema Kedua

Berikut hasil yang menunjukkan reduksi tinggi dan energi gelombang pada pemodelan skema pertama dan kedua yang tertera pada Tabel 2.

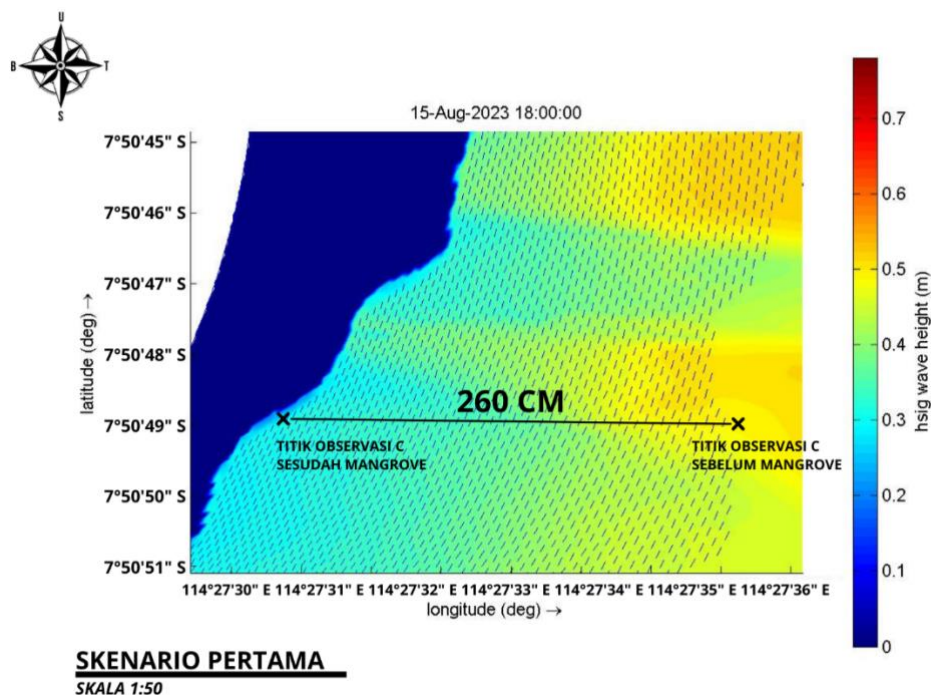
**Tabel 2** Hasil Pemodelan Gelombang pada Titik B

| No. | Hasil Pemodelan          | Satuan | Skema Pertama    |                  | Skema Kedua      |                  |
|-----|--------------------------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|     |                          |        | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove |
| 1   | Tinggi gelombang         | meter  | 0.5191           | 0.3853           | 0.5202           | 0.3718           |
| 2   | Periode Gelombang        | detik  | 4.5423           | 4.5989           | 4.5423           | 4.5989           |
| 3   | Panjang Gelombang        | meter  | 15.5006          | 12.8507          | 15.5006          | 12.8507          |
| 4   | Tinggi Muka Air          | meter  | 0.4896           | 0.0835           | 0.4896           | 0.0835           |
| 5   | Reduksi Tinggi Gelombang | %      | 25,76            |                  | 28,54            |                  |
| 6   | Reduksi Energi Gelombang | %      | 54,31            |                  | 57,67            |                  |

