REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

Rekayasa, 2025; 18(1): 64-72
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Pengaruh Hutan Mangrove Terhadap Reduksi Gelombang di Pantai Bama Kabupaten Situbondo dengan Pemodelan Menggunakan Delft3D

Regita Ramadhani Imanda[1], Retno Utami Agung Wiyono[1*], Wiwik Yunarni Widiarti[1]
[1]Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan No 37 Krajan Timur Sumbersari Jember Jawa Timur 68121
*E-mail Korespondensi : retnoutami@unej.ac.id
DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i1.26555
Submitted July 16th 2024, Accepted March 3rd 2025, Published April 7th 2025

Abstrak

Hutan mangrove di Pantai Bama merupakan salah satu hutan mangrove yang ada di Indonesia. Mangrove di kawasan Pantai Bama memiliki fungsi untuk melindungi berbagai ekosistem di sekitarnya dari kerusakan akibat abrasi atau sedimentasi. Pantai Bama yang statusnya masih berada di kawasan Taman Nasional Baluran dan tempat wisata yang memiliki pesona indah perlu dilindungi dari kerusakan gelombang sehingga dilakukan penelitian pemodelan pengurangan gelombang terhadap pengaruh lebar hutan mangrove menggunakan software Delft3D. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan nilai pengurangan energi dan tinggi gelombang akibat adanya hutan mangrove dengan lebar yang. Hasil pemodelan menemukan bahwa ketinggian gelombang signifikan tertinggi terjadi pada 16 Juli 2023 pukul 12:00 WIB. Hutan mangrove dengan ketebalan 125 m dapat mengurangi tinggi gelombang hingga 30,031% dan energi gelombang 48,263%. Hutan mangrove dengan ketebalan 110 m dapat meredam hingga 15,988% tinggi gelombang dan 31,268% energi gelombang. Mangrove dengan ketebalan 37 m dapat meredam hingga 4,049% tinggi gelombang dan 10,940% energi gelombang.

Kata Kunci: modeling, mangrove, reduksi gelombang, DELFT3D

Abstract

Mangrove forest in Bama Beach is one of the mangrove forests in Indonesia. Mangroves in the Bama Beach area have a function to protect various ecosystems around it from damage due to abrasion or sedimentation. Bama Beach, whose status is still in the Baluran National Park area and a tourist spot that has a beautiful charm, needs to be protected from wave damage so that wave reduction modeling research is carried out on the influence of mangrove forest width using Delft3D software. Modeling was carried out to obtain the value of energy reduction and wave height due to the presence of mangrove forests with different widths. The modeling results found that the highest significant wave height occurred on July 16, 2023 at 12:00 WIB. Mangrove forests with a thickness of 125 m can reduce wave height by 30.031% and wave energy by 48.263%. Mangrove forests with a thickness of 110 m can reduce up to 15.988% of wave height and 31.268% of wave energy. Mangroves with a thickness of 37 m can reduce up to 4.049% of wave height and 10.940% of wave energy.

***Key words**: modelling, mangrove, wave reduction, DELFT3D*

PENDAHULUAN

Hutan *mangrove* adalah ekosistem hutan yang ditumbuhi berbagai jenis tanaman *mangrove* yang biasanya terdapat di kawasan pinggir pantai, muara dan sungai yang mengalami rembesan air laut (Nur *et al.,* 2013). Terletak di kawasan pesisir, mangrove memliki peran sebagai penyangga ekosistem pesisir digunakan sebagai habitat bagi ikan dan biota laut. Indonesia memiliki luasan hutan *mangrove* 20-25% dari ekosistem *mangrove* dunia (Ridwan, 2022). Karakteristik pohon mangrove dapat mengurangi besar gelombang dengan satuan jarak, terutama pada keadaan fisik dari pohon bakau tersebut (Spalding *et al.,* 2014). Pohon mangrove yang memiliki akar kuat dan kokoh sangat berperan besar untuk meredam gelombang.

Hutan *mangrove* dapat berfungsi sebagai peredam energi gelombang, sehingga pantai dapat terlindung terhadap erosi (Triatmodjo, 1999). Selain arus dan pasang surut, parameter gelombang merupakan parameter penting dinamika perairan yang memberikan pengaruh terhadap perubahan wilayah pesisir dan laut (Dijkstra, 2008). Energi gelombang dapat memindahkan sedimen dalam jarak yang jauh dan jumlah yang cukup banyak sehingga berakibat erosi yang dapat menyebabkan abrasi. Abrasi merupakan peristiwa terkikisnya alur-alur pantai akibat gerusan air laut (Ismai *et al.,* 2012). Abrasi dapat

menyebabkan perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai umumnya menyebabkan kerusakan pantai di kawasan pesisir Tuban bagian barat (Richard & Sunarto, 2015). Adanya *mangrove* dapat mereduksi tinggi gelombang sehingga mengurangi kerusakan terhadap bangunan pantai, mencegah resiko terjadinya banjir rob dan menjaga kestabilan garis pantai.

Berdasarkan Taofiqurohman (2014), hutan *mangrove* di Desa Mayangan, Kabupaten Subang dapat mereduksi tinggi gelombang hingga mencapai 0,1 m dari ketinggian 1,7 m. Hutan *mangrove* mampu meredam gelombang dengan nilai 26,424% - 99,98 % (Yanti *et al.*, 2022). Menurut Hashim *et al.,* (2013) pohon mangrove yang lebih tinggi dapat tahan terhadap energi gelombang, tetapi dapat mengalamai kerusakan yang besar akibat angin.

