

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG (*BREAKWATER*) TANJUNG TEMBAGA KOTA PROBOLINGGO JAWA TIMUR

Riadlus Al Mahdi¹, Warsito², Anang Bakhtiar³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22001051002@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: warsito@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: anang.bakhtiar@unisma.ac.id

ABSTRAK

Tanjung Tembaga Breakwater on the north coast of Probolinggo has been damaged due to age, currents, large waves, and strong winds that can weaken its structure. This port, which was originally a coastal port, now has the status of an open seaport for international trade. Therefore, re-planning is needed including the type, structure, dimensions, stability of the breakwater, and budget costs. The first step is to calculate the 50-year return wave height, then determine the dimensions of the breakwater: height 10.72 m, peak width 4.23 m (tip) and 3.92 m (arm), with a slope of 1: 2. In the calculation of Resisting and Driving Moments on the Shear Plane. The FS value meets the required FS, namely $1.580 > 1.25$. Meanwhile, the analysis of rolling stability is not needed because both sides of the breakwater structure withstand the same pressure from the hydrostatic pressure of sea water. And the budget required for the construction is: Rp. 81,351,400,000.00

Kata Kunci: Breakwater, Tanjung Tembaga Port, Waves.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keamanan kapal yang berlabuh dipengaruhi oleh kondisi gelombang tenang dan kedalaman air memenuhi syarat. *Breakwater* memiliki fungsi untuk meredam intensitas gelombang yang memasuki Pelabuhan, sehingga dermaga dan Kawasan perairan sekitarnya tetap stabil dan aman dari erosi serta kerusakan infrastruktur [1].

Pelabuhan tanjung tembaga, selama masa penjajahan Belanda menjadi pusat ekspor komoditas seperti tembakau, gambir, dan gula ke eropa. Akan tetapi seiring berjalannya waktu, *breakwater* pada Pelabuhan tanjung tembaga mengalami kerusakan akibat usia dan semakin diperburuk oleh arus, gelombang besar, serta angin kencang yang mengurangi ketahanan struktur pelindung.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang maka identifikasi yang dapat diketahui dari studi ini adalah:

1. Perlu adanya perencanaan ulang pada bangunan pemecah gelombang

(*Breakwater*) Tanjung Tembaga dikarenakan sebagian tubuh bangunan hancur.

2. Perubahan bentuk desain awal *breakwater* yang menggunakan bentuk campuran menjadi bentuk sisi miring.
3. Pemilihan *breakwater* tipe sisi miring memberikan keunggulan dalam menyerap energi gelombang secara lebih efektif, mengurangi refleksi gelombang, material batu alam mudah di dapatkan di sekitar lokasi perencanaan.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa tinggi gelombang rencana 50 tahun yang bekerja pada bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) pada pelabuhan Tanjung Tembaga Kota Probolinggo?
2. Berapa dimensi struktur bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) pada Pelabuhan Tanjung Tembaga Kota Probolinggo?

3. Bagaimana stabilitas bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) terhadap geser dan guling?
4. Berapa RAB dari perencanaan bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) pada Pelabuhan Tanjung Tembaga Kota Probolinggo?

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan dalam penelitian ini, batasan-batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Perencanaan breakwater mencakup pemilihan tipe, bentuk, serta penentuan dimensi struktur yang akan diterapkan.
2. Perhitungan detail breakwater hanya dilakukan pada tipe yang dipilih.
3. Layout bangunan breakwater mengikuti yang lama.
4. Transport sedimen tidak dihitung.
5. Tidak melakukan analisis stabilitas konstruksi terhadap penurunan tanah (*settlement*) akibat keterbatasan data yang tersedia.
6. Tidak menyusun perencanaan detail *engineering design* (DED).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelabuhan

Pelabuhan berfungsi sebagai lokasi sandar kapal untuk menjalankan aktivitas bongkar muat barang. Secara umum, pelabuhan terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu:

1. Wilayah di perairan, yang meliputi alur dalam pelayaran, kolam pada pelabuhan, dan *breakwater* atau pemecah gelombang.
2. Wilayah di daratan, yang mencakup area terminal untuk mendukung operasional di pelabuhan.

2.2. Pasang Surut air laut

Perubahan naik dan turunnya permukaan laut yang terjadi secara berkala disebut pasang surut, yang disebabkan oleh gaya gravitasi dari benda langit seperti bulan dan matahari terhadap massa udara di bumi.

Dalam menganalisis data pasang surut, ada sejumlah komponen utama yang perlu diperhitungkan, yaitu LWS, MSL, HWL, dan MHWL.

