

**ANALISIS EFEKTIVITAS PENEMPATAN *BREAKWATER* DALAM
MEREDUKSI TINGGI GELOMBANG DI TPK *NEW MAKASSAR*
TERMINAL 2**



**GALY RAKAZIWI
D081 19 1060**



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**ANALISIS EFEKTIVITAS PENEMPATAN *BREAKWATER* DALAM
MEREDUKSI TINGGI GELOMBANG DI TPK *NEW* MAKASSAR
TERMINAL 2**

**GALY RAKAZIWI
D081 19 1060**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Kelautan

pada

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**



LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS EFEKTIVITAS PENEMPATAN *BREAKWATER* DALAM
MEREDUKSI TINGGI GELOMBANG DI TPK *NEW* MAKASSAR
TERMINAL 2**

Disusun dan diajukan oleh

GALY RAKAZIWI
D081 19 1060

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 27 JUNI 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,



Dr. Eng. Firman Husain, S.T., M.T.
NIP. 19730423 200812 1001

Pembimbing II,



Sabaruddin Rahman, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19760719 200112 1001

Ketua Departemen,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.
NIP. 19750605 200212 1003



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Efektivitas Penempatan *Breakwater* Dalam Mereduksi Tinggi Gelombang di TPK *New Makassar Terminal 2*" dengan arahan dari Pembimbing Dr. Eng. Firman Husain, S.T., M.T. dan Sabaruddin Rahman, S.T., M.T., Ph.D. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 Juni 2024



Galy Rakaziwi
D081191060



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur senantiasa kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Efektivitas Penempatan *Breakwater* Dalam Mereduksi Tinggi Gelombang di TPK New Makassar Terminal 2” ini dengan baik dan sesuai dengan harapan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Firman Husain, S.T., M.T. sebagai pembimbing 1, dan Bapak Sabaruddin Rahman, S.T., M.T., Ph.D. sebagai pembimbing 2 yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengerjakan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, S.T., M.T. dan Ibu Hasdinar Umar, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan saran yang membangun dalam menyelesaikan skripsi ini.

Kepada rekan-rekan Mahasiswa Teknik Kelautan 2019 khususnya rekan-rekan labo CONCELINGLAB yang telah menjadi menjadi keluarga bagi penulis yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungan selama menjalani proses perkuliahan dan dalam pengerjaan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada seluruh staf pengajar dan administrasi di Departemen Teknik Kelautan yang telah memfasilitasi penulis dalam sepanjang proses perkuliahan untuk menyelesaikan studi sarjana.

Akhirnya, kepada orang tua dan adik-adik tercinta penulis ucapkan terima kasih atas doa, dukungan, serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis sehingga tetap semangat dalam perkuliahan dan dalam mengerjakan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga kepada seluruh pihak yang turut memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung yang belum sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis

Galy Rakaziwi



ABSTRAK

GALY RAKAZIWI. **Analisis Efektivitas Penempatan Breakwater Dalam Mereduksi Tinggi Gelombang di TPK New Makassar Terminal 2** (dibimbing oleh Dr. Eng. Firman Husain, S.T., M.T. dan Sabaruddin Rahman, S.T., M.T., Ph.D.).

Latar Belakang. TPK *New Makassar Terminal 2* merupakan pelabuhan menjadi titik penting dalam arus perdagangan dan logistik di wilayah Timur Indonesia. Dengan fasilitas yang modern dan infrastruktur yang memadai, pelabuhan ini mendukung pertumbuhan ekonomi daerah dan meningkatkan konektivitas antarwilayah. Salah satu infrastruktur penting yang ada di TPK *New Makassar Terminal 2* adalah pemecah gelombang yang berfungsi mereduksi tinggi gelombang yang datang dari arah barat. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemecah gelombang di depan TPK *New Makassar Terminal 2* yang ada saat ini sudah efektif dalam mereduksi tinggi gelombang datang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi pemodelan numerik yang akan memperlihatkan interaksi antara pemecah gelombang dengan 3 variasi tinggi gelombang datang yang telah ditentukan. Selain itu, dalam penelitian ini juga akan diberikan solusi alternatif penempatan bangunan pemecah gelombang untuk memaksimalkan perlindungan area pelabuhan dari tinggi gelombang datang. **Metode.** Dalam penelitian ini, akan dilakukan simulasi pemodelan dengan bantuan aplikasi Transform untuk mengetahui tingkat efektivitas pemecah gelombang dalam mereduksi tinggi gelombang yang akan ditampilkan dalam bentuk gambar 2 dimensi yang disertai dengan grafik muka air laut sebelum dan setelah melalui pemecah gelombang. Simulasi dilakukan dengan tiga variasi sudut datang gelombang. Akan dilakukan pula analisis difraksi gelombang untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat adanya proses difraksi gelombang yang melalui pemecah gelombang. Adapun data yang digunakan adalah data sekunder. **Hasil.** Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemecah gelombang yang ada saat ini sudah cukup efektif dalam mereduksi tinggi gelombang hingga 80% dari arah barat. Namun, pemecah gelombang tersebut tidak dapat mereduksi tinggi gelombang dari arah barat daya. Oleh karena itu, diberikan suatu alternatif penambahan pemecah gelombang untuk mereduksi tinggi gelombang dari arah barat daya. Dua alternatif penempatan pemecah gelombang telah disimulasikan. **Kesimpulan.** Berdasarkan hasil simulasi akhir yang dilakukan, disimpulkan bahwa desain alternatif penempatan pemecah gelombang telah efektif dalam mereduksi tinggi gelombang untuk 3 variasi arah datang gelombang.

Kata Kunci: Efektivitas Pemecah Gelombang, Reduksi Gelombang, Simulasi



ABSTRACT

GALY RAKAZIWI. **Analysis of The Effectiveness of Breakwater Placement In Reducing Wave Heights at TPK New Makassar Terminal 2.** (supervised by Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT. and Sabaruddin Rahman, S.T., M.T., Ph.D).

Background. Container Terminal *New Makassar Terminal 2* is an important port in the flow of trade and logistics in Eastern Indonesia. With modern facilities and adequate infrastructure, this port supports regional economic growth and improves connectivity between regions. One of the important infrastructures in TPK *New Makassar Terminal 2* is a breakwater that serves to reduce the height of waves coming from the west. **Aim.** This study aims to determine whether the existing breakwater in front of Container Terminal *New Makassar Terminal 2* is effective in reducing the incident wave height. The method used in this research is a numerical modeling simulation that will show the interaction between the breakwater and 3 variations of the predetermined incident wave height. In addition, this research will also provide alternative solutions for the placement of breakwater buildings to maximize the protection of the port area from high incoming waves. **Method.** In this research, modeling simulations will be carried out with the help of the Transform application to determine the effectiveness of breakwaters in reducing wave height, which will be displayed in the form of 2-dimensional images accompanied by graphs of sea level before and after going through the breakwater. The simulation is conducted with three variations of wave incidence angle. Wave diffraction analysis will also be *conducted* to determine changes in wave height due to the process of wave diffraction through the breakwater. The data used is secondary data. **Results.** The simulation results show that the existing breakwater is quite effective in reducing wave height up to 80% from the west. However, the breakwater cannot reduce the wave height from the southwest direction. Therefore, an alternative is given to add a breakwater to reduce the wave height from the southwest direction. Two alternative breakwater placements have been simulated. **Conclusion.** Based on the final simulation results, it is concluded that the alternative design of breakwater placement has been effective in reducing wave height for 3 variations of incident wave direction.