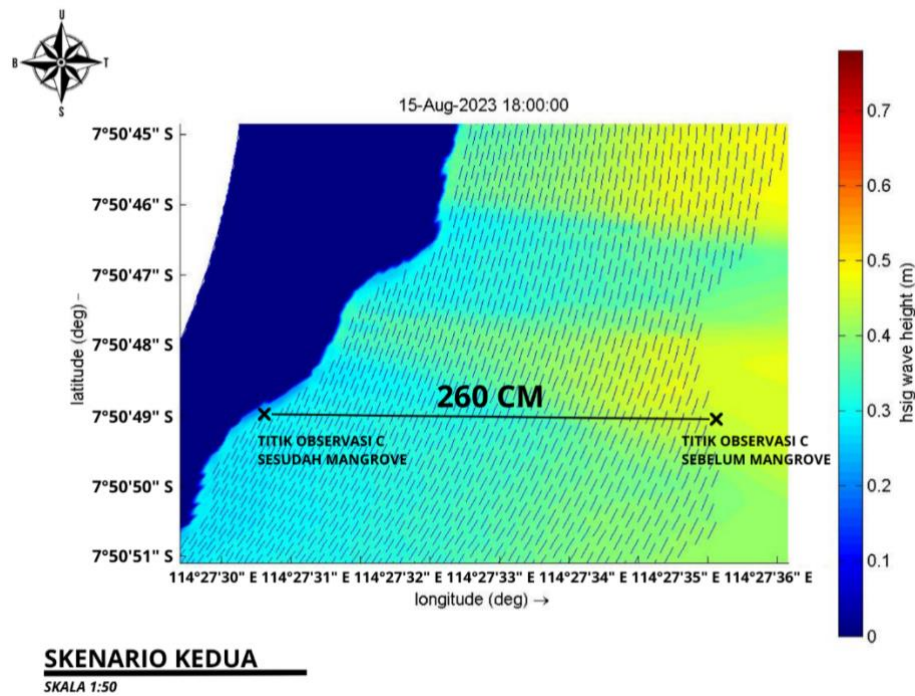
Pada skema pertama, persentase reduksi tinggi sebesar 25,76% dan persentase reduksi energi gelombang sebesar 54,31%. Sedangkan para skema kedua, persentase reduksi tinggi gelombang sebesar 28,54% dan reduksi energi gelombang sebesar 57,67%.

### Hasil Pemodelan Gelombang Titik C

Titik C berada pada koordinat  $-7.8469^{\circ}$ ,  $114.4598^{\circ}$  hingga  $-7.8467^{\circ}$ ,  $114.4586^{\circ}$  dengan panjang 130 m. Hasil dari pemodelan gelombang signifikan tertinggi terjadi pada tanggal 15 Agustus 2023 pukul 18.00 WIB dengan gelombang signifikan yang ditunjukkan pada Gambar 6.



(a)



(b)

**Gambar 6** Perbandingan Tinggi Gelombang Titik C pada (a) Skema Pertama dan (b) Skema Kedua

Pada titik C skema pertama (Tabel 3), persentase reduksi tinggi gelombang sebesar 35,12% sedangkan persentase reduksi energi gelombang sebesar 68,29%.

**Tabel 3** Hasil Pemodelan Gelombang pada Titik C

| No. | Parameter                | Satuan | Skema Pertama    |                  | Skema Kedua      |                  |
|-----|--------------------------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|     |                          |        | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove | Sebelum Mangrove | Sesudah Mangrove |
| 1   | Tinggi gelombang         | meter  | 0.4507           | 0.2924           | 0.4510           | 0.2833           |
| 2   | Periode Gelombang        | detik  | 4.5085           | 4.2631           | 4.5085           | 4.2631           |
| 3   | Panjang Gelombang        | meter  | 15.8113          | 11.9126          | 15.8113          | 11.9126          |
| 4   | Tinggi Muka Air          | meter  | 0.5606           | 0.0920           | 0.5606           | 0.0920           |
| 5   | Reduksi Tinggi Gelombang | %      |                  | 35.12            |                  | 37.18            |
| 6   | Reduksi Energi Gelombang | %      |                  | 68,29            |                  | 70,27            |

Pada skema kedua, hasil persentase reduksi tinggi gelombang sebesar 37,18% dan reduksi energi gelombang sebesar 70,27%.

### Reduksi Gelombang akibat Hutan *Mangrove*

Hutan *mangrove* merupakan pelindung pantai alami yang sangat efektif dalam meredam gelombang. Pemodelan numerik Xbeach menghasilkan disipasi rata-rata 66% (Dewi et al., 2021). Nilai persentase peredaman energi gelombang meningkat seiring bertambahnya

ketebalan hutan *mangrove* (Naban, 2024). Kerapatan hutan *mangrove* yang tinggi dapat menghasilkan reduksi gelombang hingga 21,5% (Putri et al., 2025) dan diameter pohon *mangrove* di Desa Darunu sekitar kurang dari 20 cm juga berpotensi mengurangi energi gelombang (Mandagi et al., 2024). Selain itu, daya lenting akar *mangrove* akan meningkat seiring bertambahnya jumlah akar *mangrove* sehingga energi peredaman meningkat (Khadafi et al., 2024).