Hutan *mangrove* di Pantai Bama adalah salah satu dari sekian hutan *mangrove* yang ada di Indonesia. Pantai Bama terletak di Kawasan Taman Nasional Baluran, Kabupaten Situbondo. Taman Nasional Baluran memiliki luas hutan *mangrove* sebesar 416.093 ha (Istomo & Ghifary, 2021). *Mangrove* di kawasan Pantai Bama memiliki fungsi untuk menjaga berbagai ekosistem sekitar dari kerusakan akibat abrasi atau sedimentasi (Eris., 2019). Pantai Bama yang statusnya masih berada di kawasan Taman Nasional Baluran memiliki flora dan fauna yang beragam serta menjadi tempat wisata yang memiliki pesona indah sehingga kawasan pantai perlu dijaga dari kerusakan akibat gelombang.

Peran *mangrove* sebagai pelindung pantai dengan konsep *Building with Nature* (BWN) tidak hanya untuk menjaga berbagai ekosistem sekitar tetapi juga menjaga keseimbangan pantai. Penelitian mengenai *mangrove* dilakukan sebagai langkah awal bahwa pentingnya hutan *mangrove* untuk kawasan pantai. *Mangrove* tidak hanya melindungi Pantai Bama dari abrasi, akan tetapi melindungi habitat beragam flora dan fauna di Dekat Pantai Bama. Prediksi perubahan garis pantai di Pantai Bama mengalami erosi rata-rata -1,27 m/tahun, dari intepretasi peta luasan mangrove pada tahun 2003 memiliki luas sekitar 1,62 km^2, 2013 memiliki luas sekitar 1,41 km^2 sedangkan pada tahun 2017 memiliki luas 1,70 km^2 (Sari, 2018) . Energi gelombang yang datang menuju Pantai Bama dapat menyebabkan abrasi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk menganalisis reduksi gelombang akibat *mangrove* di Pantai Bama. Penelitian ini diperlukan untuk mengambil kebijakan terkait perubahan iklim gobal (Belonje, 2019).

Pemodelan reduksi gelombang terhadap pengaruh hutan *mangrove* dilakukan menggunakan *software* Delft3D. Delft3D dapat mensimulasikan arus, gelombang, transport sedimen, pasang surut, perkembangan morfologi, kualitas air dan ekologi (Deltares, 2023). Pemodelan dinamika pasang surut menggunakan Delft3D dilakukan untuk mempelajari dampak perubahan akibat adanya vegetasi. Pemodelan tersebut memprediksi kecepatan arus, kesentrasi sedimen tersuspendi dan laju pengendapan sedimen (Horstman *et al*., 2013). Berdasarkan latar belakang di atas, pada penelitian ini dilakukan pemodelan reduksi gelombang untuk mengetahui nilai reduksti tinggi gelombang akibat adanya *mangrove* pada Pantai Bama, Kabupaten Situbondo dengan menggunakan *software* Delft3D.

METODE PENELITIAN

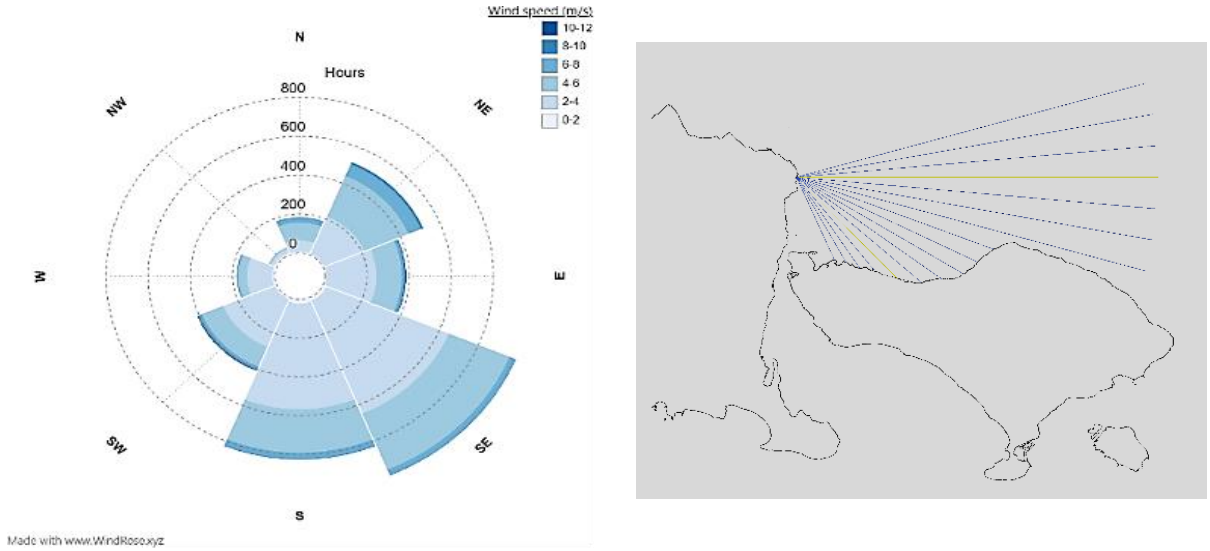
Lokasi Penelitian

Situbondo memiliki garis pantai sejauh 131,575 km (Sukandar *et al.,* 2016), salah satunya adalah Pantai Bama. Pantai Bama terletak di Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur (Gambar 1). Pantai Bama terletak delapan km dari gerbang Taman Nasional Baluran. Letak *mangrove* pada penelitian ini berada pada koordinat -7.845 LS, 114.459 BT hingga -7.844 LS, 114.460 BT.