Keywords: Breakwater Effectiveness, Wave Reduction, Simulation



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Gelombang	5
2.1.1 Gelombang Pecah	6
2.1.2 Transmisi Gelombang.....	8
2.1.2.1 Gelombang Overtopping.....	9
2.1.2.2 Transmisi Gelombang	10
2.1.2.3 Refleksi Gelombang	10
2.1.2.4 Gelombang	11
2.1.2.5 Gelombang.....	12



2.3.	Pasang Surut	13
2.4.	Elevasi Muka Air Rencana	14
2.5.	Pemecah Gelombang (<i>Breakwater</i>)	15
2.5.1	Tipe-tipe Pemecah Gelombang (<i>Breakwater</i>)	16
2.6.	Analisis Numerik	18
2.7.	Transform	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		20
3.1	Lokasi Penelitian	20
3.2	Metode Pengumpulan Data	20
3.3	Metode Penelitian	21
3.4	Diagram Alir	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Analisis Angin	23
4.2	Analisis Gelombang dan Periode Ulang	25
4.3	Koordinat Bangunan Pemecah Gelombang	27
4.4	Pemecah Gelombang Eksisting	28
4.5	Alternatif Pemecah Gelombang	33
4.6	Hitungan Difraksi Gelombang	45
BAB V PENUTUP		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
Tabel 1. Tinggi gelombang signifikan permusim (2013-2022).....	26
Tabel 2. Periode gelombang permusim (2013-2022)	26
Tabel 3. Tinggi dan periode kala ulang gelombang	27
Tabel 4. Tinggi gelombang di belakang pemecah gelombang (m)	45
Tabel 5. Hasil perhitungan difraksi gelombang	46



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. TPK <i>New Makassar Terminal 2</i>	2
2. Layout TPK <i>New Makassar Terminal 2</i>	3
3. Defenisi Parameter Gelombang	6
4. Refraksi Gelombang	11
5. Difraksi gelombang di belakang rintangan	12
6. Refleksi Gelombang	12
7. Pemecah gelombang sisi tegak	17
8. Contoh potongan melintang struktur pemecah gelombang dengan sisi miring	17
9. Pemecah gelombang campuran	18
10. Lokasi Penelitian	20
11. Titik pengambilan data gelombang	23
12. (a) <i>Windrose</i> Musim Barat, (b) <i>Windrose</i> Musim Peralihan 1, (c) <i>Windrose</i> Musim Timur, (d) <i>Windrose</i> Musim Peralihan 2	24
13. (a) <i>Waverose</i> Musim Barat, (b) <i>Waverose</i> Musim Peralihan 1, (c) <i>Waverose</i> Musim Timur, (d) <i>Waverose</i> Musim Peralihan 2	25
14. Penentuan koordinat domain dan bangunan pemecah Gelombang	27
15. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat	28
16. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	29
17. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	29
18. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat	31
19. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	32
20. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	32
21. Rencana alternatif penempatan bangunan pemecah gelombang	34
22. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat	35
23. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	36
24. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	36
25. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat	37
26. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	38
27. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	38
28. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat	39



29. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	40
30. Kontur perairan saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	41
31. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat	42
32. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Laut	42
33. Grafik permukaan laut saat gelombang dari arah Barat - Barat Daya	43
34. Grafik tinggi gelombang pada simulasi breakwater eksisting.....	44
35. Grafik tinggi gelombang pada simulasi alternatif breakwater 1	44
36. Grafik tinggi gelombang pada simulasi alternatif breakwater 2.....	44
37. Gelombang datang membentuk sudut terhadap celah	47



DAFTAR LAMPIRAN

1. *Input* koordinat domain dan bangunan pemecah gelombang eksisting
2. *Input* koordinat domain dan alternatif pertama bangunan pemecah Gelombang
3. *Input* koordinat domain dan alternatif kedua bangunan pemecah Gelombang
4. *Output* simulasi pemecah gelombang eksisting (*Interpolated*)
5. *Output* simulasi alternatif pemecah gelombang pertama (*Interpolated*)
6. *Output* simulasi alternatif pemecah gelombang kedua (*Interpolated*)
7. Peta Batimetri TPK New Makassar Terminal 2



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
H_b	Tinggi Gelombang
G	Percepatan gravitasi
T	Periode gelombang
L	Panjang gelombang
D	Kedalaman perairan
C	Cepat rambat gelombang
A	Amplitudo gelombang
ζ	Simpangan vertikal muka air terhadap SWL
K_t	Koefisien transmisi gelombang
H_t	Tinggi gelombang transmisi
H_i	Tinggi gelombang datang
E_b	Efektivitas <i>Breakwater</i>
F	Gaya yang mengenai struktur
H	Ketinggian struktur
Y	Kedalaman perairan, dari puncak atau lembah gelombang
r_f	Faktor reduksi
H_R	Tinggi gelombang pantul
H_r	Tinggi gelombang datang
K_r	Koefisien refraksi
C_R	Koefisien refleksi
K'	Koefisien difraksi
β	Sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan
	Sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan transportasi diarahkan untuk menjembatani kesenjangan antar wilayah dan mendorong pemerataan hasil-hasil pembangunan. Transportasi laut memegang peranan penting dalam kelancaran perdagangan karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi antara lain daya angkut banyak, dan biaya relatif murah. Guna menunjang perdagangan dan lalu lintas muatan, pelabuhan diciptakan sebagai titik simpul perpindahan muatan barang dimana kapal dapat berlabuh, bersandar, melakukan bongkar muat barang dan penerusan ke daerah lainnya (Kramadibrata, 1985).

Dengan adanya pelabuhan, kegiatan transportasi antar pulau menjadi jauh lebih cepat. Keberadaan pelabuhan juga mendukung kegiatan perdagangan internasional, pertumbuhan ekonomi, konektivitas, dan berbagai manfaat lainnya dalam perekonomian masyarakat utamanya dalam kegiatan pengiriman barang dalam jumlah besar. Selain itu, keberadaan pelabuhan juga berdampak positif pada pembentukan klaster industri baru di sekitarnya, menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat. Oleh karena itu, pemerintah terus melakukan upaya-upaya dalam meningkatkan pembangunan infrastruktur pelabuhan di berbagai wilayah Indonesia agar manfaat dari adanya pelabuhan tersebut bisa dirasakan oleh seluruh masyarakat Indonesia utamanya bagi mereka yang berada di daerah-daerah terpencil yang sulit diakses melalui jalur darat. Dengan demikian, investasi dalam pengembangan pelabuhan bukan hanya merupakan investasi dalam infrastruktur fisik, tetapi juga merupakan investasi dalam pembangunan ekonomi yang merata dan berkelanjutan. Meningkatnya konektivitas dan aksesibilitas melalui pelabuhan akan membawa dampak positif yang luas bagi pertumbuhan ekonomi, perdagangan, dan kesejahteraan masyarakat Indonesia secara keseluruhan.

TPK *New* Makassar Terminal 2 merupakan salah satu pelabuhan yang terletak di kota Makassar yang berfungsi melayani kegiatan bongkar muat peti kemas dalam skala besar. Pelabuhan ini juga merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang dibangun oleh PT Pelindo IV (Persero) yang mulai beroperasi sejak tahun 2018 dan hingga saat ini masih dalam tahap pembangunan. Meskipun masih dalam tahap pembangunan, TPK *New* Makassar Terminal 2 sudah



nyaknya kunjungan kapal yang melakukan bongkar muat di berdasarkan data pada tahun 2022, jumlah kunjungan kapal di Terminal 2 cenderung meningkat dimana total ship call di nyak 552 *call* kapal dengan rata-rata tingkat pemanfaatan (*Occupancy Ratio*) yaitu 35%. Angka ini masih cukup jauh dari dermaga yang diizinkan yakni 70% sehingga masih sanggup

menangani lebih banyak kapal yang akan melakukan bongkar muat (Ashury & Anugrah, 2023).



