

Evaluasi Kinerja *Breakwater* Terhadap Gelombang di Pantai Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti

Evaluation Of Breakwater Performance Against Waves At Tanjung Medang Beach, Rangsang District, Meranti Islands Regency

Fauzan Azima¹, Harmiyati^{2,*}, Firdaus Agus³, Muchammad Zaenal Muttaqin⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution No. 113, Kota Pekanbaru, Indonesia

* Penulis korespondensi : harmiyati.mimi@eng.uir.ac.id

Tel.: +62 823-9205-7557

Direvisi: Apr 10, 2023 Disetujui: Apr 25, 2023

DOI: 10.25299/saintis.2023.vol23(01).25225

Abstrak

Pantai Tanjung Medang di Kabupaten Kepulauan Meranti mengalami abrasi dan kerusakan akibat gelombang besar, mengancam pemukiman dan pelabuhan. Untuk mengatasinya, dibangun pemecah ombak (*breakwater*). Namun, seiring waktu dan kenaikan muka air laut, kinerja *breakwater* dinilai tidak lagi maksimal, terutama saat pasang besar. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *breakwater* eksisting dengan menganalisis karakteristik gelombang. Metode yang digunakan adalah *hindcasting* gelombang berdasarkan data angin 10 tahun dari BMKG Tanjung Balai Karimun untuk mendapatkan tinggi, periode, dan transformasi gelombang. Analisis dilanjutkan dengan penentuan elevasi muka air laut menggunakan metode Admiralty, serta analisis *run-up* dan *overtopping* gelombang. Hasil analisis menunjukkan bahwa gelombang dominan berasal dari arah timur laut dengan ketinggian di atas 1 m, menjadikannya gelombang destruktif. Pada kondisi muka air tertinggi (HHWL), *breakwater* setinggi 3 m mengalami *overtopping* dari berbagai arah (nilai *run-up* tertinggi 2,25 m dari utara), sehingga tidak sepenuhnya aman meskipun masih efektif memecah gelombang. Sementara itu, *breakwater* setinggi 1,6 m sudah tidak efektif dalam mereduksi energi gelombang yang datang.

Kata Kunci: *Breakwater Tanjung Medang, hindcasting, karakteristik gelombang, transformasi gelombang, run-up dan overtopping gelombang*

Abstract

Tanjung Medang Beach in Meranti Islands Regency has experienced abrasion and damage from large waves, threatening settlements and the local port. A breakwater was built to mitigate this issue. However, over time, due to changing natural conditions and rising sea levels, its performance is considered suboptimal, especially during high tides. This study evaluates the existing breakwater's performance by analyzing wave characteristics. The method involves wave hindcasting based on 10 years of wind data from BMKG Tanjung Balai Karimun to determine wave height, period, and transformation. The analysis is supplemented by determining the sea level elevation using the Admiralty method, followed by a run-up and overtopping analysis. The results indicate that the dominant waves come from the northeast with heights exceeding 1 m, classifying them as destructive waves. At the highest water level (HHWL), the 3 m high breakwater experiences overtopping from various directions (with the highest run-up value of 2.25 m from the north), rendering it not entirely safe, although it remains effective at breaking incoming waves. Meanwhile, the 1.6 m high breakwater is no longer effective in reducing wave energy.

Keywords: *Tanjung Medang Breakwater, hindcasting, wave characteristics, wave transformation, run-up and wave overtopping*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim memiliki wilayah laut seluas lebih dari 3,5 juta km², yang merupakan dua kali luas daratan[1]. Dari banyak garis pantai yang membentang di setiap kepulauan di Indonesia, salah satunya adalah garis pantai Tanjung Medang yang berada di pesisir pulau Rangsang tepatnya di Desa Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti, selain berfungsi sebagai pembatas antara darat dan laut, garis pantai ini juga merupakan daerah nelayan/perikanan yang terkenal dan dimanfaatkan sebagai daya tarik wisata lokal.

Pantai Tanjung Medang ini berbatasan langsung dengan Selat Malaka, yang memiliki kecepatan angin tinggi dan menghasilkan gelombang besar sehingga mengakibatkan abrasi dan kerusakan signifikan yang mengancam pemukiman (± 200 KK), infrastruktur, serta mata pencaharian masyarakat.

Karena abrasi dan kerusakan yang terjadi maka pada Pantai Tanjung Medang perlu dilakukan suatu penanganan agar abrasi, kerusakan dan kerugian yang terjadi dapat dikurangi atau diatasi. Penanganan yang dilakukan adalah dengan

membuat suatu bangunan pelindung pantai berupa bangunan pemecah ombak (*breakwater*) untuk melindungi pantai, pelabuhan, dan pemukiman masyarakat yang ada di pesisir pantai dari besarnya hantaman gelombang laut yang terus menerus menghantam Pantai Tanjung Medang.

Pada tahun 2014 dan 2015 telah dibangun bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) jenis lepas pantai dengan tipe sisi miring dari tumpukan batu pecah dengan ketinggian 1,6 m. Namun sejak dibangun *breakwater* tersebut para nelayan mengalami kesulitan untuk keluar dan masuk ke pelabuhan pendaratan ikan dikarenakan *breakwater* tersebut terlalu rendah sehingga ketika air pasang *breakwater* tersebut tenggelam dan tidak terlihat oleh para Nelayan. Kemudian pada tahun 2019 dan 2020 dilakukan penambahan panjang *breakwater* jenis lepas pantai dengan tipe sisi miring dan tinggi 3 m. Seiring dengan berjalannya waktu, perubahan kondisi alam serta terjadinya pemanasan global sehingga mengakibatkan terjadinya kenaikan elevasi muka air laut yang berpengaruh terhadap efektifitas kinerja dari *breakwater* dan berdasarkan keterangan dari masyarakat serta nelayan setempat penambahan ini belum maksimal dalam menahan gelombang yang datang ketika air pasang besar, oleh karena itu, penelitian ini harus dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja pemecah gelombang (*breakwater*) di Pantai Tanjung Medang.

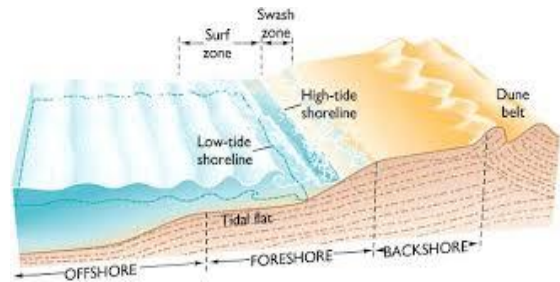
Pantai

Wilayah perbatasan antara laut dan daratan dikenal sebagai pesisir, yang bentuknya sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh proses hidrodinamika laut, terutama gelombang. Secara definitif, pesisir (*coast*) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air laut[2]. Sementara itu, pantai (*shore*) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah atau daerah pesisir yang merupakan pertemuan antara darat dan laut[3].

Ditinjau dari profil melintangnya, pantai dari garis gelombang pecah ke arah darat dapat dibagi menjadi tiga zona utama.

1. **Inshore**, merupakan daerah tempat gelombang pecah yang sering kali menyebabkan terbentuknya *longshore bar*, yaitu gumuk pasir bawah air yang memanjang sejajar dengan garis pantai.
2. **Foreshore**, adalah daerah yang terbentang dari garis pantai saat muka air surut terendah hingga batas atas jangkauan gelombang (*uprush*) saat pasang tertinggi.

3. **Backshore**, merupakan daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan terbentuk oleh aktivitas gelombang badai yang terjadi bersamaan dengan muka air tinggi.[1]



Gambar 1. Karakteristik Gelombang Daerah Pantai
Sumber: Triatmodjo, 1999

Gelombang

Gelombang adalah pergerakan energi di permukaan laut yang menjadi faktor krusial dalam perencanaan rekayasa pantai. Berdasarkan pembangkitannya, gelombang utama dibedakan menjadi gelombang angin (akibat tiupan angin) dan gelombang pasang surut (akibat gaya tarik benda langit). Keduanya merupakan jenis gelombang paling signifikan yang energinya dapat memicu arus dan transpor sedimen, sehingga sangat memengaruhi desain tata letak pelabuhan dan bangunan pelindung pantai[3].

Meskipun bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan acak, analisisnya disederhanakan menggunakan pendekatan teoretis. Teori yang paling fundamental adalah Teori Gelombang Airy (teori gelombang linear), yang memberikan dasar matematis untuk memahami dan memprediksi perilaku gelombang dalam aplikasi rekayasa pantai[1].

Transformasi dan Deformasi Gelombang

Saat gelombang menjalar dari laut dalam menuju perairan dangkal di dekat pantai, ia mengalami serangkaian perubahan yang dikenal sebagai deformasi gelombang[1]. Proses-proses utama meliputi:

- **Refraksi:** Pembelokan puncak gelombang karena perbedaan kecepatan rambat di kedalaman yang berbeda, menyebabkan gelombang cenderung sejajar dengan garis kontur dasar laut.
- **Shoaling (Pendangkalan):** Peningkatan tinggi gelombang saat memasuki perairan yang lebih dangkal karena penurunan kecepatan rambat.
- **Pasang Surut:** fluktuasi muka air laut karena adanya gaya menarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa

air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari pada massa matahari, tapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi jauh lebih besar dari pada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar dari pada gaya tarik matahari[4].