Ekosistem hutan *mangrove* juga memiliki peran dalam mengurangi ketinggian dan kecepatan gelombang tsunami (Handayani et al., 2025). Lebar hutan *mangrove* diatas 500 m mampu mendisipasi gelombang sekitar 75% atau lebih, sedangkan dibawah 500 m, dispasi gelombang sangat bergantung pada Tingkat air setempat, karakteristik gelombang dan kerapatan hutan (van Wesenbeeck et al., 2025). Hutan *mangrove* Pantai Dubibir dengan lebar 250 m mampu mereduksi 55% tinggi gelombang dan 67% energi gelombang (Alfaridzi, 2022). Hutan *mangrove* Pantai Banyuglugur dengan lebar 70 m mampu mereduksi 50,6% tinggi gelombang dan 62% energi gelombang (Waluyo, 2022). Hutan *mangrove* di Desa Malalanda dan Desa Linsowu dengan lebar 65,61 m mampu meredam gelombang sekitar 26,424% hingga 99,98% (Yanti et al., 2022).

Hutan *mangrove* di Bangladesh dengan lebar 100 hingga 1.000 m dapat mereduksi gelombang sebesar 7% hingga 55% (Mancheño et al., 2022). Hutan *mangrove* di Teluk Zhanjiang, China dengan lebar 80 m dapat mereduksi tinggi gelombang hingga 62% (Wei et al., 2025). Hutan *mangrove* di Delta Nanliu, China dapat mereduksi tinggi gelombang hampir 58,33% dengan lebar 275 m dan 80% dengan lebar 1.000 m (Zhou et al., 2022). Hutan *mangrove* di Western Porth, Australia dapat mereduksi tinggi gelombang hingga 70% dengan lebar 100 m (Reef & Sayers, 2025). Sementara itu, hutan *mangrove* di Pesisir Desa Kuala Karang, Kecamatan Teluk Pakedai tidak mampu meredam gelombang karena kerapatan dan ketebalan hutan *mangrove* kurang serta tingginya sedimentasi (Simatupang et al., 2023).

## KESIMPULAN

Berdasarkan panjang hutan mangrove 80 m pada skema pertama dapat mereduksi tinggi dan energi gelombang sebesar 22,48% dan 45,49%. Skema kedua dapat mereduksi sebesar 23,37% dan 46,73%. Panjang hutan mangrove 100 m pada skema pertama dapat mereduksi tinggi dan energi gelombang sebesar 25,76% dan 54,31%. Skema kedua dapat mereduksi sebesar 28,54% dan 57,67%. Panjang hutan mangrove 130 m pada skema pertama dapat mereduksi tinggi dan energi gelombang sebesar 35,12% dan 68,29%. Skema kedua dapat mereduksi sebesar 37,18% dan 70,27%. Berdasarkan hasil pemodelan gelombang terhadap pengaruh hutan mangrove pada Pantai Bama Situbondo didapatkan hasil kesimpulan bahwa tiap skema mengalami perubahan gelombang yang terbentuk akibat variasi penanaman mangrove di setiap skema. Semakin tebal dan rapat hutan mangrove, semakin besar reduksi tinggi dan energi gelombang.

## DAFTAR PUSTAKA

Alfaridzi, M. (2022). *Pemodelan Reduksi Gelombang Menggunakan Software DELFT3D pada Hutan Mangrove Pantai Dubibir Kecamatan Suboh Kabupaten Situbondo*. Universitas Jember.