Gambar 1. TPK New Makassar Terminal 2

Sumber: Rizky Alika. (2021). Katadata.co.id.

Kelancaran aktivitas bongkar muat di pelabuhan tidak lepas dari dukungan infrastruktur pelabuhan yang memadai. Salah satu faktor utama dalam mendukung kelancaran kegiatan bongkar muat di pelabuhan adalah terjaganya kondisi perairan di kolam pelabuhan. Kegiatan bongkar muat kapal hanya dapat dilakukan di perairan yang tenang karena gelombang yang tinggi akan mempengaruhi stabilitas kapal sehingga menyulitkan dalam melakukan kegiatan bongkar muat. Perairan dengan gelombang yang tinggi akan sangat beresiko bagi kapal untuk bersandar karena dapat menyebabkan kecelakaan misalnya kapal yang menabrak dermaga ataupun kapal lain yang berada di area pelabuhan. Oleh karena itu, dibangunlah suatu struktur pelindung pantai di depan pelabuhan yang berfungsi untuk mengurangi tinggi gelombang laut sehingga keadaan perairan di belakang struktur tersebut bisa lebih tenang. Struktur ini disebut pemecah gelombang atau yang juga dikenal dengan *breakwater*. Umumnya pemecah gelombang dibangun di depan pelabuhan untuk mengurangi tinggi gelombang yang memasuki area labuh sehingga kapal dapat bersandar dengan baik di dermaga. Menurut Pratikto et al. (2014), pemecah gelombang atau *breakwater* adalah suatu bangunan pantai yang



natahkan/menahan energi gelombang yang datang menuju karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang unan *breakwater* pada umumnya dibuat untuk melindungi pantai lainnya seperti : pelabuhan, kawasan pantai wisata, au bisa juga untuk melindungi garis pantai dari bahaya erosi

dan sedimentasi. Bangunan *breakwater* tersebut biasanya terbuat dari tumpukan batu, beton, ataupun baja sesuai dengan tipe *breakwater* nya.



Gambar 2. *Layout* TPK New Makassar Terminal 2
Sumber: *Google Earth Pro* (2024).

Saat ini hanya terdapat satu pemecah gelombang yang ada di depan TPK New Makassar Terminal 2 yang memiliki panjang 1.380 meter. Struktur ini merupakan kunci penting dalam menjaga stabilitas perairan di sekitar pelabuhan yang dibangun bersamaan dengan pembangunan TPK New Makassar Terminal 2. Berdasarkan desain dan lokasi penempatannya, bangunan pemecah gelombang ini dibangun untuk melindungi pelabuhan dari tinggi gelombang dari arah barat. Sedangkan berdasarkan tipenya, bangunan pemecah gelombang tersebut merupakan tipe *rubble mound breakwater*. Bangunan pemecah gelombang tersebut dikelola oleh Otoritas Pelabuhan Makassar yang bertujuan untuk melindungi area TPK New Makassar Terminal 2 dari serangan gelombang agar kawasan perairan tempat kapal berlabuh bisa lebih tenang untuk kegiatan bongkar muat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat tentang kinerja pemecah gelombang, potensinya dalam menjaga stabilitas perairan dan meningkatkan efisiensi operasional pelabuhan secara keseluruhan serta memberikan solusi alternatif dalam mengoptimalkan fungsi dari tersebut.



raian di atas, maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian berjudul “ANALISIS EFEKTIVITAS PENEMPATAN LAM MEREDUKSI TINGGI GELOMBANG DI TPK NEW MACKASSAR TERMINAL 2” ini akan menganalisis efektivitas *breakwater* yang ada di depan TPK New Makassar Terminal 2 menggunakan metode simulasi

pemodelan numerik dengan bantuan program analisis 2 dimensi. Metode ini sangat tepat digunakan untuk memberikan gambaran mengenai efektivitas *breakwater* dalam mereduksi tinggi gelombang dalam bentuk gambar 2 dimensi. Berdasarkan hasil simulasi kinerja *breakwater* tersebut, akan dilakukan analisis untuk menentukan solusi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan perlindungan pelabuhan dari dampak gelombang tinggi. Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kinerja *breakwater* tersebut serta potensinya dalam melindungi infrastruktur pelabuhan dan memastikan kelancaran operasional di pelabuhan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Seberapa efektif kinerja *breakwater* di depan TPK New Makassar Terminal 2 dalam meredam tinggi gelombang yang datang.
2. Bagaimana mengoptimalkan fungsi *breakwater* untuk perlindungan area pelabuhan dari terjangan gelombang dari arah berbeda.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efektivitas *breakwater* dalam meredam tinggi gelombang laut.
2. Mencari alternatif *layout breakwater* untuk memaksimalkan perlindungan area pelabuhan di TPK New Makassar Terminal 2 dari terjangan gelombang laut dari arah berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan panduan kepada pemerintah daerah, lembaga, dan profesional dalam merencanakan, merancang, serta mengelola bangunan pelindung pantai dengan lebih efektif.
2. Memberikan masukan kepada pengelola pelabuhan mengenai langkah yang dapat diambil dalam meningkatkan performa kerja bangunan pelindung pantai dalam melindungi area pelabuhan.
3. Membantu meningkatkan efektivitas *breakwater* dalam mereduksi tinggi gelombang. Dengan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi performa *breakwater*, maka desain dan konstruksi *breakwater* dapat ditingkatkan untuk mencapai performa yang lebih baik.



h

n masalah dalam penelitian ini, yaitu:

eliti hanya pada area TPK New Makassar Terminal 2.

nakan dalam penelitian adalah data sekunder.

Jelan menggunakan program analisis 2D.

ngi gelombang akibat perubahan kontur kedalaman laut tidak
n.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang merupakan salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus laut, dan transport sedimen pada air dalam arah tegak lurus sepanjang pantai. Gelombang laut dibangkitkan oleh gaya yang bekerja disekitar perairan antara lain akibat gaya angin dan gaya tarik yang ditimbulkan oleh benda-benda di luar angkasa terutama yang diakibatkan oleh bulan dan matahari (Triatmodjo, B., 2014).

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena gempa di laut atau letusan gunung berapi di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya (Fajri et al., 2021).

Gelombang laut adalah gangguan periodik yang bergerak melalui permukaan laut atau perairan yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk angin, gravitasi, dan aktivitas seismik. Gelombang laut adalah fenomena alam yang umum di lautan dan perairan lainnya, dan mereka memiliki beragam ukuran, amplitudo, dan kecepatan. Gelombang laut berdasarkan informasi meteorologi kelautan dibedakan atas jenis pembangkitnya yang meliputi tiga jenis gelombang, yaitu:

1. gelombang akibat angin;
2. gempa bumi (tsunami); dan
3. gelombang akibat gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari atau disebut dengan gelombang tidal atau pasang surut.