Data Penelitian

Pemodelan dimulai dengan mengumpulkan data yang digunakan sebagai data input pemodelan seperti data angin, pasang surut, batimetri dan garis pantai. Data angin yang digunakan adalah data angin 10 tahun dari tahun 2013 – 2023 diperoleh dari BMKG stasiun Ketapang. Data kecepatan angin untuk 2013-2023 dikelompokkan ke dalam beberapa rentang kecepatan angin yang disebut kelas angin. Selain itu, arah dan kecepatan angin diplot dalam bentuk mawar angin yang dihasilkan dari situs web (Windrose.xyz), menghasilkan plot mawar angin (Prasetiyo, 2024) seperti yang ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**. Arah angin dominan di Pantai Bama ialah arah Tenggara yang memiliki kecepatan dominan 2-4 m/s. Arah dominan selanjutnya ialah arah Selatan yang memiliki kecepatan dominan juga pada 2-4 m/s.

Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Mawar Angin dan Garis Fetch Efektif

Langkah selanjutnya adalah menetukan fetch efektif untuk mengetahui tinggi, periode dan durasi gelombang (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2021). Titik awal pengambilan diukur dari lokasi penelitian, Pantai Bama. Ambil gambar menggunakan aplikasi AutoCad dengan membuat garis yang terpisah 5° antar sisi. Gambar 2 adalah gambar fetch efektif yang dibuat oleh aplikasi AutoCad. Angin dan daerah pembentukannya gelombang (fetch) merupakan faktor pembangkitan gelombang (Hidayah *et al.,* 2012). Setelah didapatkan fecth efektif yaitu dari timur, langkah selanjutnya adalah koreksi dan konversi data angin. Data angin maksimum yang diperoleh adalah 21 m/s dari timur. Selain itu, data angin dikoreksi dan dikonversi berdasarkan ketinggian 10 m di atas permukaan laut. Data angin yang diperoleh kemudian dikoreksi dan dikonversi yang terdiri dari koreksi ketinggian, koreksi lokasi dan faktor tegangan angin. Pada Tabel 1 merupakan rekapitulasi koreksi dan konversi data angin.

Tabel 1. Rekapitulasi koreksi dan konversi data angin

Arah Angin	Uz (m/s)	Z (m)	Ul (m/s)	RL	Uw (m/s)	Vw (m/s)	UA (m/s)
Timur	21	52	16,59	0,96	16,07	8,27	9,54
Tenggara	10	52	7,90	1,25	9,92	5,10	5,27

Data angin diolah dengan menggunakan metode SPM sehingga didapatkan rekapitulasi hindcasting gelombang. Metode ini digunakan untuk memprediksi pembentukan gelombang, dari tinggi dan periode gelombang menggunakan data angin sebagai pembangkitnya.

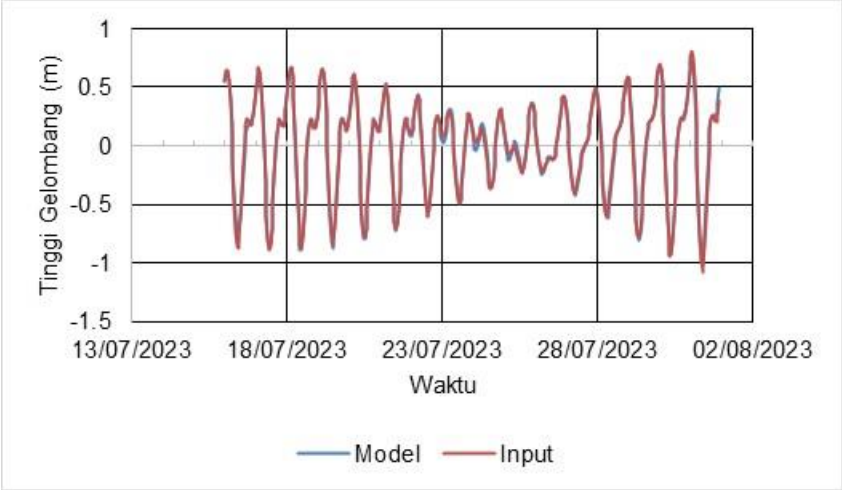
Tabel 2. Rekapitulasi hindcasting gelombang.

Arah Angin	H	T
	(m)	(s)
Timur	1,562	6,1921

Data pasang surut diperoleh dari data pasang surut harian selama 15 hari, mulai dari 1 Agustus hingga 15 Agustus 2023. Data pasang surut diperoleh dari situs Badan Informasi Geospasial (BIG). Data yang telah didapatkan selanjutnya dianalisis dengan bantuan tools Delft3D Tide untuk mendapatkan komponen konstanta harmonik (K1, O1, P1, Q1, M2, S2, N2, K2) sebagai input pemodelan gelombang. Validasi model dilakukan untuk membandingkan hasil awal dengan data yang diperoleh dari BIG. Gambar 4 menunjukkan ketinggian amplitudo yang hampir sama dari kedua pasang surut dari simulasi dan data BIG. Jenis pasang surut yang diperoleh adalah mixed diurnal, dimana dalam satu hari terjadi pasang tinggi dan surut, namun terkadang ada dua pasang surut.