- **Gelombang Pecah:** Puncak kestabilan gelombang terlampaui ketika kecuraman gelombang mencapai batasnya, menyebabkan gelombang pecah dan melepaskan energinya ke arah pantai[5].

Evaluasi Kinerja

Kinerja *breakwater* dievaluasi berdasarkan dua fenomena utama:

- **Run-up:** Ketinggian vertikal naiknya air di sepanjang permukaan struktur saat gelombang menghantamnya. Nilai *run-up* menjadi dasar penentuan elevasi puncak bangunan yang aman.

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \quad (1)$$

Dengan:

I = bilangan Iribaren

θ = sudut kemiringan sisi breakwater

H = tinggi gelombang di lokasi bangunan

L₀ = panjang gelombang di laut dalam

- **Overtopping:** Limpasan air yang melewati puncak *breakwater*. *Overtopping* terjadi jika elevasi *run-up* melebihi tinggi puncak struktur. Fenomena ini tidak diinginkan karena dapat menyebabkan kerusakan di area yang dilindungi[6].

$$0 \leq \frac{h-ds}{R} < 1,0 \quad (2)$$

Dengan:

h = tinggi bangunan

ds = kedalaman air di kaki bangunan

R = besar run-up gelombang

Interaksi Gelombang dengan Struktur Pantai

Jenis-Jenis Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*breakwater*) adalah struktur yang dibangun untuk melindungi area pesisir dari serangan gelombang. Berdasarkan bentuknya, struktur ini dapat diklasifikasikan menjadi:

1. **Tipe Sisi Miring (*Rubble Mound*):** Paling umum digunakan, terbuat dari tumpukan batu alam atau unit beton buatan. Struktur ini meredam energi gelombang melalui celah-celah dan permukaan kasarnya.
2. **Tipe Sisi Tegak (*Vertical Wall*):** Berupa dinding vertikal yang memantulkan energi gelombang. Tipe ini memerlukan kondisi tanah dasar yang kuat.
3. **Tipe Campuran:** Kombinasi dari tipe sisi miring dan sisi tegak, biasanya digunakan di perairan dalam[7].

Kajian ini menyajikan evaluasi teknis terhadap kinerja bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) di Pantai Tanjung Medang sebagai respons terhadap laporan mengenai penurunan efektivitasnya. Penelitian ini secara sistematis bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik gelombang desain, termasuk tinggi, periode, dan transformasinya dari laut dalam hingga mencapai lokasi struktur dan mengevaluasi respons hidraulik struktur terhadap gelombang tersebut, dengan fokus pada kuantifikasi proses *run-up* dan potensi terjadinya limpasan gelombang (*overtopping*). Diharapkan, hasil analisis ini dapat memberikan kesimpulan yang valid mengenai kapabilitas fungsional dan tingkat keamanan *breakwater* saat ini, serta menyediakan data dasar yang esensial untuk perencanaan intervensi atau pemeliharaan struktur pengaman pantai di masa depan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Pantai Tanjung Medang, Kecamatan Rangsang, Kabupaten Kepulauan Meranti. Pantai Tanjung Medang berada dalam wilayah administrasi Desa Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti dengan luas wilayah kurang lebih 34 km² dan batas-batas wilayah sebagai berikut:

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Selat Malaka dan Desa Sungai Gayung Kiri.
2. Sebelah Selatan berbatasan dengan Desa Tanjung Gemuk.
3. Sebelah Barat berbatasan dengan Desa Dwi Tunggal dan Desa Citra Damai.
4. Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Karimun.

Tahapan penelitian dimulai dari studi pustaka mengenai teori bangunan pengaman pantai[8], dilanjutkan dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer meliputi dimensi *breakwater*

eksisting yang diukur langsung di lapangan. Data sekunder mencakup data angin 10 tahun (2013-2022) dari Stasiun Meteorologi Raja Haji Abdullah, data pasang surut dari PUSHIDROSAL TNI AL, gambar rencana *breakwater* eksisting, dan peta batimetri dari GEBCO.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan:

Analisis Peramalan Gelombang Laut Dalam:

Analisa Peramalan gelombang laut dalam dilakukan dengan metode *hindcasting* gelombang yang dilakukan pada kecepatan dan arah angin maksimum harian selama 10 tahun terakhir. Pada Analisis peramalan gelombang laut dalam dibutuhkan nilai *fetch efektif* dan nilai faktor tegangan angin (UA) maka perlu dilakukan analisa *fetch efektif* dan analisa data angin terlebih dahulu[9]. Adapun hasil analisa tersebut adalah sebagai berikut:

a. Analisa *fetch efektif*

Perhitungan *fetch* dilakukan dengan cara manual dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

- Menggunakan peta daerah perairan pantai Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti yang didapatkan dari aplikasi Google Earth Pro kemudian di input ke aplikasi Autocad sesuai dengan skala untuk menggambar garis *fetch*.
- Menentukan arah angin dominan sebagai titik pusat tinjauan. Garis arah angin utama ditentukan sebagai *central radial*.
- Dalam perhitungan ini dibuat sudut dari garis *central radial* ke arah kiri dan kanan garis *fetch* dengan interval 5° sampai 20°.
- Pastikan bahwa koordinat lokasi sama dengan koordinat pada peta.
- Ukur *fetch* sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta dengan menggunakan aplikasi autocad.

Dari hasil penggambaran dengan langkah-langkah tersebut maka akan didapatkan arah dan panjang *fetch* kemudian dilanjutkan menghitung panjang *fetch* yang sebenarnya. Setelah mengetahui panjang *fetch* yang sebenarnya maka dilakukan perhitungan *fetch* efektif dengan menggunakan persamaan 1.

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3)$$

Dimana:

F_{eff} = *fetch* rerata efektif (km)

F = panjang segmen *fetch* yang diikuti dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 5° sampai sudut sebesar 20° pada kedua sisi dari arah angin.

b. Analisa Data Angin

Data angin yang di analisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun yakni data angin dari tahun 2013 s/d 2022 yang diklasifikasikan dalam delapan arah mata angin dan dinyatakan dalam m/s. Data angin yang akan digunakan dalam melakukan peramalan gelombang adalah data angin di permukaan laut pada lokasi pembangkitan gelombang. Namun dikarenakan data angin yang didapatkan adalah data kecepatan angin di darat pada elevasi pengukuran 10 m di atas permukaan tanah maka perlu dikonversikan terlebih dahulu ke kecepatan angin di atas permukaan laut dengan menggunakan grafik hubungan kecepatan angin darat dan di laut.

Setelah data kecepatan angin darat dikonversikan menjadi kecepatan angin laut kemudian diolah dan di input ke *software WRPlot* untuk membuat grafik *windrose* untuk mengetahui nilai kecepatan dan arah dominan datangnya angin yang menunjukkan arah dominan gelombang. Adapun langkah-langkah dalam proses pengolahan data angin yang dianalisis menggunakan aplikasi *WRplot* untuk proses pembuatan *windrose* adalah sebagai berikut:

- Siapkan data angin yang telah di konversi menjadi data angin diatas permukaan laut dalam bentuk *excel* kemudian susun data angin tersebut dalam bentuk tahun, bulan, tanggal, jam, arah angin, dan kecepatan angin.
- Setelah mengolah data seperti diatas maka selanjutnya bukalah aplikasi *WRplot view*.
- Setelah terbuka klik tools pada bar lalu klik *import from excel*.
- Setelah terbuka halaman *Import from excel* klik *specify file*.
- Pilih *file* yang ingin diolah ke dalam *WRPlot*, pastikan *File* dalam bentuk Excel.
- Setelah proses *input file* selesai, masukkan A,B,C,D,E, dan F ke dalam kolom *Data Field Name* sesuai dengan kolom pada Excel.

Karena data angin di mulai dari baris kesembilan maka *First Row to Import* di isi 9 dan di *Last Row View To Import* diisi 3660 karena data angin yang diinput diinput berakhir di baris 3660.

- Selanjutnya Isi *Station* Informasi berupa Station ID, Kota, state, titik koordinat, *time zone* dan Elevasi sesuai dengan lokasi stasiun BMKG. Kemudian *Import* Lalu *Save*. Simpan dalam bentuk *sam-WordPad*. Setelah di simpan klik *close*.
- Buka kembali data yang telah disimpan ke dalam aplikasi dengan cara *Add* data.
- Setelah *file* telah di tambahkan klik tulisan *Windrose* mampilan *Windrose* akan terlihat dengan 8 arah mata angin dengan angin dominan.
- Kemudian untuk menyimpan grafik windrose klik menu edit kemudian pilih *copy to file* kemudian klik *bitmap*.
- Kemudian simpan *file* dalam bentuk *windows bitmapt (*.bmp)*.
- Lalu akan muncul *Bitmap Widht* kemudian atur resolusi gambar lalu klik ok.

Setelah arah dominan angin diketahui selanjutnya dilakukan analisa faktor tegangan angin untuk mencari nilai UA dengan menggunakan persamaan 4 yang digunakan untuk peramalan gelombang laut dalam.

$$U_A = 0,17 U_w^{1,23} \quad (4)$$

Dimana U adalah kecepatan angin dalam meter/detik.