Parameter terpenting yang digunakan untuk menjelaskan suatu gelombang adalah tinggi dan panjang gelombang serta kedalaman perairan dimana gelombang tersebut merambat. Kecepatan rambat gelombang secara teoritis dapat ditentukan dari kualitas parameter tersebut. Gelombang laut memiliki karakteristik seperti panjang gelombang, amplitudo (ketinggian), dan periode (waktu antara dua puncak gelombang berturutan). Gelombang laut memiliki efek yang signifikan terhadap ekologi laut, navigasi kapal, dan infrastruktur pantai. Tinggi gelombang H adalah jarak vertikal dari puncak gelombang ke lembah gelombang. Periode

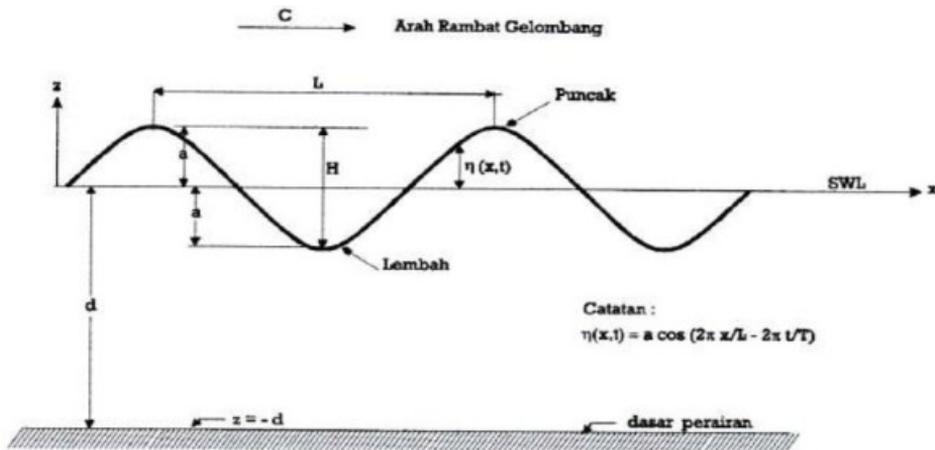


lamanya waktu dua puncak gelombang berturutan melewati Panjang gelombang L adalah jarak horisontal antara dua berturutan atau jarak horisontal antara dua titik yang a gelombang berturutan.

3 ditunjukkan skema dua dimensi penyebaran gelombang a dan λ untuk menunjukkan definisi dari parameter gelombang.

Parameter η menyatakan pergerakan muka air relatif terhadap muka air tenang (SWL) dan merupakan fungsi dari x dan waktu t . Pada puncak gelombang, η sama dengan amplitudo gelombang, a atau setengah tinggi gelombang.

Panjang gelombang berkaitan dengan kedalaman perairan. Kedalaman perairan dengan variabel d , diukur dari dasar perairan ke muka air tenang (SWL = *Still Water Level*) (Muliati, 2020).



Gambar 3. Defenisi Parameter Gelombang

Sumber: Muliati, Y. (2020).

Dalam hal ini hubungan antara keduanya adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1)$$

dengan :

- L : Panjang gelombang (m)
- T : Periode gelombang (s)
- D : Kedalaman perairan (m)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.1.1 Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah fenomena yang terjadi ketika gelombang laut mendekati pantai atau perairan dangkal dengan sudut datang yang tajam. Saat gelombang ini bergerak dari perairan dalam menuju perairan dangkal, mereka mengalami perubahan yang signifikan dalam karakteristiknya karena interaksi topografi dasar laut. Hasilnya, gelombang yang awalnya gelombang yang lebih panjang dapat "pecah" atau terbelah menjadi gelombang yang lebih pendek dan lebih tinggi.



Uj, gelombang pecah terjadi karena bagian depan gelombang lebih cepat daripada bagian belakangnya ketika mencapai perairan dangkal. Akibatnya, bagian belakang gelombang terangkat, membentuk

puncak gelombang yang lebih tajam, dan menghasilkan gelombang-gelombang baru yang lebih pendek. Efek ini dapat menciptakan pola gelombang yang kompleks di perairan dangkal atau di dekat pantai.

Pecahnya gelombang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati pantai, dimana puncak gelombang menjadi tajam dan kedalamannya mencapai seperempat dari tinggi gelombang dan akhirnya terjadi gelombang pecah. Efek perubahan kedalaman laut akan mengakibatkan tinggi gelombang bertambah besar ketika gelombang tersebut memasuki perairan dangkal. Tinggi gelombang akan mencapai suatu ketinggian tertentu dan ia akan menjadi tidak stabil dan kemudian pecah dan mengakibatkan timbulnya energi. Perambatan gelombang menuju perairan dangkal semakin mengurangi kecepatan tapi energinya justru bertambah besar sehingga tinggi gelombang juga menjadi semakin bertambah besar. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe berikut ini (Dauhan et al., 2013):

1. *Spilling*

Spilling biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. *Plunging*

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil di pantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal.

3. *Surgling*

Surgling terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe surgling ini mirip dengan plunging, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

Rumus yang digunakan untuk menghitung gelombang pecah dapat rumit dan melibatkan parameter seperti panjang gelombang awal, sudut datang, dan kedalaman perairan. Namun, dalam situasi praktis, simulasi numerik dan



sering digunakan untuk memahami lebih lanjut tentang efek dalam konteks tertentu. Gelombang pecah adalah konsep kelautan dan rekayasa pantai karena dapat memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan pesisir dan aktivitas manusia di sekitarnya.

2.1.2 Transmisi Gelombang

Transmisi gelombang merupakan pergerakan gelombang laut melalui perairan, termasuk bagaimana gelombang bergerak, berinteraksi dengan permukaan laut dan benda di dalam air, serta bagaimana mereka merambat ke berbagai kedalaman dan jarak. Ini adalah konsep penting dalam memahami bagaimana gelombang laut mempengaruhi pantai, navigasi maritim, dan ekosistem laut. Gelombang yang menjalar di belakang bangunan *breakwater* setelah diredamkan disebut sebagai transmisi gelombang. Gelombang yang menjalar di belakang bangunan setelah diredamkan ini memiliki nilai koefisien tertentu yang disebut sebagai koefisien transmisi (K_t). Besar nilai koefisien transmisi (K_t) ini dipengaruhi oleh tinggi gelombang maksimum dan minimum yang datang setelah diredamkan di belakang bangunan. Besar nilai gelombang yang datang (H_i) juga mempengaruhi koefisien transmisi (K_t) yang merupakan hasil pembagian dari tinggi gelombang transmisi (H_t) terhadap tinggi gelombang datang tersebut (H_i) (Humairah et al., 2022).

Ketika gelombang datang dan mengenai *breakwater*, energi gelombang akan dipantulkan, hilang atau diteruskan melewati struktur. Perubahan energi gelombang tersebut tergantung dari karakteristik gelombang (periode, tinggi gelombang dan kedalaman perairan), tipe *breakwater* (rubble atau smooth, permeable atau impermeable) dan geometri dari struktur (slope, elevasi puncak gelombang relatif terhadap SWL dan lebar puncak gelombang). Transmisi dari energi gelombang yang melalui *breakwater* seharusnya dapat diminimalkan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pelabuhan-pelabuhan akibat resonansi gelombang. (Pratikto et al., 2014).