2.3. Angin

Gelombang di laut sebagian besar terbentuk akibat pengaruh angin. Saat hembusan angin di permukaan laut yang awalnya tenang, terjadi gangguan yang memunculkan riak-riak kecil di permukaan air. Seiring meningkatnya kecepatan angin, riak perlahan berubah menjadi gelombang dengan ukuran yang lebih besar.

Untuk menyesuaikan atau mengoreksi perbedaan data angin yang diukur di darat dengan yang diukur di atas permukaan laut, dapat digunakan rumus berikut [2]:

$$R_L = \frac{U_w}{U_l} \dots\dots\dots (2.1)$$

Rumus untuk menghitung faktor tegangan angin U_A yang direkomendasikan oleh SPM (1984) adalah sebagai berikut [2]:

$$U_A = 0,71 \times U \times 1,23 \dots\dots\dots (2.2)$$

2.4. Data Bathymetri

Peta bathymetri menampilkan kontur pada kedalaman dasar laut dengan acuan pada posisi 0,00 m LWS (*Low Water Spring*). Peta ini berperan penting dalam menunjukkan kedalaman laut di sepanjang jalur pelayaran, sehingga membantu memastikan kapal dapat bergerak dengan aman tanpa risiko kandas.

Data dari peta bathymetri ini juga dimanfaatkan untuk menganalisis kedalaman atau kemiringan dasar laut yang paling sesuai. Informasi tersebut berguna dalam merancang penempatan dermaga secara tepat dan efisien, baik dari segi keselamatan maupun operasional pelabuhan.

2.5. Gelombang

Tinggi gelombang (H) yang dihadapi kapal dapat mempengaruhi kelancaran aktivitas pelabuhan, terutama bongkar muat barang. Dalam perencanaan pelabuhan, gelombang merupakan faktor utama yang menentukan tata letak atau layout. Memahami karakteristik gelombang dan dampaknya membantu dalam merancang struktur yang mampu menahan atau mengurangi dampak gelombang, memastikan keamanan dan efisiensi operasional pelabuhan.

2.6. Deformasi Gelombang

Ketika gelombang bergerak ke pantai,

bentuk atau deformasi gelombang dapat terjadi akibat refleksi, difraksi, refraksi gelombang, dan gelombang pecah.

Persamaan untuk menentukan tinggi gelombang akibat difraksi dapat dinyatakan sebagai berikut [2]:

$$H_A = K' \cdot H_P \dots\dots\dots (2.3)$$

Jika gelombang diamati di laut dalam, maka [2]:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \dots\dots\dots (2.4)$$

Tinggi gelombang pecah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [2]:

$$\frac{H_b}{H'_{0}} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H'_{0}}{L_0}\right)^{1/3}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dalam mencari gelombang pecah di berikan oleh rumus berikut [2]:

$$\frac{d_b}{H'_{0}} = \frac{1}{3 - \left(\frac{aH_b}{gT^2}\right)} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.7. Analisis Gelombang

Parameter utama yang dianalisis adalah *wave height*, *wave period*, dan *wavelength*, serta arah datang gelombang (*wave direction*). Bentuk daratan di sekitar area pembentukan gelombang dapat mempengaruhi pola dan arah gelombang yang dihasilkan, menciptakan gelombang dengan berbagai arah dan sudut seiring dengan interaksi angin dan permukaan laut [2].

$$F_{eff} = \frac{\sum (X_i \cdot \cos \alpha_i)}{\sum \cos \alpha_i} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.8. Kolam Pelabuhan

Kolam pelabuhan harus memiliki kedalaman yang cukup dan perairan yang tenang agar kapal dapat sandar dengan aman serta mendukung kelancaran proses bongkar muat barang dan penurunan penumpang. Sementara itu, untuk area kolam putar, dibutuhkan luas minimal berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar 1,5 kali panjang keseluruhan kapal (L_{oa}) dari kapal terbesar yang akan menggunakan pelabuhan tersebut.

2.9. Kapal Yang Berlabuh

Untuk pelabuhan yang melayani kapal nelayan dan kegiatan bongkar muat barang, perencanaan *breakwater* harus mempertimbangkan ukuran kapal yang lebih kecil serta kebutuhan spesifik untuk operasi bongkar muat.

2.10. Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Struktur *breakwater* berfungsi sebagai pembatas antara perairan pelabuhan dan laut lepas, menjaga agar kondisi air di dalam pelabuhan tetap tenang dan stabil.