Setelah nilai *fetch efektif* dan nilai faktor tegangan angin (UA) didapatkan maka dapat dilakukan peramalan gelombang laut dalam menggunakan grafik peramalan gelombang. Dari hasil peramalan ini disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2013 s/d 2022. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data tinggi gelombang maksimum tiap arah dan tiap bulan sebagai acuan gelombang rencana.

Analisis Transformasi Gelombang

Analisa perhitungan transformasi gelombang dilakukan pada setiap arah *fetch* berdasarkan data tinggi gelombang maksimum laut dalam yang didapatkan dari analisa peramalan gelombang dan peta *bathimetri* yang menunjukkan kedalaman laut tanjung medang. Peta *bathimetri* adalah peta yang menggambarkan kedalaman laut dan disajikan dengan menggunakan garis kontur kedalaman[10]. Peta didapatkan dari situs *online* GEBCO kemudian

diolah menggunakan aplikasi ARCGIS 10.8 (*ArcMap*) untuk permodelan kedalaman laut.

- a. Perhitungan koefisien refraksi
Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan koefisien refraksi:
 - Menentukan Sudut arah gelombang datang (α).
 - Tentukan kedalaman (d), untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan.
 - Kedalaman diambil berdasarkan peta *bathimetri* lokasi penelitian.
 - Tentukan tinggi dan periode gelombang rencana (yang paling maksimum dari arah tinjauan).
 - Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum (10 tahun data masukan) yang telah dihitung dengan metode *hindcasting* untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan.
 - Menghitung panjang gelombang laut dalam.
 - Menghitung panjang gelombang di kedalaman laut yang ditinjau.
 - Menghitung Cepat rambat gelombang laut dalam.
 - Menghitung Cepat rambat gelombang dikedalaman yang ditinjau.
 - Menghitung Sudut datang gelombang dikedalaman yang ditinjau
 - Menghitung Koefisien refraksi dengan Persamaan 5.

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (5)$$

- b. Perhitungan koefisien *shoaling*
Koefisien *shoaling* (pendangkalan) dihitung dengan Persamaan 6.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 \times C_0}{n_1 \times L_1}} \quad (6)$$

- c. Perhitungan gelombang pecah
Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara H_o/gT^2 .

Analisa Efektifitas Kinerja Breakwater

Analisa efektivitas kinerja *breakwater* dilakukan terhadap *run-up* dan *overtopping* gelombang berdasarkan tinggi gelombang maksimum dilokasi bangunan yang didapatkan dari hasil analisa transformasi gelombang dan berdasarkan muka air tertinggi pada saat pasang

surut purnama atau bulan mati (HHWL) yang didapatkan dari analisa pasang surut. Analisa pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode *admiralty* pada data pasang surut yang didapatkan untuk menentukan muka air tertinggi, muka air rata-rata dan muka air terendah.

- a. Analisa *Run-up* Gelombang
Analisa perhitungan *Run-up* gelombang dilakukan dengan cara menggunakan grafik *Run-up* gelombang *Irribaren*.
- b. Analisa *Overtopping* Gelombang
Analisa perhitungan *overtopping* gelombang merupakan kelanjutan dari hasil perhitungan *run-up* gelombang yang dihitung sebelumnya, dimana *overtopping* gelombang dapat terjadi bila besar *run-up* gelombang lebih tinggi dari tinggi bangunan.

HASIL DAN DISKUSI

Bangunan pemecah ombak (*breakwater*) ini berada di wilayah Pantai Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti yang terletak di 0°56'25.60"N dan 103°7'11.77"E tepatnya di sebelah utara dan selatan pelabuhan Tanjung Medang. Sebelum dilakukan evaluasi detail bangunan pemecah ombak ini, terlebih dahulu perlu dilakukan pengumpulan dan analisis data.

Hasil Analisa Peramalan Gelombang Laut Dalam

Peramalan gelombang dilakukan dengan metode *hindcasting* gelombang yang dilakukan pada kecepatan dan arah angin maksimum harian selama 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 2013 s/d 2022. Dari hasil peramalan ini disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2013 s/d 2022. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data maksimum dan dominan dari setiap arah sebagai acuan gelombang rencana. Pada Analisis peramalan gelombang laut dalam dibutuhkan nilai *fetch efektif* dan nilai faktor tegangan angin (UA) maka perlu dilakukan analisa *fetch efektif* dan analisa data angin terlebih dahulu. Adapun hasil analisa tersebut adalah sebagai berikut:

Hasil Analisa Perhitungan Fetch Efektif

Analisa perhitungan *fetch* efektif ini menggunakan peta daerah perairan Pantai Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti yang di dapatkan dari aplikasi Google Earth Pro kemudian di input ke aplikasi Autocad sesuai dengan skala untuk menggambarkan dan mengukur panjang garis *fetch*. Penggambaran dan pengukuran

dilakukan dari titik awal di lokasi bangunan *breakwater* sampai titik tersebut menemukan daratan (pulau). Dari hasil penggambaran hanya arah barat laut, utara, timur laut, timur dan tenggara yang mempunyai panjang *fetch*. Adapun hasil penggambaran garis *fetch* sebagai berikut.



Gambar 2. Fetch Arah Barat Laut, Utara, Timur Laut, Timur, Dan Tenggara

Dalam analisa perhitungan *fetch efektif* ini garis arah angin utama ditentukan sebagai garis *central radial* kemudian sudut yang dibuat dari garis *central radial* kearah kiri dan kanan adalah interval 5° sampai 20°. Berikut adalah salah satu perhitungan panjang *fetch efektif* untuk arah utara :

Panjang garis *fetch* untuk sudut 0° adalah 85447,323 m = 85,447 km (berdasarkan pengukuran menggunakan program AUTOCAD) Nilai dari cosines 0° adalah 1, maka:
 $F \cos (\alpha) = \text{Jarak sebenarnya} \times \cos (\alpha)$
 $= 85.447 \times 1 = 85,447 \text{ km}$

Jadi, *Fetch* efektif arah utara adalah:

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

$$F_{eff} = \frac{85,447 + 80,402 + 77,609 + 62,129 + 71,357 + 91,017 + 94,154 + 98,101 + 108,566}{1 + 0,996 + 0,985 + 0,966 + 0,940 + 0,996 + 0,985 + 10,966 + 0,940}$$

$$F_{eff} = \frac{768,782}{8,773} = 87,628 \text{ km}$$

Jadi *fetch* efektif arah utara adalah 87,628 km dan untuk hasil perhitungan *fetch* efektif tiap arah adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Panjang *Fetch* Efektif Di Pantai Tanjung Medang

Arah Mata Angin	Hasil Perhitungan (km)
Utara	87,628
Timur Laut	44,329
Timur	27,846
Tenggara	21,016
Selatan	0,000
Barat Daya	0,000
Barat	0,000
Barat Laut	48,064

Dari tabel 1 hasil perhitungan panjang *fetch* efektif di Pantai Tanjung Medang diketahui *fetch* efektif terbesar berada di arah utara yaitu 87,628 km dari sini bisa diketahui bahwa gelombang terbesar berasal dari utara sedangkan yang hasilnya 0 (nol) merupakan daerah daratan.

Tabel 2. Data Kecepatan Angin Darat Dan Arah Angin Bulan Januari -Juni 2013

Tgl	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah
1	4	N	5	NE	3	E	3	S	3	S	3	NW
2	6	N	4	NE	4	NE	4	E	5	E	5	W
3	4	N	5	NW	3	NE	4	NW	2	E	5	W
4	6	N	3	E	5	E	3	W	4	E	3	NW
5	6	N	4	E	3	NW	3	NW	3	S	4	E
6	3	NW	4	NW	3	NE	4	NW	3	E	4	NW
7	4	N	6	NW	5	NE	5	W	3	S	5	NW
8	5	N	3	W	4	E	5	W	3	SE	3	S
9	5	N	5	SE	3	E	3	NW	4	S	3	NW
10	4	N	5	NW	4	NE	3	NW	4	E	4	W
11	4	E	5	NW	4	NE	4	NW	3	S	4	W
12	3	E	4	E	4	E	3	E	3	S	6	NW
13	4	N	5	NW	3	E	5	S	3	E	2	W
14	6	N	4	NW	4	NE	3	E	3	E	3	W
15	5	E	4	NW	4	E	4	NW	3	S	3	S
16	5	N	4	E	4	E	3	NW	3	S	3	NW
17	9	N	4	NW	4	NE	3	NW	4	E	4	W
18	5	N	3	NW	5	NE	3	NW	4	S	4	W
19	5	E	3	NW	4	E	0	N	2	S	3	W
20	5	E	4	E	3	E	3	E	3	E	4	NW
21	4	N	3	E	3	E	4	NW	4	E	3	W
22	5	N	5	NW	3	NW	3	NW	4	W	4	W
23	5	N	6	NW	4	E	3	E	3	E	3	E
24	6	E	4	E	3	SE	3	NW	3	NW	3	SE
25	3	N	4	NW	2	E	3	E	4	NW	4	E
26	3	N	4	NW	2	NW	3	NE	0	N	3	E
27	4	N	4	NW	3	W	3	NW	3	NW	4	NW
28	4	N	3	NW	0	N	3	SE	3	W	3	NW
29	4	NE	0	N	0	N	3	S	4	S	3	W
30	5	E	3	E	3	E	3	E	5	W	7	W
31	5	N	3	N	3	N	5	SW				

Sumber: BMKG Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun, 2022[11]

Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan data kecepatan angin pengukuran di atas daratan selama 12 bulan pada tahun 2013. Setelah itu data angin dari tahun 2013-2022 di rekap untuk arah angin maksimum berdasarkan arah *fetch* yaitu arah utara, timur laut, timur, tenggara dan barat laut pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Kecepatan Dan Arah Angin Darat (UL) Maksimum Tahun 2013-2022 Berdasarkan Arah *Fetch*

Bulan	Arah dan Kecepatan (m/s)				
	N	NE	E	SE	NW
Januari	9	8	10	8	6
Februari	8	11	9	9	7
Maret	15	8	9	6	6
April	7	8	10	6	8
Mei	5	6	6	6	7
Juni	5	5	6	5	6
Juli	7	7	8	6	5
Agustus	8	5	8	7	5
September	8	5	6	7	7
Oktober	6	6	8	6	6
November	7	14	6	5	7
Desember	15	8	8	7	7

Sumber: BMKG Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun, 2022[11]

Hasil Analisa Data Angin

Data angin yang di analisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian dalam selang waktu 10 tahun terakhir, yakni tahun 2013-2022. Data angin diperoleh dari BMKG Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun yang merupakan stasiun pengukuran kecepatan angin paling terdekat dari lokasi penelitian. Arah angin diklasifikasikan dalam 8 arah mata angin dan dinyatakan dalam satuan m/s.