Pada Teknik Pantai, karakter peredaman gelombang pada struktur pemecah gelombang ditulis dalam bentuk perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dan tinggi gelombang datang. Perbandingan kedua tinggi gelombang ini disebut dengan koefisien transmisi gelombang, dirumuskan dalam persamaan berikut (Fatnanta, F., 2013):

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (2)$$

Dimana:

K_t : Koefisien transmisi gelombang

H_t : Tinggi gelombang transmisi (m)



H_i : Tinggi gelombang datang

Untuk mengetahui persentase efektivitas pemecah gelombang dalam digunakan rumus sebagai berikut (CERC, 1984):

$$\text{Efektivitas} = \left(\frac{H_t}{H_i} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

- E_b : Efektivitas *Breakwater*
 H_t : Tinggi gelombang transmisi (m)
 H_i : Tinggi gelombang datang

2.1.3 Gelombang *Overtopping*

Overtopping gelombang bisa diijinkan atau dikehendaki terjadi pada suatu struktur dan juga tidak diperkenankan terjadi tergantung pada struktur pelindung pantai yang dikenai. Pada beberapa kasus di mana levees (tanggul) biasanya berfungsi sebagai pelindung suatu daerah, *overtopping* kemungkinan bisa menyebabkan limpahan air yang berlebihan atau *overtopping* akan menyebabkan erosi pada sistem bangunan yang mengakibatkan kerusakan atau kegagalan struktur. Untuk kasus-kasus yang lain, *overtopping* yang dikehendaki terjadi pada beberapa sistem *breakwater*, groin atau jetty tidak berarti mengindikasikan untuk memperkecil dimensi struktur yang akan dibuat atau untuk menghemat biaya pembuatannya, tetapi berfungsi untuk mengatur pola pergerakan sediment yang terjadi. Pada perhitungan gaya-gaya gelombang yang mengenai struktur, diasumsikan tidak terjadi *overtopping*. Sebaliknya jika diasumsikan terjadi *overtopping*, maka reduksi gaya-gaya gelombang pada struktur akan diperhitungkan. Reduksi gaya F_1 didefinisikan sebagai :

$$F^1 = r_f F \quad (4)$$

di mana r_f adalah faktor reduksi gaya yang diberikan sebagai,

$$r_f = \frac{h}{y} \left(2 - \frac{h}{y} \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{h}{y} < 1.0 \quad (5)$$

dan

$$r_f = 1.0 \quad \text{untuk} \quad \frac{h}{y} \geq 1.0 \quad (6)$$

di mana,

- F : Gaya yang mengenai struktur, diasumsikan tidak terjadi *overtopping*
 h : ketinggian struktur
 y : kedalaman perairan, dari puncak atau lembah gelombang

Laju dari *overtopping* yang terjadi tergantung dari ketinggian struktur, diukur dari kaki struktur, kemiringan permukaan struktur dan n struktur (Pratikto et al., 2014).



transmisi gelombang dan *overtopping* merupakan hal yang sangat penting dalam desain pemecah gelombang karena fungsi utamanya adalah meredam energi gelombang, menciptakan area perairan yang tenang dan melindungi infrastruktur di belakangnya. Efisiensi transmisi gelombang penting, misalnya, dalam kasus

periode gelombang panjang yang ditransmisikan melalui pemecah gelombang, yang dapat menyebabkan pergerakan kapal atau benda terapung lainnya. Overtopping gelombang relevan karena mempengaruhi fungsionalitas, keamanan transit, dan tambat di sisi belakang pemecah gelombang, serta transmisi gelombang di area terlindung (Vicinanza et al., 2019).

2.2. Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang laut adalah perubahan bentuk atau karakteristik gelombang laut saat gelombang tersebut bergerak melintasi daerah perairan yang memiliki variasi dalam kedalaman atau topografi dasar laut. Fenomena ini terjadi karena interaksi antara gelombang dengan perubahan kondisi lingkungan di bawah permukaan air. Deformasi gelombang laut dapat mempengaruhi bentuk, arah, dan energi gelombang, serta memiliki dampak pada dinamika pantai dan navigasi kapal. Menurut Fajri et al. (2021), suatu gelombang yang menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi gelombang. Perubahan bentuk gelombang ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti refraksi gelombang, refleksi gelombang, difraksi gelombang, serta gelombang pecah.

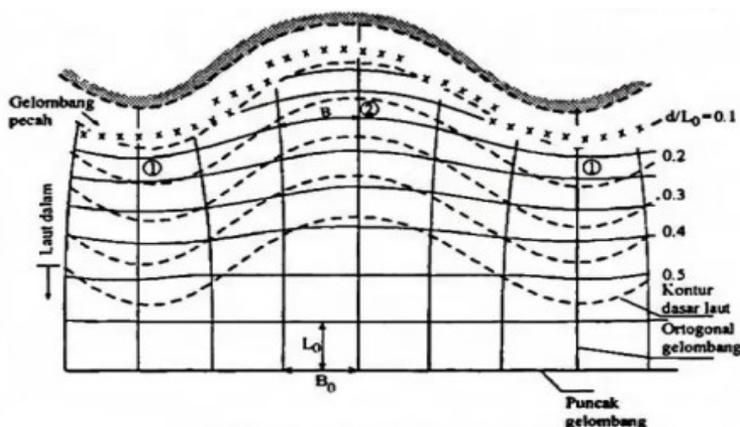
Pemahaman tentang deformasi gelombang laut memiliki implikasi penting dalam rekayasa pantai, perlindungan pantai, navigasi maritim, dan studi dinamika pantai secara umum. Dalam perencanaan dan desain struktur pantai, deformasi gelombang laut perlu dipertimbangkan untuk mengantisipasi dampaknya terhadap lingkungan dan infrastruktur pesisir.

2.2.1 Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang adalah fenomena di mana gelombang berubah arah saat melewati antarmuka antara dua medium dengan kecepatan rambat yang berbeda. Ini terjadi karena kecepatan gelombang berubah ketika mereka masuk ke dalam medium baru dengan sifat fisik yang berbeda. Konsep ini sering diilustrasikan dengan perubahan arah gelombang saat melintasi antarmuka air dan udara atau antara kedalaman laut yang berbeda. Perlu diketahui bahwa refraksi hanya mempengaruhi arah gelombang, bukan frekuensi atau panjang gelombang.

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Fenomena refraksi gelombang tidak hanya berlaku untuk gelombang laut, tetapi juga berlaku untuk berbagai jenis gelombang, seperti gelombang cahaya dan suara, saat mereka medium ke medium lain dengan sifat fisik yang berbeda (Amri





Gambar 4. Refraksi gelombang

Sumber: *Triatmodjo, B. (1999).*

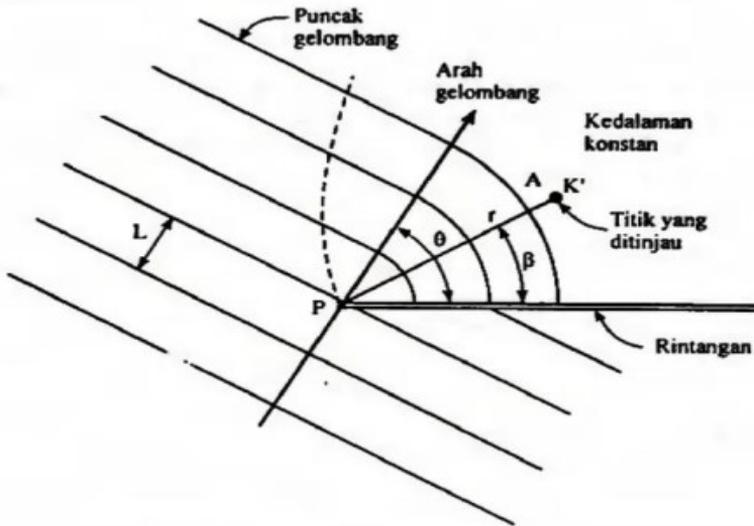
2.2.2 Difraksi Gelombang

Ketika dalam perjalanan serangkaian gelombang dijumpai penghalang impermeable seperti *breakwater*, pulau atau tanjung, maka puncak gelombang akan berputar terhadap ujung penghalang dan bergerak ke daerah yang terlindungi oleh penghalang tersebut. Fenomena gelombang seperti ini disebut difraksi, difraksi gelombang ini analog dengan defraksi yang juga terjadi pada cahaya, gelombang suara atau *electromagnet*. Difraksi terjadi ketika terdapat perbedaan energi gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya kondisi di daerah yang terlindungi penghalang cukup tenang (tidak terdapat gelombang), saat gelombang melintasi penghalang. Perairan yang jauh dari penghalang akan memiliki energi lebih banyak (energi gelombang awal) dibandingkan perairan di belakang penghalang yang semula tenang (tidak ada energi karena tidak ada gelombang), terjadilah proses pemindahan energi di sepanjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindungi penghalang (Pratikto et al., 2014).