Dengan adanya pemecah gelombang, aktivitas seperti bongkar muat barang serta penurunan armada kapal dapat dilakukan dengan lebih efisien dan minim risiko, meningkatkan keselamatan operasional di area pelabuhan.

2.11. Stabilitas Batu Lapis Pelindung

Kestabilan bobot batu pelindung dihitung dengan menggunakan persamaan Hudson [2].

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.12. Dimensi Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Perencanaan pemecah gelombang dilaksanakan melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Elevasi puncak pemecah gelombang
Bilangan *Irribaren* dengan persamaan berikut [2]:

$$I_r = \frac{tg \theta}{(H/L)^{0,5}} \dots\dots\dots (2.10)$$

dihitung menggunakan rumus berikut ini [2]:

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2.11)$$

2. Tebal Lapisan
dihitung menggunakan rumus berikut [2]:

$$t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2.12)$$

3. Jumlah Butir Batu
Jumlah butir batu dapat dihitung dengan rumus [2]:

$$N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.13. Struktur Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Breakwater memiliki beberapa bentuk dasar yang dapat diterapkan, antara lain:

1. Struktur Miring dengan Material Batu Alam. Gelombang diarahkan melalui dinding miring yang tersusun dari batuan

- alami, yang dikenal sebagai rubble mound.
- Penggunaan Material Buatan. Selain batu alam, material yang digunakan dapat digantikan dengan elemen buatan, seperti beton bertulang, yang dirancang untuk memiliki ketahanan serupa.
- Konstruksi Dinding Tegak. Salah satu metode lainnya adalah dengan membangun struktur berbentuk dinding tegak (wall type) yang difungsikan sebagai pemecah gelombang.
- Dinding dengan Penyerap Energi Gelombang. Untuk meningkatkan efektivitas, pemecah gelombang dapat dilengkapi dengan wave absorber, yang berfungsi untuk meredam energi gelombang sebelum mencapai pantai.

2.14. Stabilitass Breakwater Terhadap Geser Dan Guling

Struktur breakwater memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap risiko kelongsoran maupun pergeseran.

Menurut [3] dalam bukunya yang berjudul *Perencanaan Pelabuhan*, stabilitas suatu struktur breakwater dapat terjamin apabila memiliki Faktor Keamanan (FS) = $\frac{Mr}{Md} > 1,25$.

Analisa stabilitas ini dilakukan dengan metode irisan stabilitas lereng, yaitu menghitung nilai Mr dan Md dengan rumus [3]):

$$FS = \frac{Mr}{Md} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$FS = \frac{\sum(c.\Delta L_n + W \cos \alpha_n \times \tan \phi)}{\sum(W \sin \alpha_n)} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.15. Analisa Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) mengacu pada berbagai standar dan pedoman yang berlaku, seperti Standar Satuan Harga Bahan Bangunan dan Upah Tahun 2024 untuk wilayah Kota Probolinggo, serta Kriteria Perencanaan Pantai 2023.

Pada penyusunan RAB, setiap komponen pekerjaan dihitung dengan menambahkan overhead dan keuntungan sebesar 15% dari total biaya yang telah dihitung. Di sisi lain, juga diterapkan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 12%.

3. METODOLOGI PENELITIAN

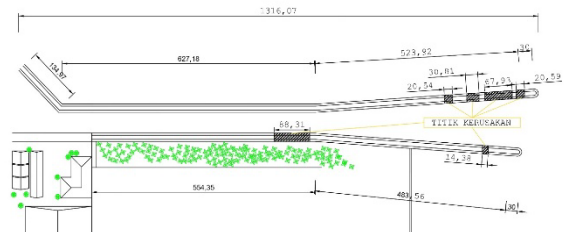
3.1 lokasi penelitian

Lokasi breakwater ini terletak di perairan sisi utara Probolinggo, Pelabuhan Probolinggo dikenal dengan sebutan Pelabuhan Tanjung Tembaga.



Gambar 1. Lokasi Perencanaan Breakwater Tanjung Tembaga Probolinggo.

Sumber: Google Earth, 2024.



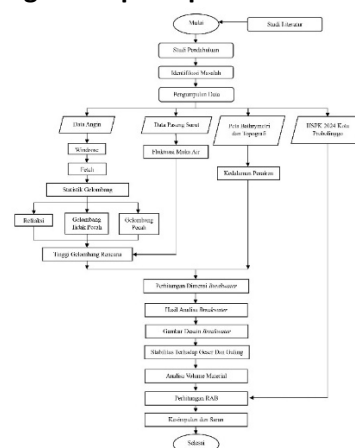
Gambar 2. Skema Breakwater Tanjung Tembaga Probolinggo.