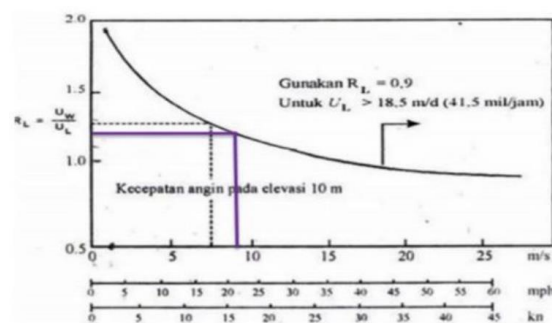
Tabel 3. Data Kecepatan Angin Darat Dan Arah Angin Bulan Juli - Desember 2013

Tgl	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah	Kec (m/s)	Arah
1	4	W	2	SE	5	S	6	SE	3	SW	5	NW
2	4	W	3	SE	3	S	4	SW	3	W	6	NW
3	4	W	4	E	3	S	3	S	4	N	5	NW
4	5	SW	4	SE	3	SW	3	E	5	E	6	N
5	4	W	4	SW	4	S	3	W	7	NW	8	NE
6	6	E	3	SW	3	S	3	SW	4	SW	5	S
7	5	E	6	SW	3	S	4	W	3	NW	4	NE
8	4	W	3	SW	4	S	3	S	4	NW	5	NW
9	4	W	3	E	3	W	3	E	3	NE	4	NE
10	4	SW	3	SE	4	W	4	SW	2	NE	4	NE
11	3	SE	4	SW	3	E	3	S	3	NW	4	N
12	4	W	4	SW	4	S	3	W	3	E	5	NE
13	2	S	3	S	3	S	5	NW	3	N	4	E
14	4	W	5	SE	3	S	5	NW	0	N	4	N
15	3	W	5	S	5	W	3	SW	3	W	3	NE
16	4	E	4	SE	3	SE	4	SE	4	SW	5	NW
17	3	SW	3	E	4	W	5	E	4	NW	4	NE
18	3	SW	4	S	4	S	4	NE	4	NW	6	NE
19	3	S	4	E	4	SW	4	E	4	NW	6	NE
20	3	SW	3	SW	5	SW	5	NW	4	NW	4	NE
21	4	E	4	S	5	E	5	NW	5	W	5	N
22	3	S	5	S	5	SE	3	NW	4	E	6	NE
23	3	S	3	W	4	SW	4	W	3	E	7	E
24	4	SE	5	SE	6	SE	5	NW	4	NW	6	NW
25	3	S	5	SE	5	S	3	E	4	NE	5	N
26	4	W	5	SE	5	W	5	E	4	NW	6	E
27	5	NW	5	E	4	SW	6	NE	4	NE	6	NE
28	3	E	5	SE	3	NW	4	E	3	W	7	NW
29	2	E	4	W	5	W	4	NE	4	E	6	NE
30	4	SW	4	E	3	S	3	SW	7	NE	5	NW
31			4	E			3	E			8	E

Sumber: BMKG Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun, 2022[11]

Dikarenakan data angin yang didapatkan adalah data angin darat pada elevasi pengukuran 10 m di atas permukaan tanah maka perlu di konversikan terlebih dahulu ke kecepatan angin di atas permukaan laut dengan menggunakan grafik hubungan kecepatan angin darat dan di laut. Adapun analisa perhitungan konversi kecepatan angin untuk setiap arah *fetch* adalah sebagai berikut:

Diketahui: Kecepatan angin darat (UL) maksimum = 9 m/s (utara bulan Januari)



Gambar 3. Pembacaan Nilai R_L Pada Kecepatan Angin 9 m/s

Dari pembacaan grafik didapat nilai $R_L = 1,2$ Maka Kecepatan Angin dilaut (U_w) adalah:

$$R_L = \frac{U_W}{U_L}$$

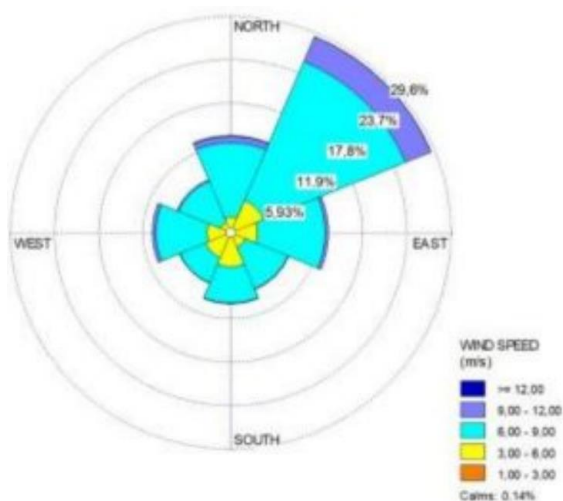
$$U_W = U_L \times R_L = 9 \times 1,2 = 10,8 \text{ m/s}$$

Untuk hasil konversi kecepatan angin darat ke kecepatan angin laut setiap arah angin dapat dilihat di tabel 5.

Dari hasil konversi kecepatan angin darat ke kecepatan angin laut dapat diketahui bahwa

Tabel 5. Hasil Perhitungan Konversi Angin Darat Ke Angin Laut

Arah Bulan	Utara		Timur Laut			Timur		Tenggara			Barat Laut				
	UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UL (m/s)	RL	UW (m/s)			
Januari	9	1,2	10,8	8	1,25	10	10	1,15	11,5	8	1,25	10	6	1,35	8,1
Februari	8	1,25	10	11	1,1	12,1	9	1,2	10,8	9	1,2	10,8	7	1,3	9,1
Maret	15	1	15	8	1,25	10	9	1,2	10,8	6	1,35	8,1	6	1,35	8,1
April	7	1,3	9,1	8	1,25	10	10	1,15	11,5	6	1,35	8,1	8	1,25	10
Mei	5	1,425	7,125	6	1,35	8,1	6	1,35	8,1	6	1,35	8,1	7	1,3	9,1
Juni	5	1,425	7,125	5	1,425	7,125	6	1,35	8,1	5	1,425	7,125	6	1,35	8,1
Juli	7	1,3	9,1	7	1,3	9,1	8	1,25	10	6	1,35	8,1	5	1,425	7,125
Agustus	8	1,25	10	5	1,425	7,125	8	1,25	10	7	1,3	9,1	5	1,425	7,125
September	8	1,25	10	5	1,425	7,125	6	1,35	8,1	7	1,3	9,1	7	1,3	9,1
Oktober	6	1,35	8,1	6	1,3	7,8	8	1,25	10	6	1,35	8,1	6	1,35	8,1
November	7	1,3	9,1	14	1,03	14,42	6	1,35	8,1	5	1,425	7,125	7	1,3	9,1
Desember	15	1	15	8	1,25	10	8	1,25	10	7	1,3	9,1	7	1,3	9,1



Gambar 4. Tampilan Diagram *Windrose* Angin Laut (U_w) Tahun 2013-2022

Dari gambar 4 tampilan diagram *windrose* angin laut (U_w) tahun 2013- 2022 diketahui bahwa kecepatan angin maksimum harian dominan datang dari arah Timur Laut yang berhembus ke arah Barat Daya yang menunjukkan bahwa arah dominan datangnya gelombang juga dari arah Timur Laut dengan persentase kejadian sebagai berikut:

kecepatan angin di laut lebih besar dibandingkan kecepatan angin di darat.

Kemudian untuk mengetahui arah dominan dan persentase angin dilakukan analisis data angin menggunakan aplikasi *WRPLOT View* berdasarkan data angin laut (U_w) pada tahun 2013-2022 dan didapatkan hasil gambar *Windrose* pada gambar 4.