Tabel 3. Konstanta harmonik pasang surut

Komponen Harmonik	Amplitudo	Phase
K1	0.835	85.2
O1	0.074	198.7
P1	1.28	168.8
Q1	0.146	150.5
M2	0.173	74.3
S2	0.166	144.1
N2	0.393	149.4
K2	0.128	216.3



Gambar 2. Validasi pasang surut

Data batimetri diunduh dari situs resmi Tanah Air Indonesia selanjutnya diproses menggunakan aplikasi QGIS untuk dipotong dan diekstraksi, menyesuaikan lokasi survei menjadi file dengan format (.xyz). Data batimetri yang diekstraksi digunakan untuk membuat data kedalaman (.dep) untuk pemodelan pada Delft3D. Batimetri adalah ukuran dari tinggi rendahnya dasar laut yang merupakan sumber informasi utama mengenai dasar laut (Nurkhayati & Khakhim, 2013) Data garis pantai didigitasi secara manual menggunakan fitur My Maps di Google Map di area penelitian. Hasil digitalisasi manual berupa file dengan

format (.kml) diubah menjadi file dengan format (.ldb) sehingga dapat ditampilkan di Delft3D menggunakan aplikasi Notepad.

Prosedur Pemodelan

Tahapan setelah pengumpulan data adalah pemodelan menggunakan Delft3D. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Delft3D untuk modul hidrodinamika yang dikembangkan oleh Deltares. Metode yang digunakan adalah metode *coupling* dimana *flow* dan *wave* berjalan secara bersamaan pada fitur Deft3D Flow. Delft3D FLOW adalah system pada bagian Delft3D yang digunakan untuk menghitung SWE (*Shallow Water Equation*) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk dua atau tiga dimensi pada sebuah grid (Syahputra & Yuliana, 2019). Hasil yang diperoleh dari pemodelan adalah tinggi gelombang, periode gelombang, dan panjang gelombang yang signifikan.

Langkah selanjutnya setelah diperoleh data tinggi gelombang, periode gelombang dan panjang gelombang yang diperoleh, kemudian menganalisis pengaruh lebar hutan *mangrove* terhadap reduksi gelombang. Reduksi gelombang yang dicari adalah reduksi tinggi gelombang dan energi gelombang. Persentase reduksi ketinggian gelombang dapat dihitung dengan rumus berikut oleh (Dekker, 2006).

$$\text{Reduksi gelombang} = \left(\frac{A1 - A2}{A1}\right) \times 100 \quad (1)$$

Langkah selanjutnya adalah menganalisis nilai energi gelombang. Energi gelombang total adalah jumlah energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik (Ek) adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air akibat gerakan gelombang. Energi potensial (Ep) adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan permukaan air akibat gelombang (Triatmodjo, 1999)

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2)$$

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (3)$$

Energi kinetik dan energi potensial adalah sama, sehingga energi total per satuan lebar (E) adalah:

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (4)$$

Energi gelombang berubah dari titik ke titik sepanjang satu panjang gelombang, sehingga energi rata-rata untuk satu satuan luas adalah:

$$E = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (5)$$

Sehingga

$$E_i = \frac{\rho g H_i}{8} \quad (6)$$

$$E_t = \frac{\rho g H_t}{8} \quad (7)$$

$$E_r = \frac{\rho g H_r}{8} \quad (8)$$

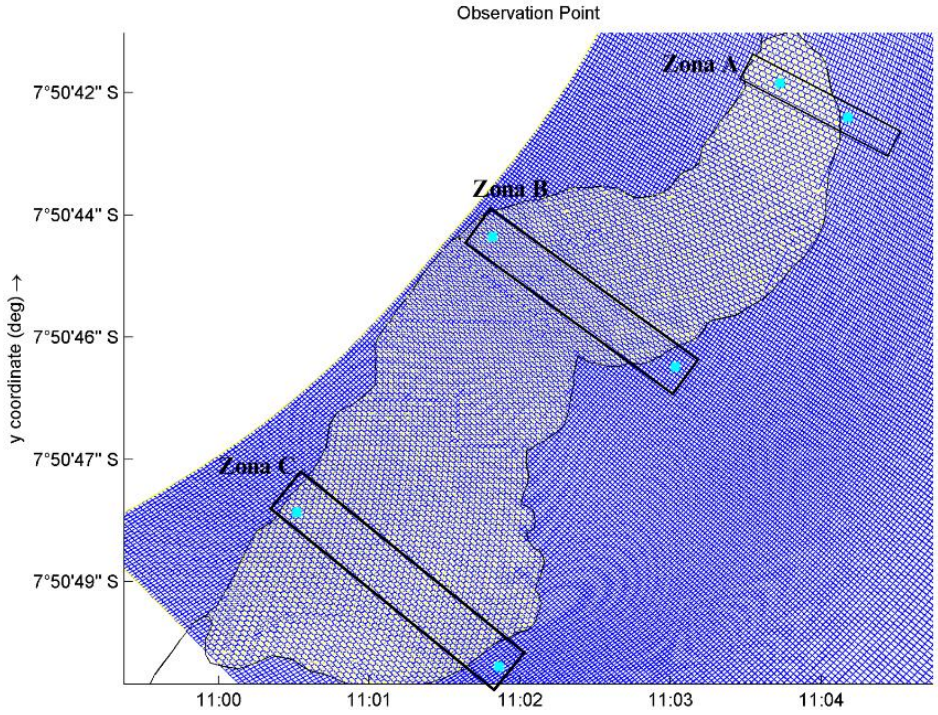
Hasil disipasi gelombang dihitung menggunakan persamaan (9). Disipasi gelombang merupakan parameter untuk mengukur seberapa besar kemampuan pantai meredam gelombang (Almunawir, 2019)