Sumber: AutoCAD, 2019

3.2 Analisis data

Data yang diperoleh untuk perencanaan pengaman Pantai meliputi analisis data angin, analisis gelombang, analisis pasang surut, analisis bathimetri, analisis refraksi, perhitungan dimensi breakwater, perhitungan volume, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

3.3 Bagan alir pada penelitian



Gambar 1. Bagan Alir pada Penelitian

Sumber: Dokumen Pribadi, 2024

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tanjung Tembaga

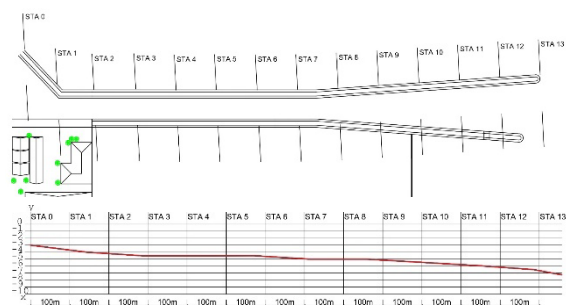
Breakwater Tanjung Tembaga terletak di pantai utara Kota Probolinggo, tepatnya di perairan Pelabuhan Tanjung Tembaga, Provinsi Jawa Timur, dengan koordinat geografis 7° 43' 0" LS dan 113° 13' 0" BT

4.2 Data Bathymetri

Peta bathymetri diperoleh dari peta hidrografi didapat kondisi kedalaman di perairan utara Kota Probolinggo cenderung landau dengan kemiringan rata-rata sekitar 1:20.



Gambar 3. Peta Bathymetri Perairan Tanjung Tembaga.
Sumber: *Running software Arcgis*



Gambar 4. Kemiringan Dasar Laut Perairan Tanjung Tembaga.
Sumber: *AutoCAD, 2019*

4.3 Pasang Surut

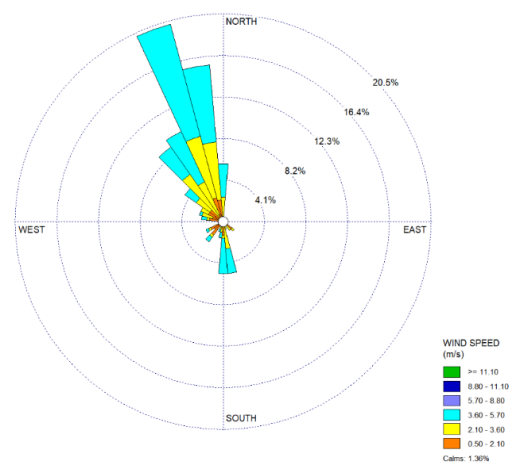
Data pasang surut yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi pada November 2023 telah diproses untuk mendapatkan informasi tentang pasang surut harian maksimum dan minimum. Berdasarkan hasil pencatatan, kondisi pasang surut tertinggi selama periode tersebut tercatat terjadi pada November 2023, sebagaimana dilaporkan oleh BMKG Kota Probolinggo dengan diperoleh data sebagai berikut:

F	= 0,651	
MSL	= 289,33 cm	= 2,893 m
HHWL	= 340,18 cm	= 3,402 m
LLWL	= 35,761 cm	= 0,358 m

Karena nilai F (bilangan Formzhall) berada dalam kisaran 0,26 hingga 1,50, maka pola pasang surut air laut di Pelabuhan Tanjung Tembaga diklasifikasikan sebagai pasang surut campuran, dengan kecenderungan dominan terhadap tipe ganda. Dalam perencanaan ini, metode yang diterapkan untuk menganalisis pasang surut adalah metode admiralty.

4.4 Analisa Data Angin

Data angin dimanfaatkan dalam analisis terkait arah serta ketinggian gelombang yang berpengaruh terhadap kondisi perairan. Parameter utama yang diperlukan dalam analisis ini mencakup arah serta kecepatan angin, yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi untuk periode tahun 2023. Dan running software windrose guna memvisualisasikan pola angin yang terjadi.



Gambar 5. Windrose Tahun 2023.
Sumber: *Running Software WRPLOT*

Berdasarkan diagram windrose yang diperoleh dan dengan mempertimbangkan pantai yang menghadap ke utara, angin dominan yang digunakan dalam analisis memiliki kecepatan rata-rata sebesar 5,92 knot.