Tabel 6. Persentase *Windrose* Angin Laut (U_w) Tahun 2013-2022

Arah	Kecepatan (m/s)					Total	Persentase (%)
	1,00 - 3,00	3,00 - 6,00	6,00 - 9,00	9,00 - 12,00	$\geq 12,00$		
N	0	81	369	33	3	486	13,31
NE	0	177	750	133	2	1062	29,08
E	0	134	330	16	0	480	13,14
SE	0	81	225	4	0	310	8,49
S	2	171	180	4	0	357	9,78
SW	0	137	136	3	0	276	7,56
W	1	118	250	18	0	387	10,60
NW	0	58	222	9	0	289	7,91
Sub-Total	3	957	2462	220	5	3647	99,86
Persentase	0,08	26,20	67,42	6,02	0,137	99,86	
Tenang						5	0,14
Total						3652	100,00

Dari tabel 6 persentase *windrose* angin laut dapat diketahui bahwa pada tahun 2013-2022 arah dominan angin dan gelombang yang datang berasal dari arah Timur Laut yaitu sebesar 29,08% dan kecepatan angin maksimum harian yang sering terjadi dengan kecepatan di antara 6-9 m/s sebanyak 67,42 %.

Setelah kecepatan angin darat dikonversikan ke kecepatan angin laut dan arah dominan angin sudah diketahui kemudian dilakukan analisa perhitungan faktor tegangan angin untuk peramalan gelombang di laut dalam. Untuk hasil analisa faktor tegangan angin (U_A) pada setiap arah angin dapat dilihat di tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Faktor Tegangan Angin

Arah	Utara		Timur Laut		Timur		Tenggara		Barat Laut	
	Bulan	UW (m/s)	UA (m/s)	UW (m/s)	UA (m/s)	UW (m/s)	UA (m/s)	UW (m/s)	UA (m/s)	UW (m/s)
Januari	10,8	13,3	10,0	12,1	11,5	14,3	10,0	12,1	8,1	9,3
Februari	10	12,1	12,1	15,2	10,8	13,3	10,8	13,3	9,1	10,7
Maret	15	19,9	10,0	12,1	10,8	13,3	8,1	9,3	8,1	9,3
April	9,1	10,7	10,0	12,1	11,5	14,3	8,1	9,3	10	12,1
Mei	7,125	7,9	8,1	9,3	8,1	9,3	8,1	9,3	9,1	10,7
Juni	7,125	7,9	7,125	7,9	8,1	9,3	7,1	7,9	8,1	9,3
Juli	9,1	10,7	9,1	10,7	10	12,1	8,1	9,3	7,125	7,9
Agustus	10	12,1	7,125	7,9	10	12,1	9,1	10,7	7,125	7,9
September	10	12,1	7,125	7,9	8,1	9,3	9,1	10,7	9,1	10,7
Oktober	8,1	9,3	7,8	8,9	10	12,1	8,1	9,3	8,1	9,3
November	9,1	10,7	14,4	18,9	8,1	9,3	7,1	7,9	9,1	10,7
Desember	15	19,9	10,0	12,1	10	12,1	9,1	10,7	9,1	10,7

Setelah nilai *fetch* efektif dan nilai faktor tegangan angin (U_A) diketahui selanjutnya dilakukan peramalan gelombang laut dalam dengan menggunakan grafik peramalan gelombang untuk

mendapatkan nilai tinggi (H), periode (T) dan durasi gelombang. Untuk hasil peramalan gelombang laut dalam tiap bulan dan tiap arah lainnya dapat dilihat di tabel 8.

Tabel 8. Hasil Peramalan Gelombang Laut Dalam Tahun 2013-2022

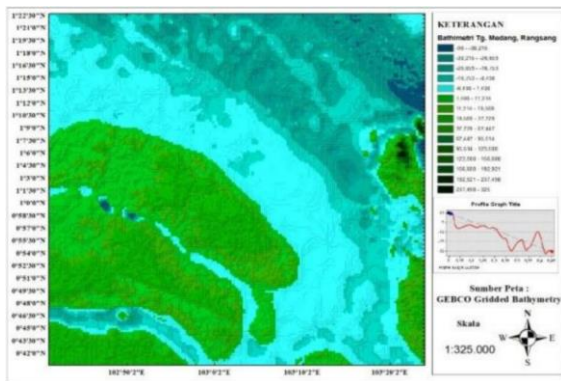
Arah	Utara			Timur Laut			Timur			Tenggara			Barat Laut		
	Bulan	H (m)	T (s)	Durasi (Jam)	H (m)	T (s)	Durasi (Jam)	H (m)	T (s)	Durasi (Jam)	H (m)	T (s)	Durasi (Jam)	H (m)	T (s)
Januari	2	6,7	7,8	1,31	5,13	5,1	1,19	4,55	3,35	0,9	4	3,1	1,05	4,3	5,9
Februari	1,75	6	8	1,63	5,5	4,75	1,13	4,35	3,5	1	4,25	3	1,15	5,05	5,7
Maret	2,85	6,85	7,5	1,31	5,13	5,1	1,13	4,35	3,5	0,69	3,65	3,4	1,05	4,3	5,9
April	1,63	6,25	8,3	1,31	5,13	5,1	1,19	4,55	3,35	0,69	3,65	3,4	1,38	5,3	5,4
Mei	1,15	5,5	9,2	1	4,65	5,5	0,75	3,85	3,95	0,69	3,65	3,4	1,15	5,05	5,7
Juni	1,15	5,5	9,2	0,825	4,38	5,85	0,75	3,85	3,95	0,58	3,35	3,6	1,05	4,3	5,9
Juli	1,63	6,25	8,3	1,15	4,88	5,25	1	4,3	3,6	0,69	3,65	3,4	0,83	4,45	6,35
Agustus	1,75	6	8	0,825	4,38	5,85	1	4,3	3,6	0,8	3,85	3,25	0,83	4,45	6,35
September	1,75	6	8	0,825	4,38	5,85	0,75	3,85	3,95	0,8	3,85	3,25	1,15	5,05	5,7
Oktober	1,39	5,85	8,7	1	4,65	5,5	1	4,3	3,6	0,69	3,65	3,4	1,05	4,3	5,9
November	1,63	6,25	8,3	2,05	5,9	4,4	0,75	3,85	3,95	0,58	3,35	3,6	1,15	5,05	5,7
Desember	2,85	6,85	7,5	1,31	5,13	5,1	1	4,3	3,6	0,8	3,85	3,25	1,15	5,05	5,7

Tabel 9. Rekapitulasi Arah, Tinggi Dan Periode Gelombang Dari Masing-masing *Fetch* Berdasarkan Grafik Peramalan Gelombang Tahun 2013 - 2022.

Bulan		Arah Datang Gelombang					Max Tiap Bulan	
		N	NE	E	SE	NW	Arah	H-T
Januari	H (m)	2	1,3125	1,185	0,9	1,05	N	2
	T (det)	6,7	5,125	4,55	4	4,3	N	6,7
Februari	H (m)	1,75	1,625	1,125	1	1,15	N	1,75
	T (det)	6	5,5	4,35	4,25	5,05	N	6
Maret	H (m)	2,85	1,3125	1,125	0,685	1,05	N	2,85
	T (det)	6,85	5,125	4,35	3,65	4,3	N	6,85
April	H (m)	1,625	1,3125	1,185	0,685	1,375	N	1,62
	T (det)	6,25	5,125	4,55	3,65	5,3	N	6,25
Mei	H (m)	1,15	1	0,75	0,685	1,15	N	1,15
	T (det)	5,5	4,65	3,85	3,65	5,05	N	5,12
Juni	H (m)	1,15	0,825	0,75	0,575	1,05	N	1,15
	T (det)	5,5	4,375	3,85	3,35	4,3	N	5,12
Juli	H (m)	1,625	1,15	1	0,685	0,825	N	1,62
	T (det)	6,25	4,875	4,3	3,65	4,45	N	6,25
Agustus	H (m)	1,75	0,825	1	0,8	0,825	N	1,75
	T (det)	6	4,375	4,3	3,85	4,45	N	6
September	H (m)	1,75	0,825	0,75	0,8	1,15	N	1,75
	T (det)	6	4,375	3,85	3,85	5,05	N	6
Oktober	H (m)	1,385	1	1	0,685	1,05	N	1,38
	T (det)	5,85	4,65	4,3	3,65	4,3	N	5,85
November	H (m)	1,625	2,05	0,75	0,575	1,15	NE	2,05
	T (det)	6,25	5,9	3,85	3,35	5,05	NE	6,25
Desember	H (m)	2,85	1,3125	1	0,8	1,15	N	2,85
	T (det)	6,85	5,125	4,3	3,85	5,05	N	6,85
Max Tiap Arah	H (m)	2,85	2,05	1,19	1,00	1,38	N	2,85
	T (det)	6,85	5,9	4,55	3,85	5,05	N	6,85

Hasil Analisa Transformasi Gelombang

Analisa perhitungan transformasi gelombang dilakukan untuk mengetahui karakteristik gelombang yang terjadi di Pantai Tanjung Medang. Analisa dilakukan pada setiap arah *fetch* berdasarkan data tinggi gelombang maksimum laut dalam yang didapatkan dari analisa peramalan gelombang dan peta *bathimetri* yang menunjukkan kedalaman Laut Tanjung Medang. Peta *bathimetri* didapatkan dari situs *online* GEBCO kemudian diolah menggunakan aplikasi ARCGIS 10.8 (ArcMap). Dari hasil pengolahan diketahui kedalaman laut di perairan pantai Tanjung Medang diarah utara dan timur laut mencapai 30 m, dan arah timur, tenggara serta barat laut mencapai 16 m[12].