$$E_d = E_i - E_t - E_r \quad (9)$$

Dimana, Ed adalah energi gelombang teredam, Ei adalah energi gelombang insiden, Et adalah energi gelombang transmisi, dan Er adalah Energi Gelombang Refleksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

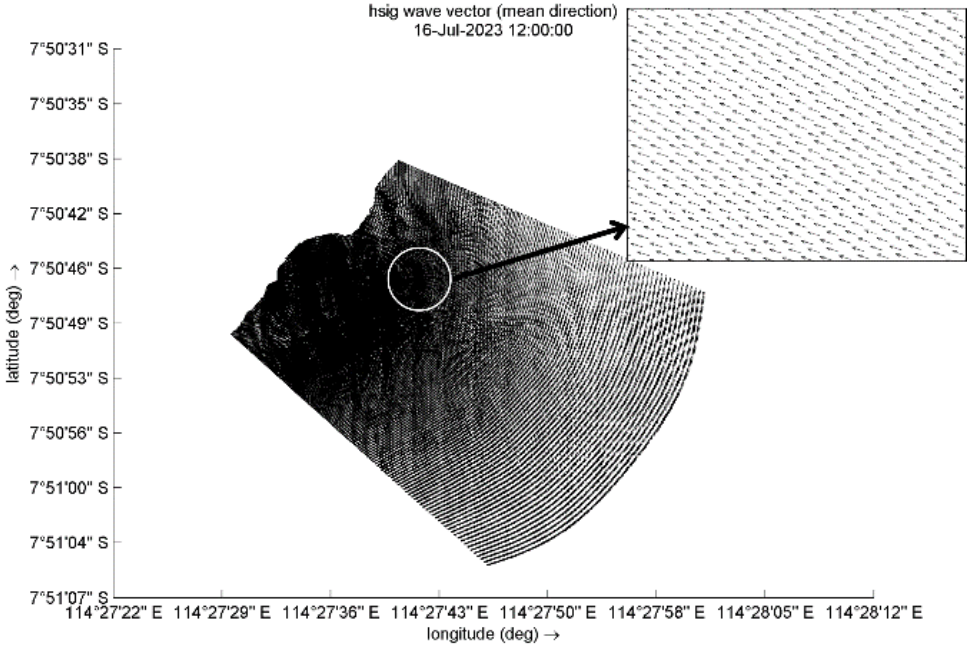
Hutan *mangrove* dibagi menjadi 3 hutan yang diasumsikan sesuai dengan lebar yaitu Zona A adalah hutan *mangrove* yang memiliki tebal 37 m, Zona B adalah hutan *mangrove* yang memiliki tebal 110 m dan Zona C adalah hutan *mangrove* yang memiliki tebal 125 m. Asumsi lebar diukur melalui Google Maps melalui titik koordinat yang terdapat pada titik observasi. Untuk kelebaran hutan *mangrove* dan lokasi pada tiap zona dapat dilihat Gambar 5.



Gambar 3. Titik observasi Zona A,B dan C

Hasil Pemodelan Menggunakan Delft3D

Hasil pemodelan diperoleh setelah memperoleh output dari hasil pemodelan selama 24 jam, pada tanggal 16 Juli 2023 menggunakan Delft3D dengan tiga zona hutan *mangrove* yang memiliki lebar berbeda. Arah gelombang pada pemodelan Delft3D yang digunakan adalah dari arah timur, yang dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil reduksi gelombang tanpa *mangrove* di semua zona menunjukkan bahwa gelombang tertinggi terjadi pada tanggal 16 Juli 2023 pukul 12:00. Tabel 5 adalah hasil pemodelan dan perhitungan masing-masing zona.



Gambar 6. Vektor arah angin pada 16 Juli 2023 pukul 12.00 WIB

Tabel 4. Hasil pemodelan setiap zona

No	Parameter	Satuan	A		B		C	
			A1	A2	B1	B2	C1	C2
1	Panjang gelombang	m	12,120	11,240	13,619	11,018	18,892	13,378
2	Periode Gelombang	s	3,507	3,332	3,825	3,308	0,737	0,516
3	Tinggi Gelombang	m	0,549	0,527	0,600	0,504	0,737	0,516
4	Energi Gelombang	Joule	8361,443	7440,573	10257,937	6972,137	17484,159	8662,529
	Energi Gelombang Refleksi	Joule	6,143		78,300		383,168	
	Disipasi Gelombang	Joule	914,727		3207,499		8438,462	
	Persentase Disipasi Gelombang	%	10,940		31,268		48,263	
	Reduksi ketinggian gelombang	m	0,022		0,096		0,221	
	Persentase Reduksi Tinggi Gelombang	%	4,049		15,988		30,031	

Persentase pengurangan tinggi gelombang dapat dihitung dengan persamaan (1). Reduksi Gelombang = $\left(\frac{0,549-0,527}{0,549} \times 100\right)$ = 4,049 %. Hasil disipasi gelombang dihitung menggunakan persamaan (9). $E_d = 8361.443 - 7440.573 - 6.143 = 914.727$. Sehingga dapat dilihat bahwa pengurangan gelombang sebesar 4,049% dan disipasi gelombang sebesar 914,727 joule dengan persentase disipasi gelombang sebesar 10,940% di zona A.