- Davies, J., & Claridge, G. (1993). *Wetland Benefits : the Potential for Wetlands to Support and Maintain Development*.
- Deltares. (2023). *Delft3D-FLOW: Simulation of Multi-dimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments - User Manual, version: 4.05, revision: 78507*.
- Dewi, M. S. S., Damarnegara, S., & Lasminto, U. (2021). *Model Numerik Atenuasi Gelombang oleh Vegetasi Menggunakan Program XBeach*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 19(2), 117.
- Djamaluddin, R. (2018). *Mangrove Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi Rignolda Djamaluddin*. Manado: Unsrat Press.
- Handayani, D., Schadu, J. N. W., Manoppo, L., Angmalisang, P. A., Pelle, W. E., & Sumilat, D. A. (2025). *Mangrove ecosystems as tsunami reducers on small islands in Bunaken National Park, North Sulawesi Province, Indonesia*. Aquatic Science & Management, 13(1), 1–7.
- Khadafi, M. F., Herison, A., Romdania, Y., & Khotimah, S. N. (2024). *Daya Lenting Akar Mangrove Rhizophora sp. sebagai Peredam Gelombang (Studi Kasus Pantai Dewi Mandapa, Pesawaran)*. Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain, 12(1), 77–88.
- Mancheño, A. G., Vuik, V., van Wesenbeeck, B. K., Jonkman, S. N. (Bas), Moll, R., Kazi, S., Urrutia, I., & van Ledden, M. (2022). *Wave Reduction by Mangroves during Cyclones in Bangladesh: Implementing Nature-Based Solutions for Coastal Resilience*.
- Mandagi, C. M., Lepar, M. J., Timpal, T., Mait, N. H., Rompas, V. O., Talimpong, A., & Gumolili, Y. (2024). *The Role of Diversity Structure, Dominance, and Diameter of Mangrove Trees and Mitigation of Coastal Abrasion at Darunu Village*. Jurnal Ilmiah Platax, 12(2), 261–272.
- Naban, M. F. (2024). *Reduksi Gelombang dengan Mangrove Rhizophora sp sebagai Alternatif Pelindung Pantai (Studi Kasus Pantai tanjung Putus, Pesawaran)*. Universitas Lampung.
- Pratikto, W. A., Armono, H. D., & Suntoyo. (1997). *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Yogyakarta: BPE.
- Putri, A. D., Fitriani, J., Khairunisa, Mulyasiwi, R. W., Fauzi, V. O. R., & Fauzi, R. (2025). *Simulasi Numerik Pengaruh Lebar dan Kerapatan Mangrove*. Jurnal EukaMatika, 13(1), 47–56.
- Reef, R., & Sayers, S. (2025). *Wave Attenuation by Australian Temperate Mangroves*. Journal of Marine Science and Engineering, 13(2), 1–16.
- Sari, I. P. (2018). *Analisis Pengaruh Perubahan Garis Pantai Terhadap Luasan Mangrove Di Pantai Bama Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo Jawa Timur*. Universitas Brawijaya.
- Senjana, S., Djafar, T., & Putri, R. A. (2023). *Konsep Hutan Bakau sebagai Konsep untuk Mitigasi Tsunami di Banda Aceh, Indonesia Mangrove Forest as a Concept for Tsunami Mitigation in Banda Aceh, Indonesia*. Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, Dan Permukiman, 5, 163–171.
- Simatupang, M., Akbar, A. A., & Lestari, A. D. (2023). *Analisis Kemampuan Mangrove*

- Dalam Meredam Gelombang. Jurnal Teknik Kelautan , PWK , Sipil, Dan Tambang*, 10(1), 1–6.
- Taofiqurohman, A. (2014). *Pemodelan Tinggi Gelombang Akibat Keberadaan Hutan Mangrove di Desa Mayangan, Kabupaten Subang*. *Jurnal Akuatika*, 5(1), 1–7.
- Tomlinson, P. B. (2016). *The Botany of Mangroves - 2nd edition*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- van Wesenbeeck, B. K., van Zelst, V. T. M., Antolinez, J. A. A., & de Boer, W. P. (2025). *Quantifying Uncertainty in Wave Attenuation by Mangroves to Inform Coastal Green Belt Policies*. *Communications Earth and Environment*, 6(1), 1–8.
- Waluyo, S. (2022). *Simulasi Numerik Reduksi Gelombang dengan Hutan Bakau Menggunakan Permodelan Delft3d di Pesisir Kecamatan Banyuglugur Situbondo*. Universitas Jember.
- Wei, X., Mo, W., Xiong, L., Hu, X., & Cheng, H. (2025). *Field Investigation of Wave Attenuation in a Mangrove Forest Dominated by Avicennia marina (Forsk.) Viern. Plants (Basel)*, 14(1).
- Yanti, R., Anda, P., & Laode, M. (2022). *Efek Mangrove Terhadap Peredam Energi Gelombang*. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, 4(1).
- Zhou, X., Dai, Z., Pang, W., Wang, J., & Long, C. (2022). *Wave Attenuation Over Mangroves in the Nanliu Delta, China*. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1–13.