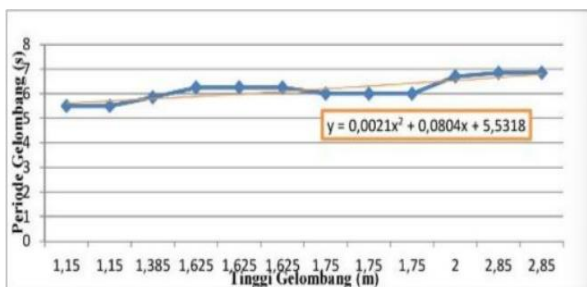


Gambar 5. Peta Bathimetri Pantai Tanjung Medang, Kecamatan Rangsang
Sumber: ArcMap 10.8, 2023

Koefisien Rerfraksi

Analisa koefisien refraksi gelombang dilakukan untuk mengetahui perubahan sudut datang gelombang yang diakibatkan oleh perubahan kedalaman laut. Berdasarkan analisa peramalan gelombang laut dalam diketahui tinggi gelombang maksimum laut dalam yang terjadi diarah utara 2,85 m. Dilihat dari peta lokasi, pantai Tanjung Medang menghadap ke arah timur laut dan daerah pembangkitan gelombang terbesar berada di arah utara. Sehingga dapat ditentukan Sudut datang gelombang yaitu (a) = 45° dan berdasarkan peta bathimetri pantai Tanjung Medang kedalaman diambil mulai dari -30 m.

Berikut merupakan grafik hubungan tinggi dan periode gelombang maksimum arah utara yang didapat menggunakan *trendline* di program Microsoft Excel untuk memperoleh periode gelombang berdasarkan perubahan kedalaman.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Tinggi dengan Periode Gelombang Arah Utara

Berdasarkan grafik hubungan tinggi dan periode gelombang maka didapatkan persamaan:
 $y = 0,0021x^2 + 0,0804x + 5,5318$

- a. Periode gelombang laut dalam
Diketahui nilai H terbesar berada di arah N (utara) yaitu 2,85 m
Maka, $T_0 = 0,0021x^2 + 0,0804x + 5,5318$

$$T_0 = 0,0021(2,85)^2 + 0,0804(2,85) + 5,5318$$

$$T_0 = 5,7780 \text{ det}$$

- b. Panjang gelombang laut dalam

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Dimana:

L_0 = Panjang gelombang laut dalam

T = Periode gelombang laut dalam

g = gravitasi bumi (9,81 m/s)

$\pi = 3,14$

$$L_0 = \frac{9,81(5,7780)^2}{2 \times 3,14}$$

$$L_0 = 52,515 \text{ m}$$

- c. Panjang gelombang dikedalaman laut yang ditinjau (L)

$$L = \frac{d}{L_0}$$

Dimana:

d = Kedalaman (-30 m)

L_0 = Panjang Gelombang laut dalam (52,515 m)

$$L = \frac{d}{L_0} = \frac{30}{52,515} = 0,575$$

Kemudian menentukan nilai d/L dari nilai d/ L_0 di tabel fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/ L_0 . Dari tabel didapatkan hasil Untuk d/ $L_0 = 0,575$ adalah

$$\text{nilai } d/L = 0,57583$$

$$\text{nilai } n = 0,5052$$

Tabel 10. Tabel Penentuan Nilai d/L. dan n

d	d/L	2nd/L	tanh 2nd/L	sinh 2nd/L	cosh 2nd/L	K_0	K	4nd/L	sinh 4nd/L	cosh 4nd/L	n
0.5700	0.57087	3.5869	0.9985	18.047	18.075	0.995	0.0553	7.1738	652.41	652.4	0.5055
0.5710	0.57187	3.5931	0.9985	18.160	18.188	0.995	0.0550	7.1863	660.58	660.6	0.5054
0.5720	0.57286	3.5994	0.9985	18.274	18.301	0.995	0.0546	7.1987	668.86	668.9	0.5054
0.5730	0.57385	3.6056	0.9985	18.388	18.415	0.995	0.0543	7.2112	677.24	677.2	0.5053
0.5740	0.57484	3.6118	0.9985	18.503	18.530	0.995	0.0540	7.2236	685.72	685.7	0.5053
0.5750	0.57583	3.6180	0.9986	18.619	18.646	0.996	0.0536	7.2361	694.32	694.3	0.5052
0.5760	0.57682	3.6243	0.9986	18.735	18.762	0.996	0.0533	7.2485	703.02	703.0	0.5052
0.5770	0.57781	3.6305	0.9986	18.852	18.879	0.996	0.0530	7.2610	711.83	711.8	0.5051
0.5780	0.57880	3.6367	0.9986	18.970	18.997	0.996	0.0526	7.2734	720.75	720.8	0.5050

Sumber: Triadmodjo, 1999[1]

Maka,

$$L = \frac{d}{d/L} = \frac{30}{0,57583} = 52,099 \text{ m}$$

- d. Cepat rambat gelombang laut dalam

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = \frac{9,81 \times 5,7780}{2 \times 3,14} = 9,03 \text{ m/det}$$

- e. Cepat rambat gelombang di kedalaman yang ditinjau

$$C = L/T = 52,099/5,7780 = 9,02 \text{ m/det}$$

- f. Sudut datang gelombang di kedalaman yang ditinjau

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 = \frac{9,03}{9,02} \times \sin 45^\circ = 0,71$$

$$\alpha = \sin^{-1}(0,71) = 45,94^\circ$$

g. Koefisien refraksi

$$Kr = \frac{\sqrt{\cos \alpha_0}}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{\cos 45^\circ}}{\cos 45,94^\circ} = 0,999$$

Dimana: Kr = Koefisien Refraksi, α = Sudut

Jadi koefisien refraksi untuk arah utara adalah 0,999 dan hasil analisa koefisien refraksi tiap arah adalah sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Analisa Koefisien Refraksi

Utara		Timur Laut		Timur		Tenggara		Barat Laut						
α_0 (°)	d (m)	Kr	α_0 (°)	d (m)	Kr	α_0 (°)	d (m)	Kr	α_0 (°)	d (m)	Kr			
45	30	0,999	0	30	1,000	45,00	16	0,999	80,00	16	0,945	75,00	16	0,990
44,94	25	1,000	0	25	1,000	44,86	14	0,999	78,79	14	0,959	74,70	14	1,004
44,90	20	1,000	0	20	1,000	44,75	12	1,000	77,80	12	0,961	74,84	12	1,003
44,91	15	1,000	0	15	1,000	44,77	10	1,008	76,77	10	1,010	74,94	10	1,002
44,86	10	1,001	0	10	1,000	45,72	8	1,000	77,02	8	1,025	75,00	8	1,001
44,99	5	1,002	0	5	1,000	45,76	5	0,999	77,66	5	1,010	75,04	5	0,993
45,20	3	0,997	0	3	1,000	45,69	3	0,999	77,90	3	0,996	74,81	3	0,976

Dari tabel 11 hasil analisa koefisien refraksi pada tiap arah datang gelombang diketahui di setiap kedalaman laut yang ditinjau terjadi perubahan sudut datang gelombang dengan koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0,997 sampai 1,008 kecuali di arah timur laut dikarenakan sudut gelombang yang datang dari arah timur laut adalah 0°.

Tabel 12. Hasil Analisa Koefisien *Shoaling*

Utara				Timur Laut				Timur				Tenggara				Barat Laut			
d (m)	H ₀ (m)	Ks	H (m)	d (m)	H ₀ (m)	Ks	H (m)	d (m)	H ₀ (m)	Ks	H (m)	d (m)	H ₀ (m)	Ks	H (m)	d (m)	H ₀ (m)	Ks	H (m)
30	2,85	0,995	2,835	30	2,05	0,999	2,049	16	1,19	1,000	1,184	16	1	1,002	0,947	16	1,38	0,994	1,353
25	2,835	0,989	2,803	25	2,05	1,002	2,052	14	1,18	0,998	1,180	14	0,947	1,001	0,909	14	1,35	0,988	1,342
20	2,803	0,973	2,726	20	2,05	0,996	2,045	12	1,18	0,993	1,172	12	0,909	1,000	0,874	12	1,34	0,978	1,317
15	2,726	0,946	2,577	15	2,04	0,990	2,024	10	1,17	0,976	1,154	10	0,874	0,993	0,876	10	1,32	0,961	1,268
10	2,577	0,916	2,362	10	2,02	0,958	1,939	8	1,15	0,966	1,114	8	0,876	0,982	0,882	8	1,27	0,940	1,193
5	2,362	0,933	2,209	5	1,94	0,913	1,770	5	1,11	0,925	1,030	5	0,882	0,941	0,837	5	1,19	0,914	1,083
3	2,209	0,998	2,200	3	1,77	0,935	1,655	3	1,03	0,916	0,943	3	0,837	0,913	0,762	3	1,08	0,932	0,985

Dari tabel 12 hasil analisa koefisien *shoaling* pada tiap arah datang gelombang diketahui bahwa di setiap kedalaman yang ditinjau terjadi perubahan tinggi gelombang. Perubahan yang terjadi adalah semakin dangkal lautan tinggi gelombang juga semakin berkurang.