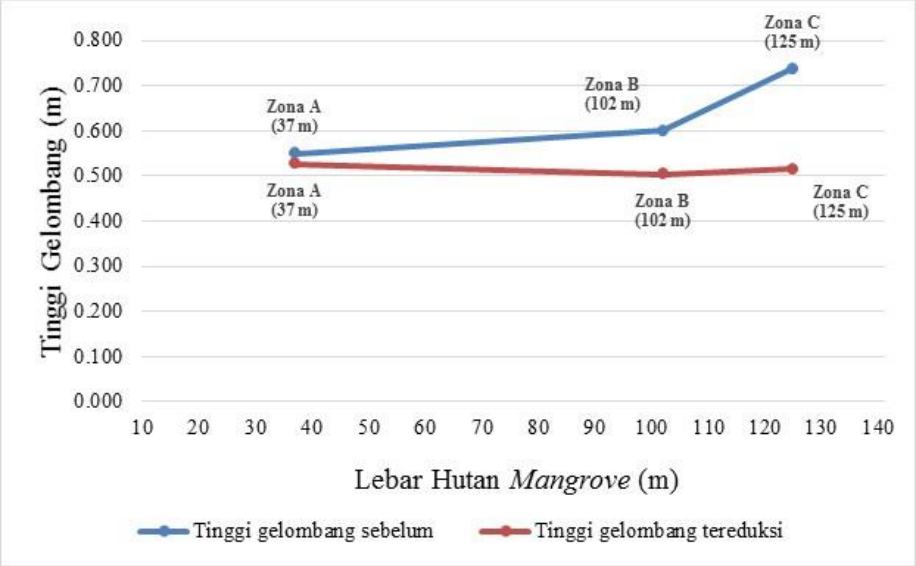
Perbandingan reduksi gelombang tiap zona

Hasil perbandingan model masing-masing zona dengan pengurangan tinggi gelombang dan energi gelombang di setiap zona disajikan pada Tabel 5. Hasil perbandingan presentase reduksi tinggi gelombang tiap zona menunjukkan pada zona dengan tebal hutan *mangrove* paling tebal yaitu zona C (125 m) memiliki presentase reduksi tinggi gelombang paling besar. Presentase reduksi tinggi gelombang pada Zona C yaitu 30,031 % lebih besar dari pada zona A (37 m) yang hanya 4,049 %. Pada zona B dengan tebal hutan *mangrove* 110 m gelombang tereduksi sebesar 20,556 %. Hal tersebut menandakan bahwa dengan semakin tebal hutan *mangrove* dapat mengurangi ketinggian gelombang.

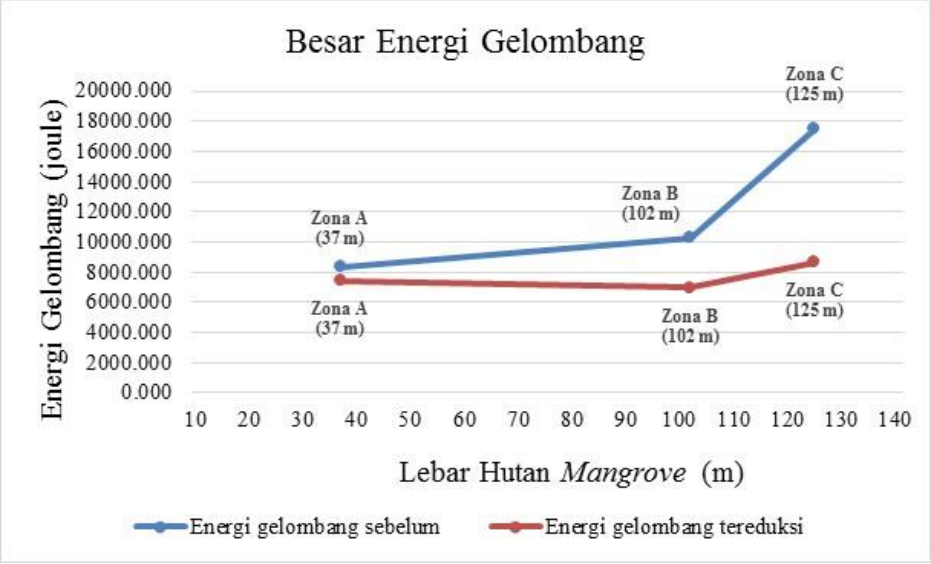
Tabel 5. Perbandingan Persentase Reduksi Tinggi dan Energi Gelombang tiap Zona

Zona	Reduksi Energi Gelombang (%)	Reduksi Tinggi Gelombang (%)
A (37 m)	10,940	4,049
B (110 m)	31,268	15,988
C (125 m)	48,263	30,031