Difraksi gelombang adalah perubahan tinggi gelombang dan pembelokan arah gelombang karena adanya sebuah halangan. Daerah di belakang rintangan akan terpengaruh oleh gelombang transmisi dengan tinggi gelombang yang lebih kecil. Masalah difraksi gelombang adalah masalah pengaruh keberadaan suatu benda tegar pada suatu medan gelombang, di mana analisis alirannya dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan pengatur alirannya secara analitik maupun numerik (Nastain et al., 2021).



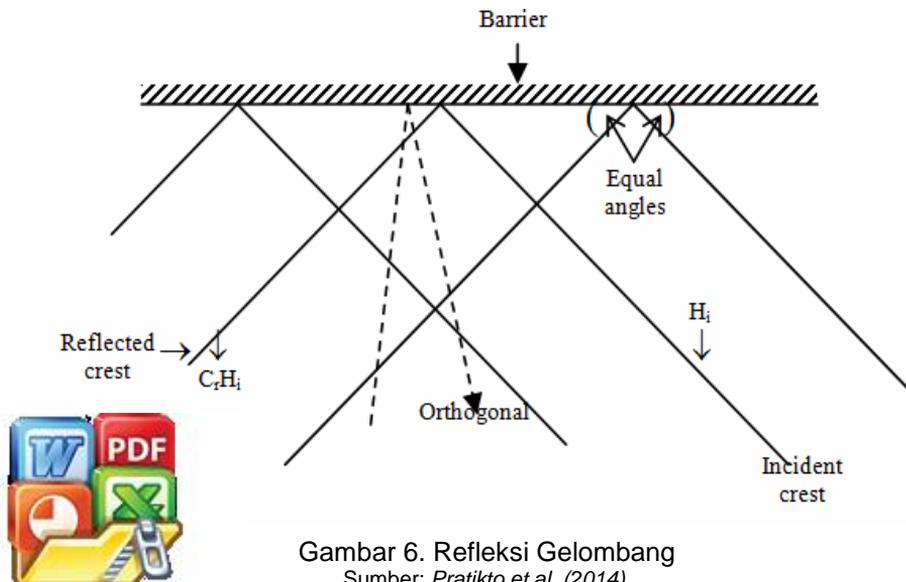
ombang laut memiliki dampak penting dalam bidang kelautan, perencanaan pembangunan pantai, pelabuhan, dan struktur nahaman tentang bagaimana gelombang laut berperilaku saat sangat penting untuk merancang infrastruktur yang tahan bang dan untuk menjaga keamanan serta stabilitas struktur-



Gambar 5. Difraksi gelombang di belakang rintangan
Sumber: *Triatmodjo, B. (1999).*

2.2.3 Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang laut adalah fenomena di mana gelombang laut dipantulkan kembali ketika mencapai suatu permukaan yang memantulkannya, seperti pantai, dinding pelindung, atau bentuk topografi dasar laut tertentu. Proses ini mirip dengan hukum refleksi cahaya, di mana gelombang datang yang mengenai permukaan cermin akan dipantulkan kembali dengan sudut yang sama terhadap garis tegak lurus permukaan.



Gambar 6. Refleksi Gelombang
Sumber: *Pratikto et al. (2014).*



Koefisien refleksi (reflection coefficient – CR) adalah perbandingan tinggi gelombang pantul dengan tinggi gelombang yang datang. Sehingga amplitude puncak gelombang pantul adalah sama dengan amplitude di daerah bayangan dikalikan koefisien pantul dinding (Pratikto et al., 2014).

$$H_R = C_R \times H_T \quad (7)$$

Secara umum, pemahaman tentang refleksi gelombang laut memiliki implikasi penting dalam pengelolaan pantai, rekayasa pesisir, dan perlindungan terhadap infrastruktur di dekat perairan.

Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal dapat keluar masuk pelabuhan melalui celah tersebut. Celah inilah yang kemudian dapat menyebabkan adanya tekanan pada badan gelombang sehingga arah rambat gelombang mengalami perubahan yang disebabkan oleh tekanan ini. Hal ini terjadi akibat gerakan gelombang tergesekan terhadap dinding celah, sehingga perbedaan gesekan antara dinding celah menyebabkan kecepatan salah satu sisi berkurang sehingga terjadi pembelokan aliran gelombang. Gelombang melalui celah sempit merupakan fenomena penting dalam pemahaman dinamika gelombang laut, terutama dalam konteks perencanaan dan pembangunan infrastruktur kelautan seperti pelabuhan. Ini merupakan dasar bagi pengembangan struktur pelabuhan, termasuk mulut pelabuhan, yang dirancang untuk mengelola gelombang laut dengan efisien dan aman.

2.3. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil tetapi jaraknya ke bumi lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar dari pada pengaruh gaya tarik matahari. Pengetahuan pasang surut sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pengaman pantai. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang, dermaga, dsb. Ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara ke dalam alur pelayaran/pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Tinggi pasang surut adalah jarak vertical antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama (Husain



adalah struktur buatan yang dirancang untuk melindungi pantai
ang laut dan erosi. Ketika merancang *breakwater*, perubahan
dipertimbangkan. Pada saat pasang, air laut akan mencapai
m, maka gelombang dan tekanan air bisa lebih kuat.
aat surut tekanan air dan gelombang akan lebih rendah.

Stabilitas *breakwater* perlu mempertimbangkan variasi dalam tekanan air dan beban gelombang selama siklus pasang surut. Selain itu, pasang surut juga dapat mempengaruhi akses ke pelabuhan atau pelabuhan yang dilindungi oleh *breakwater*. Pada saat air surut, kapal-kapal mungkin mengalami kesulitan dalam akses ke pelabuhan karena kedalaman air yang lebih rendah. Pada saat pasang, navigasi mungkin lebih mudah karena air lebih dalam.

Pengetahuan tentang pasang surut penting dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan elevasi muka air terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan tersebut. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang atau dermaga ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran pada pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Secara umum pasang surut air laut di berbagai daerah di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 (empat) jenis (Amri et al., 2021), yaitu:

1. Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*).
2. Pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*).
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*).
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*).

Dalam perencanaan dan desain bangunan pelindung pantai seperti *breakwater*, pemahaman tentang pola pasang surut, perubahan kedalaman air, dan efeknya terhadap gelombang, erosi, dan navigasi sangat penting. Penelitian dan pemodelan yang cermat diperlukan untuk memastikan bahwa struktur ini dapat efektif melindungi pantai dan infrastruktur di sekitarnya dalam berbagai kondisi pasang surut.

2.4. Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air laut adalah istilah yang mengacu pada ketinggian atau tinggi permukaan air laut pada suatu titik tertentu dihubungkan dengan suatu referensi atau titik acuan yang telah ditentukan. Dalam lingkungan pesisir, elevasi muka air laut memiliki peran yang sangat penting dalam perancangan bangunan pelindung pantai. Ini berkaitan erat dengan bagaimana kita merencanakan, mendesain, dan membangun struktur-struktur yang bertujuan untuk melindungi wilayah pesisir dari ancaman erosi, banjir, dan kerusakan yang disebabkan oleh gelombang laut yang tinggi.



air Rencana diperlukan untuk pengembangan dan pantai. Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap an suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang asi tersebut adalah sebagai berikut (Samudra et al., 2018):

i (*high water level*, HWL), muka air tertinggi yang dicapai pada g dalam satu siklus pasang surut.