4.5 Fetch

Fetch merujuk pada panjang wilayah perairan dengan angin bertiup pada kecepatan dan arah yang konstan. Fetch memiliki batas yang ditentukan oleh keberadaan daratan di sekitarnya.

Untuk menentukan panjang fetch secara akurat, proses perhitungannya dilakukan dengan bantuan Google Earth, yang mampu

memberikan tingkat presisi tinggi dalam pengukuran panjang fetch di suatu lokasi. Berikut tabel rekapitulasi dari analisis fetch:

Tabel 1. Hasil Panjang Fetch Efektif.

α	$\cos \alpha$	Xi					Xi $\times \cos \alpha$				
		B	BL	U	TL	T	B	BL	U	TL	T
42	0,748	2,05	4,55	61,7	56,4	83	1,523	3,381	45,843	41,905	61,669
36	0,809	2,38	12,9	78,4	57	98,1	1,925	10,436	63,426	46,113	79,363
30	0,866	2,83	16	70,5	58,7	136	2,451	13,856	61,053	50,834	117,776
24	0,914	3,22	17,6	64,4	60,8	160	2,943	16,086	58,862	55,571	146,24
18	0,951	4,49	42,5	60	63	230	4,27	40,418	57,06	59,913	218,73
12	0,978	4,62	49,7	57	6,27	289	4,518	48,607	55,746	6,132	282,642
6	0,995	4,83	54,2	58	6,75	29,6	4,806	53,929	57,71	6,716	29,452
0	1	4,8	60,3	46	93,6	25,6	4,8	60,3	46	93,6	25,6
6	0,995	4,95	67,2	56,8	110	17,5	4,925	66,864	56,516	109,45	17,413
12	0,978	13,1	74,7	58,5	828	4,25	12,812	73,057	57,213	809,784	4,157
18	0,951	16,9	67	60	138	4,24	16,072	63,717	57,06	131,238	4,032
24	0,914	41,2	62,2	61,6	184	4,19	37,657	56,851	56,302	168,176	3,83
30	0,866	45,2	58,2	6,1	282	2,48	39,143	50,401	5,283	244,212	2,148
36	0,809	51,5	57	6,43	1185	2,12	41,664	46,113	5,202	958,665	1,715
42	0,743	56,6	56,2	90,8	27,8	1,84	42,054	41,757	67,464	20,655	1,367
Total	13,512						221,563	645,711	750,74	2802,97	996,133
Fetch Efektif							16,397	869,141	55,561	207,443	73,722

Sumber: Analisis, 2024

4.6 Gelombang

Menurut data gelombang dari BMKG Kota Probolinggo, kecepatan gelombang maksimum yang tercatat di Pelabuhan Tanjung Tembaga, Kota Probolinggo, pada tahun 2014 mencapai 9.465 knot. Berikut ini adalah gelombang tinggi maksimum yang dihitung menggunakan metode SMB.

Tabel 2. Tinggi Gelombang Maksimum Metode SMB Arah Utara

Tahun	Bulan	Kec. Max		Arah		t	Hmo	Tm
		(Knot)	(m/s)	(°)	Mata Angin	(jam)	(m)	(s)
2014	Des	9,465	4,869	341,691	U	5,65	1,47	5,48
2015	Feb	9,342	4,806	347,147	U	5,49	1,6	5,63
2016	Apr	9,513	4,894	347,147	U	5,72	1,42	5,41
2017	Feb	9,087	4,675	352,068	U	5,78	1,37	5,36
2018	Sep	9,221	4,744	337,635	U	5,78	1,37	5,36
2019	Jul	9,776	5,029	341,691	U	5,61	1,5	5,52
2020	Apr	7,78	4,002	337,635	U	5,84	1,33	5,3
2021	Ags	8,001	4,116	358,311	U	6	1,23	5,16
2022	Mei	8,333	4,287	347,147	U	5,89	1,3	5,25
2023	Jul	7,766	3,995	337,635	U	5,84	1,33	5,3

Sumber: perhitungan, 2024

Tabel 3. Tinggi Gelombang Maksimum Metode SMB Arah Barat Laut

Tahun	Bulan	Kec. Max		Arah		t	Hmo	Tm
		(Knot)	(m/s)	(°)	Mata Angin	(jam)	(m)	(s)
2014	Jun	6,391	3,288	353,254	BL	5,34	1,2	4,99
2015	Okt	9,694	4,987	298,959	BL	5,07	1,4	5,26
2016	Nov	8,055	4,144	335,066	BL	5,27	1,24	5,05
2017	Okt	8,751	4,502	319,982	BL	5,22	1,28	5,1
2018	Ags	8,993	4,626	319,982	BL	5,17	1,31	5,15
2019	Jan	8,956	4,607	391,982	BL	5,18	1,31	5,14
2020	Jan	9,663	4,971	309,378	BL	5,14	1,34	5,18
2021	Okt	9,288	4,778	322,502	BL	5,21	1,28	5,11
2022	Okt	9,344	4,807	313,203	BL	5,2	1,29	5,12
2023	Okt	9,149	4,707	303,007	BL	5,12	1,36	5,2