Gelombang Pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara $\frac{H'_0}{gT_2}$.
Diketahui: H₀ = 2,85 m (arah utara); T₀ = 5,7780 detik; Kr = 0,999; g = 9,81 m/s²; Kemiringan pantai (m) = 1:50

Maka, tinggi gelombang laut dalam ekuivalen adalah

$$H'_0 = Kr \times H_0 = 0,999 \times 2,85 = 2,849 \text{ m}$$

Koefisien Shoaling

Analisa perhitungan koefisien *shoaling* dilakukan untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang yang diakibatkan perubahan kedalaman laut atau pendangkalan kedalaman laut sehingga didapatkan tinggi gelombang yang baru.

Diketahui:

H₀ = 2,85 m (data arah utara); Kr = 0,999; n_e = (dilaut dalam) 0,5; L₀ = 52,151 m; n₁ = 0,5052; L = 52,099

Nilai n di peroleh dari tabel fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L₀ yang sudah ditentukan pada perhitungan koefisien refraksi.

Maka,

$$Ks = \frac{\sqrt{n_0 \times L_0}}{\sqrt{n_1 \times L_1}} = \frac{\sqrt{0,5 \times 52,151}}{\sqrt{0,5052 \times 52,099}} = 0,995$$

Setelah perhitungan koefisien refraksi dan shoaling, akan didapat nilai tinggi gelombang yang baru:

$$H = H_0 \cdot Kr \cdot Ks = 2,85 \times 0,999 \times 0,995 = 2,803 \text{ m}$$

Untuk hasil perhitungan koefisien *shoaling* selengkapnya pada tiap arah dapat dilihat pada tabel berikut:

$$\frac{H'_0}{gT_2} = \frac{2,849}{9,81 \times 5,7780^2} = 0,009$$

Dari grafik penentuan tinggi gelombang pecah untuk nilai kemiringan pantai 1:50 = 0,02 dan nilai $\frac{H'_0}{gT_2} = 0,009$ didapat:

$$\frac{H_b}{H_0} = 0,98$$

$$H_b = \left(\frac{H_b}{H_0}\right) \times H'_0 = 0,98 \times 2,85 = 2,79 \text{ m}$$

Sehingga diketahui tinggi gelombang pecah adalah 2,79 m. Kemudian hitung kedalaman gelombang pecah.

$$\frac{H_b}{gT_2} = \frac{2,79}{9,81 \times 5,7780^2} = 0,009$$

Dengan menggunakan grafik penentuan kedalaman gelombang pecah dari nilai $\frac{H_b}{gT_2} = 0,009$ dan nilai kemiringan pantai $1:50 = 0,02$ m didapat:

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,25$$

$$d_b = \left(\frac{d_b}{H_b}\right) \times H_b = 1,25 \times 2,79 = 3,49 \text{ m}$$

Jadi gelombang pecah terjadi pada kedalaman 3,49 m.

Untuk hasil perhitungan gelombang pecah selengkapnya pada tiap arah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13. Hasil Perhitungan Gelombang Pecah

Utara		Timur Laut			Timur			Tenggara			Barat Laut			
H ₀ (m)	H _a (m)	H ₀ (m)	H _a (m)	d _b (m)	H ₀ (m)	H _a (m)	d _b (m)	H ₀ (m)	H _a (m)	d _b (m)	H ₀ (m)	H _a (m)	d _b (m)	
2,85	2,79	3,49	2,05	1,97	2,52	1,19	1,19	1,46	1,00	0,98	1,23	1,38	1,41	1,73
2,84	2,78	3,47	2,05	1,97	2,52	1,18	1,18	1,46	0,95	0,95	1,16	1,35	1,39	1,71
2,80	2,75	3,38	2,05	1,97	2,52	1,18	1,18	1,45	0,91	0,91	1,12	1,34	1,38	1,66
2,73	2,73	3,35	2,04	1,96	2,51	1,17	1,17	1,44	0,87	0,87	1,07	1,32	1,35	1,63
2,58	2,58	3,17	2,02	1,94	2,49	1,15	1,15	1,42	0,88	0,88	1,08	1,27	1,30	1,57
2,36	2,42	2,98	1,94	1,88	2,41	1,11	1,11	1,37	0,88	0,88	1,08	1,19	1,25	1,51
2,21	2,26	2,73	1,77	1,73	2,17	1,03	1,06	1,30	0,84	0,86	1,06	1,08	1,14	2,22

Dari tabel 13 hasil analisa perhitungan gelombang pecah diketahui gelombang pecah terbesar di arah utara yaitu sebesar 2,79 m yang pecah di kedalaman 3,49 m, arah timur laut 1,97 m di kedalaman 2,52 m, arah timur 1,19 m di kedalaman 1,46 m, arah tenggara 0,98 m di kedalaman 1,23 dan arah barat laut 1,41 m pada kedalaman 1,73m. Sedangkan gelombang pecah terbesar berada di arah utara hal ini dikarenakan arah utara merupakan daerah *fetch* terbesar dan kecepatan angin terbesar juga datang dari arah utara.

Hasil Analisa Efektivitas Kinerja Breakwater

Analisa efektivitas kinerja *breakwater* dilakukan terhadap *run-up* dan *overtopping* gelombang berdasarkan tinggi gelombang maksimum di lokasi bangunan yang didapatkan dari hasil analisa transformasi gelombang dan berdasarkan muka air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati (HHWL) yang didapatkan dari analisa pasang surut.

Analisa pasang surut dilakukan untuk menentukan muka air tertinggi, muka air rata-rata dan muka air terendah. Data pasang surut didapatkan dari Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (PUSHIDROSAL)[13] dengan cara *download* langsung di situs data *online* yang disediakan oleh Pushidrosal. Adapun data yang didapatkan adalah data pasang surut pada bulan Agustus 2021. Dikarenakan penelitian ini dilakukan pada tahun 2022 maka peneliti melakukan analisa data pasang surut dengan menggunakan metode *admiralty* untuk memprediksi pasang surut yang

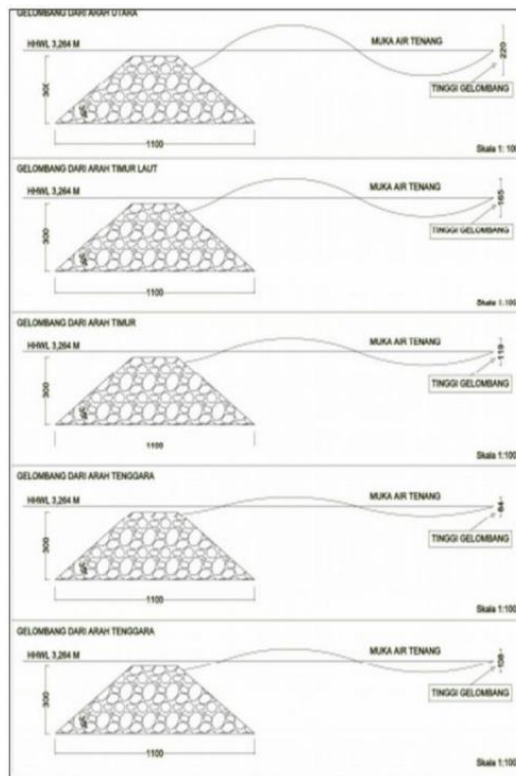
terjadi pada bulan November tahun 2022. Adapun hasil dari analisa pasang surut tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 72. Grafik Pasang Surut Agustus 2021 dan Prediksi Pasang Surut pada November 2022 di Pantai Tanjung Medang

Dari gambar 7 grafik pasang surut Agustus 2021 dan prediksi pasang surut pada November 2022 di Pantai Tanjung Medang diketahui nilai muka air tertinggi (HHWL) pada November 2022 adalah 326,4 cm, muka air laut rerata (MSL) 167 cm dan muka air terendah (LLWL) 32,8 cm. Diketahui bangunan pemecah ombak (*breakwater*) yang ada di Pantai Tanjung Medang adalah *breakwater* jenis lepas pantai dengan tipe sisi miring yang terbuat dari tumpukan batu pecah dengan ketinggian 3 m dan 1,6 m.

- a. *Breakwater* Tipe Sisi Miring Dengan Ketinggian 3 m



Gambar 8. Tinggi Gelombang terhadap *Breakwater* Ketinggian 3 m

- **Analisa Run-up Gelombang**

Analisa *run-up* dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.8, adapun analisa perhitungan *run-up* adalah sebagai berikut, Diketahui:

Tinggi gelombang dilaut dalam terbesar dari arah utara yaitu 2,85 m dan berdasarkan hasil analisa transformasi gelombang diketahui gelombang sampai ke lokasi pemecah ombak di kedalaman 3 m sebesar 2,2 m.