Hasil perbandingan presentase reduksi energi gelombang tiap zona menunjukkan pada zona dengan tebal hutan *mangrove* paling tebal yaitu zona C (125 m) memiliki presentase reduksi energi gelombang paling besar. Presentase reduksi energi gelombang pada Zona C yaitu 48,263 % lebih besar dari pada zona A (37 m) yang hanya 10,940 %. Pada zona B energi gelombang tereduksi sebesar 31,268 %. Energi gelombang dihamburkan oleh aliran di sekitar vegetasi *mangrove*, melakukan pekerjaan untuk mengubah arah aliran dan melawan gesekan permukaan *mangrove*, sehingga mengurangi tinggi gelombang (Mazda *et al.,*1995). **Error! Reference source not found.** menunjukkan grafik tinggi dan selisih tinggi gelombang antara gelombang sebelum dengan setelah mangrove yang reduksinya semakin tinggi selaras dengan bertambahnya lebar hutan *mangrove*. Pada Gambar 4 terlihat juga bahwa grafik energi dan selisih energi gelombang antara gelombang sebelum dengan setelah *mangrove* yang semakin meningkat selaras dengan bertambahnya lebar hutan *mangrove*. Tinggi gelombang berkaitan dengan energi gelombang (*Coastal Engineering Reasearch Center,* 1984) menyatakan bahwa semakin besar tinggi gelombang maka nilai energi gelombang semakin besar begitu pula sebaliknya.



Gambar 7. Perbandingan tinggi gelombang sebelum *mangrove* dan gelombang tereduksi setelah *mangrove*



Gambar 4. Perbandingan energi gelombang sebelum *mangrove* dan gelombang tereduksi setelah *mangrove*

Perbandingan tiap zona dengan ketebalan yang berbeda menunjukkan reduksi tinggi gelombang yang semakin besar seiring bertambahnya ketebalan zona hutan *mangrove*. Diketahui fungsi hutan *mangrove* untuk melindungi pesisir pantai dari gelombang yang dapat menyebabkan abrasi yang menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai tersebut dapat diatasi dengan menanam pohon bakau. Penelitian oleh Soraya *et al.,* (2012) menunjukkan bahwa ada keterkaitan penurunan luasan ekosistem hutan *mangrove* dengan perubahan garis pantai dengan menurunnya luasan hutan *mangrove* sebesar 32% yang menyebabkan pemunduran garis pantai sebsar 350,18 meter di kecamatan Legonkulon, Kabupaten Subang, Jawa Barat.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wiyono *et al* (2024) hutan *mangrove* dengan tebal 70 m mampu mereduksi hingga 50,63%. Penelitian oleh Yanti *et al* (2022) menyebutkan bahwa *mangrove* dengan tebal 65,61 m mampu meredam gelombang antara 40.174% - 89.267%. Selain itu, semakin besar tinggi gelombang laut dangkal maka semakin besar pula nilai peredaman gelombang oleh *mangrove*. Mclvor *et al* (2012) menyatakan dengan tingkat redaman 0,0014/m dan 0,011/m menyarankan bahwa hutan mangrove dengan tebal 500 m atau lebih mampu meredam 50 hingga 99 % tinggi gelombang.

Berdasarkan hasil simulasi, keberadaan hutan *mangrove* pada Pantai Bama dapat mencegah terjadinya abrasi terlihat dari persentase reduksi tinggi dan energi gelombang pada zona terluas yaitu zona C tertinggi yaitu 30.031% dan 48.263 %. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi tinggi dan energi gelombang dipengaruhi oleh tebalnya hutan *mangrove*. Kuartel *et al* (2007) sudah menyatakan bahwa hubungan eksponensial ini dapat dijelaskan oleh jaringan padat batang, cabang dan akar udara pohon bakau, meningkatkan kekasaran dasar, menyebabkan lebih banyak gesekan dan dengan demikian menghilangkan lebih banyak energi gelombang (Mclvor *et al.,* 2012)

Penelitian lainnya menunjukan bahwa bukan hanya tebal dan luasan *mangrove* yang memengaruhi reduksi gelombang yaitu terdapat usia, spesies, dan musim magrove. Menurut Mclvor *et al* (2012), faktor-faktor yang mempengaruhi redaman tinggi gelombang saat gelombang melewati hutan bakau termasuk jarak tempuh, kedalaman air dan berbagai karakteristik bakau (misalnya spesies, umur, ukuran). Penelitian oleh Zhou *et al* (2022) menunjukkan bahwa usia dan musim *mangrove* yang berbeda mempengaruhi tingkat kemampuan redaman gelombang di Delta Nanliu China.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan gelombang terhadap pengaruh tinggi *mangrove* menggunakan Delft3D di Pantai Bama dapat disimpulkan bahwa hutan *mangrove* dengan ketebalan 125 m dapat mereduksi hingga 30,031 % tinggi gelombang dan 48,263 % energi gelombang. Hutan *mangrove* dengan ketebalan 110 m dapat meredam hingga 15,988 % tinggi gelombang dan 31,268 % energi gelombang. Hutan bakau dengan ketebalan 37 m dapat meredam hingga 4,049 % tinggi gelombang dan 10,940 % energi gelombang. Hutan *mangrove* dengan kondisi paling ketebalan yang paling panjang mereduksi gelombang lebih tinggi dari hutan *mangrove* dengan ketebalan yang lebih pendek. Hasil penelitian didapatkan bahwa presentase reduksi gelombang berbanding lurus dengan ketebalan hutan *mangrove*.