Sumber: perhitungan, 2024

Setelah mendapatkan data tinggi gelombang, langkah selanjutnya adalah menghitung tinggi gelombang rencana dengan mempertimbangkan periode ulang gelombang dengan menggunakan pendekatan statistik,

salah satunya adalah Metode Weibull.

Tabel 4. Tinggi Gelombang Periode Ulang Metode Weibull Arah Utara

Periode ulang	y_r	H_{sr}	σ_{sr}	σ_r	$H_{sr} - (1,28 \sigma_r)$	$H_{sr} + (1,28 \sigma_r)$
	th	(m)			(m)	(m)
2	0,832	2,191	0,333	0,073	2,099	2,286
5	1,268	2,439	0,399	0,046	2,38	2,498
10	1,517	2,58	0,451	0,038	2,531	2,628
25	1,794	2,736	0,517	0,017	2,715	2,757
50	1,977	2,839	0,564	0,012	2,824	2,854
100	2,145	2,934	0,609	0,013	2,917	2,95

Sumber: perhitungan, 2024

Tabel 5. Tinggi Gelombang Periode Ulang Metode Weibull Arah Barat Laut

Periode ulang	y_r	H_{sr}	σ_{sr}	σ_r	$H_s - (1,28 \sigma_r)$	$H_s + (1,28 \sigma_r)$
	th	(m)			(m)	(m)
2	0,832	1,61	0,333	0,035	1,565	1,654
5	1,268	1,704	0,399	0,025	1,672	1,736
10	1,517	1,758	0,451	0,019	1,734	1,782
25	1,794	1,818	0,517	0,006	1,811	1,826
50	1,977	1,858	0,564	0,006	1,85	1,866
100	2,145	1,894	0,609	0,013	1,878	1,911

Sumber: perhitungan, 2024

4.7 Analisa Refraksi

Fenomena refraksi terjadi ketika gelombang mengalami pembelokan akibat variasi kontur dasar laut. Pembelokan ini, bersama dengan fenomena pendangkalan gelombang (wave shoaling), berperan dalam menentukan perubahan tinggi serta arah gelombang. Pada proses perhitungannya, diterapkan breaking index dengan nilai sebesar 0,7.

Tabel 6. Perhitungan Refraksi Gelombang Pada Periode 50 Tahun Arah Utara

α_o	15	15	15	15
H_{50}	2,839	2,839	2,839	2,839
T	5,63	5,63	5,63	5,63
d	5	4	3	2
L_o	49,447	49,447	49,447	49,447
C_o	8,783	8,783	8,783	8,783
$\frac{d}{L_o}$	0,101	0,081	0,061	0,04
$\frac{d}{L}$	0,14185	0,12412	0,10529	0,08329
L	35,249	32,227	28,493	24,012
C	6,261	5,724	5,061	4,265
$\sin \alpha_o$	0,259	0,259	0,259	0,259
$\sin \alpha$	0,185	0,169	0,149	0,126
α	10,602	9,729	8,568	7,238
Kr	0,991	0,989	0,988	0,986
Ks	0,932	0,953	0,991	1,064
H	2,622	2,676	2,78	2,978

Sumber: perhitungan, 2024

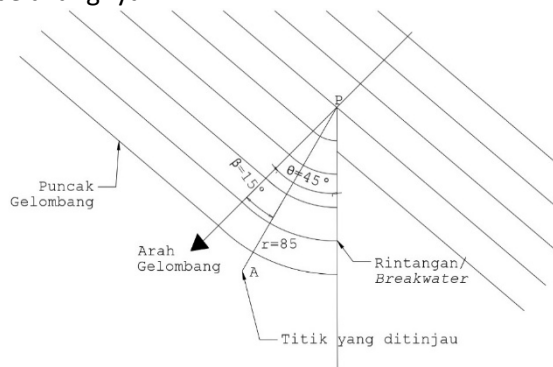
Tabel 7. Perhitungan Refraksi Gelombang Pada Periode 50 Tahun Arah Barat Laut