Sudut kemiringan *breakwater* = 35°

Panjang gelombang di laut dalam = 51,05 m

Penyelesaian:

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} = I_r = \frac{\tan 35^\circ}{\left(\frac{2.2}{51.05}\right)^{0.5}} = 2.28$$

Dengan $I_r = 2,28$, maka nilai *run-up* gelombang untuk bangunan pemecah ombak tipe sisi miring didapatkan:

$R_u/H=1,02$ maka,

$R_u = 1,02 \times 2,22 = 2,25$ meter

Jadi run up gelombang yang terjadi diarah utara adalah 2,25 m, untuk perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel berikut:

Tabel 14. Analisa *Run-up* Gelombang

Arah	θ (°)	H (m)	T (detik)	L_0 (m)	I_r	R_u/H	Run-up Gelombang (R_u) (m)
Utara	35	2,21	5,721	51,05	2,28	1,02	2,25
Timur Laut	35	1,65	4,392	30,09	2,02	0,94	1,56
Timur	35	1,19	3,782	22,32	2,06	0,96	1,14
Tenggara	35	0,84	3,404	18,07	2,20	0,99	0,83
Barat Laut	35	1,08	4,329	29,23	2,46	1,05	1,14

- **Analisa Overtopping Gelombang**

Nilai *overtopping* merupakan kelanjutan dari hasil perhitungan *run-up* yang dihitung sebelumnya, dimana *overtopping* dapat terjadi jika *run-up* gelombang lebih tinggi dari ketinggian bangunan. *Overtopping* gelombang pada *breakwater* di analisa menggunakan persamaan 2 sebagai berikut

Kedalaman dikaki bangunan = HHWL 3,264 m
MSL 1,67 m
LLWL 0,328 m

Tinggi bangunan = 3 m

Run up gelombang = 2,5 m

Penyelesaian:

$$0 \leq \frac{h - ds}{R} < 1.0$$

$$0 \leq \frac{3 - 3.261}{2.22} < 1.0$$

$$0 \leq -0.116 < 1.0 = \text{terjadi } \textit{overtopping}$$

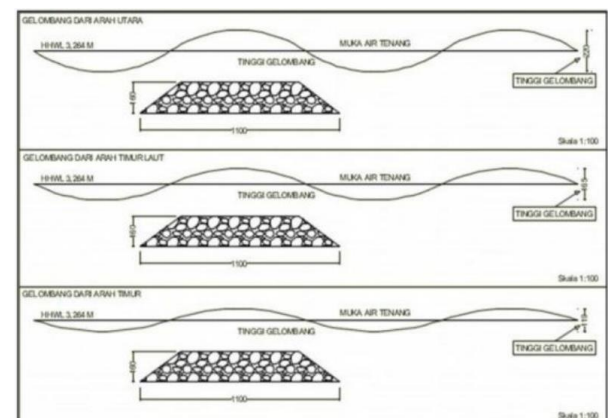
Jadi diarah utara pada waktu air pasang terjadi *overtopping* (limpasan gelombang) untuk hasil analisa *overtopping* selanjutnya disajikan pada tabel berikut:

Tabel 15. Analisa *Overtopping* Gelombang Pada Breakwater Sisi Miring

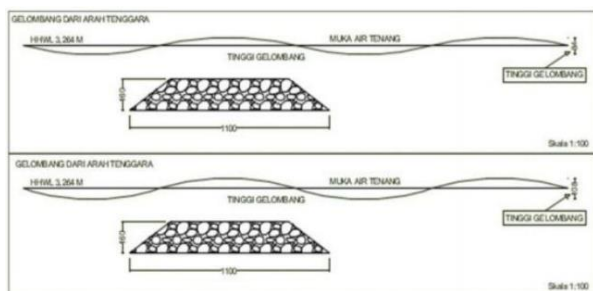
Arah	Kedalam di kaki Bangunan (ds) (m)	Tinggi bangunan (h) (m)	Run-up Gelombang (R) (m)	(h-ds)/R (m)	Syarat (h-ds/R)<1,0	Keterangan
Utara	HHWL 3,264	3	2,24	-0,118	-0,116<1	Terjadi <i>overtopping</i>
Timur Laut	HHWL 3,264	3	1,56	-0,170	-0,168<1	Terjadi <i>overtopping</i>
Timur	HHWL 3,264	3	1,14	-0,232	-0,229<1	Terjadi <i>overtopping</i>
Tenggara	HHWL 3,264	3	0,83	-0,318	-0,315<1	Terjadi <i>overtopping</i>
Barat Laut	HHWL 3,264	3	1,14	-0,232	-0,230<1	Terjadi <i>overtopping</i>

Hasil analisa *overtopping* pada bangunan pemecah ombak tipe sisi miring dengan ketinggian bangunan 3 meter diketahui pada muka air tertinggi terjadi limpasan gelombang dari setiap arah datang gelombang yang menyatakan bahwa bangunan pemecah ombak belum aman terhadap *run-up* dan *overtopping* gelombang, namun bangunan pemecah ombak masih berfungsi untuk memecahkan gelombang yang datang sehingga perairan di belakang pemecah ombak aman terhadap gelombang.

b. *Breakwater* Tipe Sisi Miring Dengan Ketinggian 1,6 M



Gambar 9. Tinggi Gelombang Arah Utara, Timur Laut Dan Timur Terhadap *Breakwater* Ketinggian 1,6 m



Gambar 10. Tinggi gelombang arah utara,timur laut dan timur terhadap breakwater ketinggian 1,6 m

Dari gambar 9 dan 10 diketahui *breakwater* dengan ketinggian 1,6 meter pada muka air tertinggi (HHWL) gelombang yang datang melewati bangunan tersebut sehingga bangunan tersebut sudah tidak efektif dalam menahan gelombang yang datang.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data angin dari tahun 2013-2022, diketahui bahwa karakteristik gelombang di Perairan Pantai Tanjung Medang didominasi oleh gelombang yang datang dari arah timur laut, meskipun gelombang maksimum berasal dari arah utara. Tinggi gelombang laut dalam maksimum dari arah utara tercatat sebesar 2,85 meter dengan periode 6,85 detik, dan dari arah lainnya berkisar antara 1 hingga 2,05 meter. Setelah mengalami proses transformasi dengan koefisien refraksi antara 0,997-1,008 dan koefisien *shoaling* antara 0,837-1,239, tinggi gelombang maksimum yang sampai pada kedalaman 3 meter dari arah utara adalah 2,21 meter. Gelombang pecah terbesar terjadi dari arah utara dengan ketinggian 2,79 meter pada kedalaman 3,49 meter. Secara umum, tinggi gelombang yang dihasilkan pada kejadian angin maksimum melebihi 1 meter, sehingga diklasifikasikan sebagai gelombang destruktif yang dapat merusak pantai. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja terhadap bangunan pemecah ombak eksisting menunjukkan performa yang berbeda. Untuk *breakwater* tipe sisi miring setinggi 3 meter, analisis menunjukkan terjadi *run-up* gelombang setinggi 2,25 meter dari arah utara, 1,56 meter dari timur laut, 1,14 meter dari timur, 0,83 meter dari tenggara, dan 1,14 meter dari arah barat laut. Kondisi ini menyebabkan terjadinya *overtopping* (limpasan) berdasarkan syarat $\left(0 \leq \frac{h-ds}{R} < 1.0\right)$, yang mengindikasikan bahwa struktur tersebut tidak sepenuhnya aman terhadap *run-up* dan *overtopping*. Meskipun demikian, bangunan ini dinilai masih efektif dalam memecahkan gelombang yang datang. Sebaliknya, untuk *breakwater* setinggi

1,6 meter, hasil penelitian menyimpulkan bahwa kinerjanya sudah tidak efektif dalam mereduksi gelombang serta melindungi area pelabuhan dan pemukiman masyarakat sehingga memerlukan perencanaan ulang atau modifikasi struktural untuk dapat melindungi area pelabuhan dan pemukiman secara memadai.

REFERENSI

- [1] B. Triatmodjo, *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset, 1999.
- [2] A. Suryani, "PENGARUH PEMECAH GELOMBANG AMBANG RENDAH (PEGAR) BERONGGA TERHADAP KARAKTERISTIK KECEPATAN PARTIKEL AIR," *UNRAM: Fakultas Teknik*, 2017.
- [3] Setiyawan, A. Rusdin, and N. Adnyani, "ANALISIS PERAMALAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT DENGAN PERIODE ULANG MENGGUNAKAN METODE DISTRIBUSI WEIBULL (STUDI KASUS PANTAI LEMBASADA KABUPATEN DONGGALA)," *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, vol. 5, p. 38, 2015.
- [4] N. S. Lucky Wahana Agung, "Evaluasi Pemecah Gelombang (Breakwater) Pada Pelabuhan Perikanan," *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, pp. 25-34, 2017.
- [5] S. Kramadibrata, *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung: ITB, 2002.
- [6] CERC, "Shore Protection Manual," Washington, 1984.
- [7] B. Triatmodjo, *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset, 2003.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 07/SE/M/2010 tentang Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai, adaptasi dari Coastal engineering manual part VI chapter 2, "Types of functions of Coastal Structure."* Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [9] S. K. Dauhan, H. Tawas, H. Tangkudung, and J. D. Mamoto, "ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG PECAH TERHADAP PERUBAHAN GARIS PANTAI DI ATEP OKI," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 12, pp. 784-796, 2013.
- [10] R. A. Indarto, "Analisis Transformasi Gelombang Pada Breakwater PLTU

- Karangkandri Cilacap," *Jurnal Teodolita*, pp. 19–30, 2020.
- [11] Stasiun Meteorologi Raja Haji Abdullah Tanjung Balai Karimun, "Data Kecepatan dan Arah Angin Maksimum Harian," 2022.
- [12] General Bathymetric Chart of the Oceans, "Data Kedalaman Laut Tanjung Medang," 2022.
- [13] Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut, *Data Pasang Surut*. 2022.

This page intentionally blank