DAFTAR PUSTAKA

Almunawir, A. A. (2019). *Analisis Refleksi dan Disipasi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Berpori*. Uneversitas Muhammadiyah Makassar.

Belonje, R. (2019). *Modelling the effect of wave action on sediment transport, morphological evolution and vegetation dynamics in coastal mangrove systems*. Utrecht University.

Coastal Engineering Reasearch Center. (1984). *Shore protection* Manual (4 ed., Vol. 1). Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center.

Dekker, F. (2006). Hydrodynamics and Morphodynamics in and around Mangrove Forests. Dalam *Delft Hydraulics*.

Deltares. (2023). *3D/2D modelling suite for integral water solutions* (4.05). Deltares.

Eris I.A. (2019). Analisis Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Citra Landsat di Kawasan Taman Nasional Baluran, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur Tahun 2002 dan 2017. *Prosiding Seminar Nasional Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta 2019,* 372–379.

Hashim, A. M., Catherine, S. M. P., & Takaijudin, H. (2013). Effectiveness of Mangrove Forests in Surface Wave Attenuation: A Review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, *5*(18), 4483–4488. https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4361

Hidayah, R., Suntoyo, & Armono, H. D. (2012). *Analisa Perubahan Garis Pantai Jasri, Kabupaten Karangasem Bali*. *1*, G259–G264. https://doi.org/10.12962/j23373539.v1i1.1996

Horstman, E., Dohmen-Janssen, M., & Hulscher, S. (2013). Modeling Tidal Dynamics in A Mangrove Creek Catchment in Delft3d. *Coastal Dynamic*, 833–844.

Istomo, I., & Ghifary, S. (2021). Asosiasi Bakau (Rhizophora apiculata Blume.) dengan Jenis-Jenis Mangrove Lainnya di Pantai Bama Taman Nasional Baluran Jawa Timur. *Journal of Tropical Silviculture*, *12*(3), 135–143. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.135-143

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2021). *Pedoman Kriteria Perencanaan Pengaman Pantai di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air*.

Mazda, Y., Kanazawa, N., & Wolanski, E. (1995). Tidal asymmetry in mangrove creeks. *Hydrobiologia*, *295*(1), 51–58. https://doi.org/10.1007/BF00029110

Mclvor, A., Möller, I., Spencer, T., & Spalding, M. (2012). Reduction of Wind and Swell Waves by Mangroves Natural Coastal Protection Series: Report 1. Dalam *Natural Coastal Protection Series*. http://www.naturalcoastalprotection.org/documents/reduction-of-wind-and-swell-waves-

Nur, M., Nasruddin, Wasiq, J., & Sumariyah. (2013). Penerapan Teknologi Plasma untuk Mempercepat Persemaian Mangrove Sebagai Upaya Rehabilitasi Green Belt untuk Mengatasi Abrasi. *RIPTEK*, *1*(1), 15–26.

Nurkhayati, R., & Khakhim, N. (2013). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird di Perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, *2*(2), 78320.

Prasetiyo, A. (2024). Analisis Arah dan Kecepatan Angin Permukaan Menggunakan Digaram Wind Rose di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin. *Buletin GAW Bariri*, *5*(2), 40–49. https://doi.org/10.31172/bgb.v5i2.133

Richard, R., & Sunarto, S. (2015). Kepesisiran Kabupaten Tuban Bagian Barat. *Jurnal Bumi Indonesia*, *4*(4), 1–10.

Sari, I. P. (2018). *Analisis Pengaruh Perubahan Garis Pantai Terhadap Luasan Mangrove di Pantai Bama Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo Jawa Timur* [Universitas Brawijaya]. http://repository.ub.ac.id/id/eprint/13011

Singka Ismai, C., Hariyanto, & Suharini, E. (2012). Pengaruh Abrasi Terhadap Tingkat Pendapatan Petani Tambak di Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. *Geo Image*, *1*(1). http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/geoimage

Soraya, D., Suhara, O., & Taofiqurohman, A. (2012). Perubahan Garis Pantai Akibat Kerusakan Hutan Mangrove di Kecamatan Blanakan dan Kecamatan Legonkulon, Kabupaten Subang. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, *3*(3), 1–10. https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/2580

Spalding, M., Mclvor, A., Tonneijck, F., Tol, S., & Eijk, P. van. (2014). *Mangroves for coastal defence*. www.nature.org.

Syahputra, I., & Yuliana, H. (2019). *Pemodelan Kecepatan Arus dan Tinggi Gelombang Pada Rencana Breakwater Kolam Pelabuhan Meulaboh Dengan Menggunakan Program Delft3D*. *5*(2), 59–67. http://jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipilunaya

Taofiqurohman, A. (2014). Pemodelan Tinggi Gelombang Akibat Keberadaan Hutan Mangrove di Desa Mayangan, Kabupaten Subang. *Jurnal Akuatika*, *V*(1), 1–7.

Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset.

Wiyono, R.U.A., Halik, G., Waluyo, S., Sofiana, R. (2024). *Numerical Simualtion of Wave Reduction with Mangrove Forest using Delft3D Modeling at Banyuglugur Beach*. International Journal of Geomate. June, 2024. Vol. 26(118), pp. 49-56 https://doi.org/10.21660/2024.118.4354

Yanti, R., Anda, P., & Muliddin, M. (2022). Efek Mangrove Terhadap Peredaman Energi Gelombang. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, *04*(01), 23–34.

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*(May), 1–13. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.874818