α_o	45	45	45	45
H_{50}	1,858	1,858	1,858	1,858
T	5,26	5,26	5,26	5,26
d	5	4	3	2
L_o	43,161	43,161	43,161	43,161
C_o	8,206	8,206	8,206	8,206
$\frac{d}{L_o}$	0,116	0,093	0,07	0,046
$\frac{d}{L}$	0,15473	0,13485	0,11394	0,08991
L	32,314	29,663	26,33	22,244
C	6,143	5,639	5,006	4,229
$\sin \alpha_o$	0,707	0,707	0,707	0,707
$\sin \alpha$	0,529	0,486	0,431	0,364
α	32,005	29,143	25,594	21,407
Kr	0,913	0,899	0,885	0,871
Ks	0,922	0,939	0,971	1,038
H	1,564	1,568	1,597	1,68

Sumber: perhitungan, 2024

4.8 Analisa Difraksi

Gelombang akan mengalami difraksi ketika menemui suatu penghalang, sehingga gelombang tersebut menyebar di sekitar sisi penghalang dan menjangkau area terlindung di belakangnya.



Gambar 6. Difraksi Gelombang Di Belakang Rintangan

Sumber: AutoCAD, 2019

Dari perhitungan difraksi di dapatkan jarak titik A sebesar 2m. dan tinggi gelombang pada titik A sebesar 0,813 m arah utara.

4.9 Gelombang Pecah

Perhitungan gelombang pecah dilakukan dengan memperhitungkan dua arah angin dominan, yaitu dari Utara dan Barat Laut. Gelombang yang datang dari kedua arah ini memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik gelombang di wilayah studi, terutama selama periode ulang 50 tahun.

Berikut hasil perhitungan gelombang pecah.

Tabel 8. Perhitungan Gelombang Pecah Pada Periode 50 Tahun

H0	Kr	H'o	$\frac{H'o}{g \times T^2}$	$\frac{H_b}{H'o}$	Hb	$\frac{H_b}{g \times T^2}$	$\frac{d_b}{H_b}$	db
1,391	0,991	1,378	0,004	1,3	1,808	0,005	1,02	1,844

Sumber: perhitungan, 2024

4.10 Perencanaan Struktur Breakwater

Perencanaan bangunan pemecah gelombang pada Pelabuhan Tanjung Tembaga Kota Probolinggo menggunakan struktur breakwater sisi miring.

1. Tinggi gelombang rencana

Perhitungan elevasi muka air laut rencana dilakukan dengan menjumlahkan beberapa komponen, yaitu HHWL, Sw, SLR, dan Δh (kenaikan lokal muka air).

Tabel 9. Perhitungan Elevasi Muka Air Rencana

Hb	T	db	Sb	Sw	HHWL	SLR	Δh	Elevasi Rencana
(m)	(s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,808	5,63	1,844	-0,045	0,269	3,402	0,0042	0,0026	3,659

Sumber: perhitungan, 2024

2. Run Up Gelombang

Kemiringan breakwater ditentukan dengan perbandingan 1:2. Sebelum menghitung run-up gelombang, perlu dilakukan perhitungan awal terhadap nilai Ir (Bilangan Iribaren).

Tabel 10. Perhitungan Run Up Gelombang

H (m)	L_o (m)	Tg θ	Ir	$\frac{R_u}{H}$	R_u (m)
1,391	49,447	0,5	2,981	1,125	1,564

Sumber: perhitungan, 2024

4.11 Dimensi Struktur Breakwater

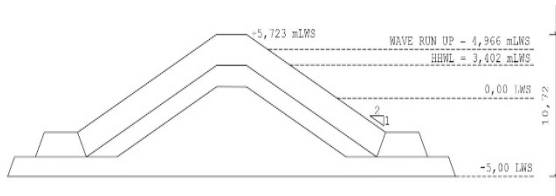
Perencanaan pemecah gelombang mencakup beberapa aspek penting, antara lain:

1. Elevasi Puncak Pemecah Gelombang menentukan run-up gelombang pada struktur.

Tabel 11. Tinggi Breakwater

DWL (m)	R_u (m)	Fb (m)	Elevasi Puncak (m)	Elevasi dasar Laut	Tinggi Breakwater
3,659	1,564	0,5	5,723	-5	10,723