2. Muka air rendah (*low water level*, LWL), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi.
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rerata dari muka air rendah.
5. Muka air tinggi purnama (*mean high water spring*, MHWS), adalah rerata dari dua muka air tinggi berturut-turut selama periode pasang purnama, yaitu jika tunggang (*range*) pasut itu tertinggi.
6. Muka air rendah purnama (*mean low water spring*, MLWS), adalah rerata dari dua muka air rendah berturut-turut selama periode pasang purnama.
7. Muka air laut rerata (*mean sea level*, MSL), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
8. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*, HHWL), adalah air tinggi tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
9. Muka air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
10. *Higher high water level* (HHWL), adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
11. *Lower low water level* (LLWL), adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

Dalam perencanaan sering pula digunakan istilah elevasi:

1. HWS (*High Water Springs*, diambil sama dengan elevasi MHWL); dan
2. LWS (*Low Water Springs* diambil sama dengan elevasi MLWL).

Namun untuk perencanaan dengan resiko yang lebih tinggi maka HWS menjadi *Highest Water Spring* (=HHWL) dan LWS menjadi *Lowest Water Spring* (=LLWL).

Dalam perancangan bangunan pelindung pantai, elevasi muka air laut menjadi poin awal yang sangat penting untuk diketahui. Fungsi utama elevasi muka air laut dalam perancangan bangunan pelindung pantai adalah sebagai acuan dasar dalam menentukan dimensi, ketinggian, dan jenis struktur yang akan dibangun, serta memastikan perlindungan yang efektif terhadap ancaman pantai dan gelombang laut dalam jangka panjang.

2.5. Pemecah Gelombang (*Breakwater*)



Pemecah gelombang (*breakwater*) adalah suatu struktur yang dirancang di perairan laut atau danau dengan tujuan mengurangi energi gelombang sebelum mencapai pantai atau pelabuhan. Fungsi utama dari pemecah gelombang adalah untuk melindungi wilayah pesisir, pelabuhan, atau kota dari dampak gelombang besar, pasang laut, dan arus laut yang kuat. Struktur ini juga berfungsi untuk melindungi infrastruktur di belakangnya dari struktur dan mengganggu aktivitas pesisir. Pemecah gelombang yang baik harus mampu meredam gelombang laut, sehingga mengurangi energi gelombang sebelum mencapai wilayah yang dilindungi.

Pemecah gelombang merupakan struktur yang dapat melindungi kawasan pesisir dari terjangannya gelombang air laut contohnya untuk melindungi fasilitas pelabuhan dan kawasan pemukiman nelayan. Bangunan pemecah gelombang menjadikan pemisah antara perairan dangkal dengan perairan dalam. Skema pembuatan pemecah gelombang memiliki banyak variabel yang menentukan dampak terhadap garis pantai yang ditentukan berdasarkan lokasi penempatan pemecah gelombang, jenis material yang digunakan, permeabilitas dari struktur, dan kondisi puncak dari struktur pemecah gelombang.

Pembangunan pemecah gelombang bertujuan untuk meredam tinggi gelombang datang ke arah pantai dan atau pelabuhan, sehingga diharapkan tinggi gelombang setelah melewati pemecah gelombang akan semakin berkurang. Dengan kata lain, semakin kecil tinggi gelombang dibelakang pemecah gelombang (gelombang transmisi) dibandingkan dengan tinggi gelombang datang, maka dapat dikatakan fungsi pemecah gelombang tersebut efektif dalam menyerap gelombang (Amiati et al., 2020).

Pemecah gelombang biasanya dibangun menggunakan bahan seperti beton, batu alam, atau bahan-bahan buatan lainnya. Desain dan letaknya dapat bervariasi tergantung pada karakteristik lingkungan dan tujuan perlindungan yang diinginkan. Pemecah gelombang dapat memiliki bentuk vertikal, miring, atau terumbu yang mengarah pada meredam atau memecah gelombang.

2.5.1 Tipe-tipe Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

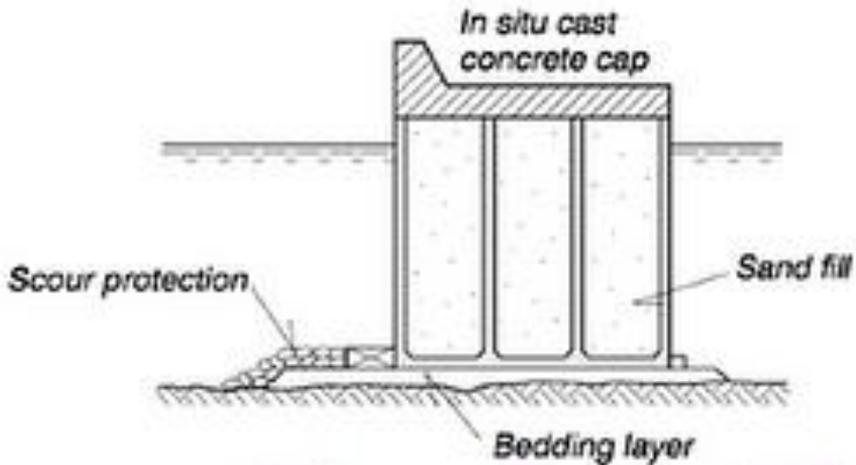
Hal-hal yang perlu diketahui dalam perencanaan pemecah gelombang antara lain tata letak, penentuan kondisi perencanaan, dan seleksi tipe struktur yang akan digunakan. Dalam penentuan tata letak (*lay out*) *breakwater* adalah kondisi lingkungan, ketenangan perairan, kemudahan manuver kapal, kualitas air, dan rencana pengembangan. Kondisi-kondisi perencanaan yang dipertimbangkan yakni angin, ketinggian pasang surut, gelombang, dan kedalaman perairan serta kondisi dasar laut. Pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi 3 tipe (Wigati et al., 2018), yaitu :

1. Pemecah Gelombang Sisi Tegak

Pemecah gelombang sisi tegak adalah struktur berbentuk dinding vertikal yang tegak lurus dengan garis pantai atau arah datangnya gelombang. Struktur ini berfungsi untuk memecah dan meredam energi gelombang, sehingga mengurangi ketinggian dan kekuatan gelombang sebelum mencapai pantai atau fasilitas maritim. Pemecah gelombang lurus biasanya



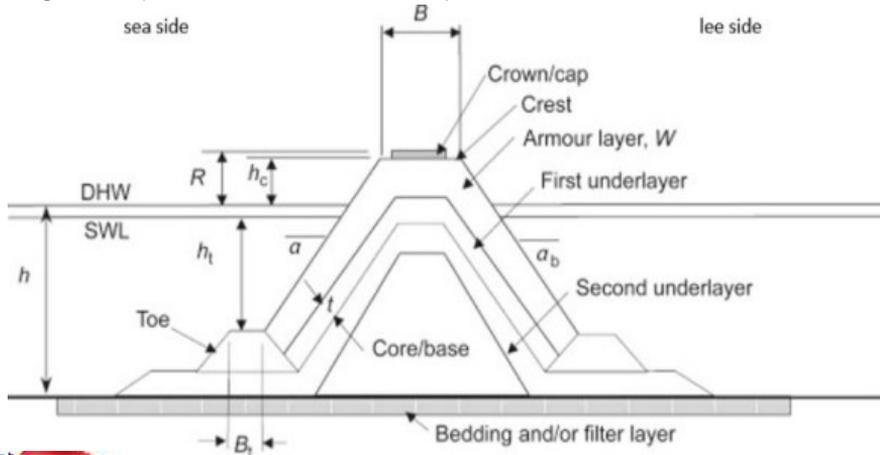
ton, batu alam, atau bahan lainnya. Struktur ini efektif dalam melindungi pantai dari erosi dan kerusakan akibat gelombang tinggi. Pemecah gelombang sisi tegak dibuat apabila tanah dasar mempunyai daya dukung yang tinggi dan tahan terhadap erosi. Pada tanah dasar dengan daya dukung yang rendah, dasar dari tumpukan batu dibuat untuk menyebarkan beban gelombang yang lebih besar.



Gambar 7. Pemecah gelombang sisi tegak
 Sumber : James Thoengsal. (2014). *Construction*. Pages.

2. Pemecah Gelombang Sisi Miring

Pemecah gelombang dengan sisi miring merupakan jenis pemecah gelombang yang membutuhkan volume batu dan armor pelindung dalam jumlah besar. Potongan melintang struktur pemecah gelombang terdiri dari batuan inti yang relatif padat dan dilapisi oleh satu atau dua lapisan batuan ataupun armor buatan dari beton yang berfungsi untuk melindungi lapisan dibawahnya sehingga armor pada lapisan terluar memiliki berat satuan yang paling besar (Palmer & Christian, 1998).



Potongan melintang struktur pemecah gelombang sisi miring
 Sumber: Allen & Moore (2016).

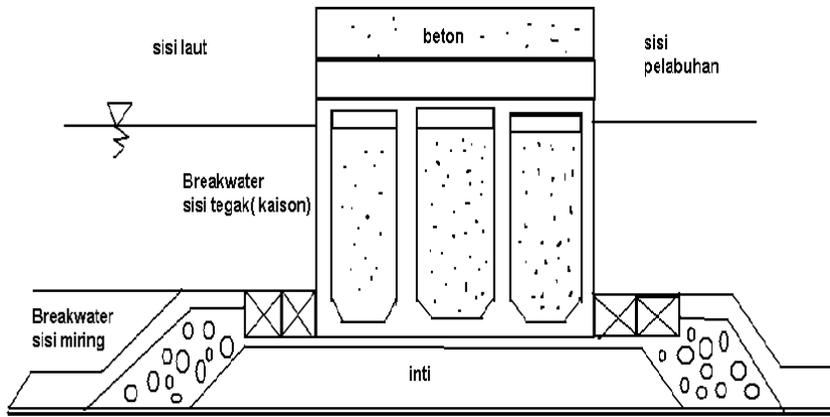


ombang tipe sisi miring memiliki lereng kemiringan yang
 h laut. Struktur ini mengurangi energi gelombang dengan cara
 meredam gelombang sepanjang lereng kemiringan. Pemecah

gelombang ini dibangun menggunakan batu alam atau batuan besar yang membentuk lereng yang bertindak sebagai penghalang gelombang. Jenis ini cenderung memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap erosi pantai.

3. Pemecah Gelombang Campuran

Pemecah gelombang campuran terdiri dari pemecah gelombang sisi tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang tumpukan batu. Bangunan ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.



Gambar 9. Pemecah gelombang campuran
Sumber : James Thoengsal. (2014). *Construction*. Pages.

Setiap tipe pemecah gelombang memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pemilihan tipe yang tepat harus mempertimbangkan karakteristik unik dari lokasi, tujuan perlindungan, biaya, faktor ekologis, dan kebutuhan teknis lainnya. Pemilihan jenis pemecah gelombang yang tepat tergantung pada kondisi lingkungan setempat, kebutuhan perlindungan, dan tujuan yang diinginkan. Faktor-faktor seperti karakteristik gelombang, kedalaman perairan, dan sifat material yang tersedia harus dipertimbangkan dalam merancang dan memilih jenis pemecah gelombang yang sesuai.

2.6. Analisis Numerik

Analisis numerik memiliki peran yang sangat penting untuk memastikan bahwa data yang telah di *input* sebelumnya dapat diimplementasikan dengan benar untuk memastikan bahwa tidak terjadi *error* dalam penyusunan dan memberikan hasil yang akurat dalam simulasi yang akan penelitian telah dilakukan dengan menggunakan model numerik pelajari interaksi dengan struktur permeabel. Karena interaksi struktur, gelombang awal ke arah laut dari struktur berpori yang datang dan gelombang pantulan. Sejumlah kecil energi



gelombang akan hilang di dalam struktur karena pecah dan disipasi, namun energi yang tersisa akan ditransmisikan ke luar struktur berpori (Armono et al., 2022). Analisis numerik memungkinkan pemrosesan data yang tepat dan akurat untuk mendukung proses simulasi. Dalam hal ini, analisis numerik dilakukan dengan bantuan suatu program analisis yang telah dibuat pada aplikasi Fortran sebelumnya. Data yang telah diinput pada Mifex dan disimpan dengan ekstensi .DAT akan diolah dalam program ini untuk mendapatkan *output* dengan ekstensi .OT6, .OT7, dan .OT8. Selanjutnya, data dengan ekstensi .OT6 akan di *copy* dan di edit dengan menambahkan data periode, tinggi, dan arah datang gelombang lalu di *save* dengan ekstensi .IPT. Data dengan ekstensi .IPT ini akan diolah pada program analisis yang kedua untuk mendapatkan *output* dengan ekstensi .OP6, .OP7, dan .OP8.

2.7. Transform

Transform merupakan suatu aplikasi yang digunakan untuk menampilkan *output* dari data yang telah dianalisis pada program sebelumnya menjadi bentuk gambar 2 dimensi. Data yang akan diolah dalam aplikasi ini adalah data dengan ekstensi file .OP7. Data dapat langsung dibuka di aplikasi Transform untuk selanjutnya dilakukan visualisasi data untuk menampilkan gambar bangunan pemecah gelombang, area pelabuhan dan daratan, serta kondisi perairan yang akan menunjukkan kontur tinggi gelombang di sekitar pelabuhan dan pemecah gelombang. Transformasi data menjadi gambar dua dimensi memungkinkan pembaca untuk dengan cepat memahami distribusi dan karakteristik topografi perairan sekitar pelabuhan serta pemecah gelombang. Visualisasi yang dihasilkan oleh Transform dapat memberikan interpretasi data dengan lebih efisien, sehingga memberikan kemudahan dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis bukti terkait kondisi area perairan di sekitar bangunan pemecah gelombang.

Output dari Transform ini akan memberikan informasi mengenai kontur tinggi gelombang di sekitar area pelabuhan dan pemecah gelombang dengan skala yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, tinggi gelombang datang yang seharusnya bernilai 2.47 meter akan ditampilkan sebagai 1.0 dalam skala visual. Skala ini merupakan rasio antara tinggi gelombang setelah melewati pemecah gelombang dan tinggi gelombang maksimum (H/H_{max}). Rasio tinggi gelombang merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur efektivitas kerja dari sebuah bangunan pemecah gelombang yang telah dibangun terhadap kemampuannya dalam melindungi area dibelakang dari bangunan pemecah gelombang (Husain, 2022). Semakin kecil nilai rasio ini, maka semakin baik kinerja pemecah gelombang dalam meredam tinggi gelombang dan energinya. Aplikasi ini juga dapat memberikan *output* dalam bentuk gambar dan grafik gelombang di lokasi penelitian.