Sumber: perhitungan, 2024



Gambar 7. Difraksi Gelombang pada Belakang Rintangan
Sumber: AutoCAD, 2019

2. Stabilitas Batu Lapis Pelindung
Perhitungan ini dilakukan untuk memastikan stabilitas struktur.

Tabel 12. Berat Batu Lapis Breakwater

Primary Layer	γ_a	γ_r	K_D	$\cot\theta$	W (ton)
Lengan bangunan	1,03	2,65	2	2	3,902
Ujung (kepala) bangunan	1,03	2,65	1,6	2	4,877
Secondary Layer					W/10
Lengan bangunan	1,03	2,65	2	2	0,39
Ujung (kepala) bangunan	1,03	2,65	1,6	2	0,487
Core Layer					W/200
Lengan bangunan	1,03	2,65	2	2	0,019
Ujung (kepala) bangunan	1,03	2,65	1,6	2	0,024

Sumber: perhitungan, 2024

3. Lebar Puncak Pemecah Gelombang

Tabel 13. Lebar Puncak Breakwater

Primary Layer	n	γ_r	K_A	W (ton)	B (m)
Lengan bangunan	3	2,65	1,15	3,902	3,924
Ujung (kepala) bangunan	3	2,65	1,15	4,877	4,227

Sumber: perhitungan, 2024

Tabel 14. Lebar Dasar Breakwater

Primary Layer	B (m)	Slope	Tinggi breakwater	B dasar (m)
Lengan bangunan	3,924	2	10,72	46,8
Ujung (kepala) bangunan	4,227	2	10,72	47,11

Sumber: perhitungan, 2024

4. Tebal Lapisan

Tabel 15. Tebal lapisan Breakwater

Primary Layer	n	γ_r	K_A	W (ton)	t (m)
Lengan bangunan	2	2,65	1,15	3,902	2,616
Ujung (kepala) bangunan	2	2,65	1,15	4,877	2,818
Secondary Layer	n	γ_r	K_A	W (ton)	t (m)
Lengan bangunan	3	2,65	1,15	0,39	1,821
Ujung (kepala) bangunan	3	2,65	1,15	0,487	1,961

Sumber: perhitungan, 2024

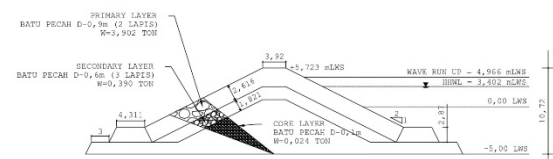
5. Jumlah Butir Batu

Tabel 16. Jumlah Butir pelindung Breakwater

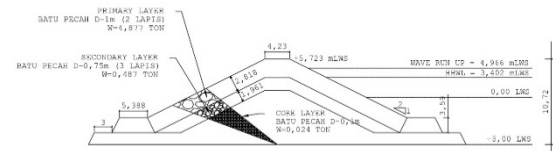
Primary Layer	A (m ²)	n	γ_r	K_A	P	W (ton)	N
Lengan bangunan	10	2	2,65	1,15	37	3,902	11,195
Ujung (kepala) bangunan	10	2	2,65	1,15	37	4,877	9,648
Secondary Layer							
Lengan bangunan	10	3	2,65	1,15	37	0,39	51,982
Ujung (kepala) bangunan	10	3	2,65	1,15	37	0,487	44,827

Sumber: perhitungan, 2024

1. Gambar Perencanaan

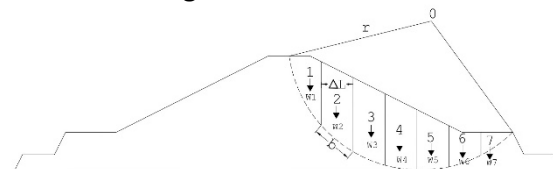


Gambar 8. Gambar Perencanaan Lengan Breakwater
Sumber: AutoCAD, 2019

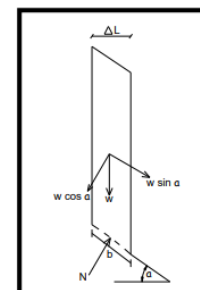


Gambar 9. Gambar Perencanaan ujung Breakwater
Sumber: AutoCAD, 2019

2. Stabilitas Breakwater Terhadap Geser Dan Guling



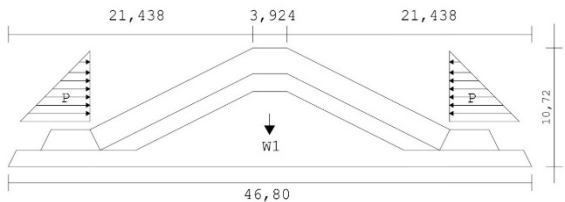
Gambar 10. Resisting Dan Driving Momen Pada Bidang Geser
Sumber: AutoCAD, 2019



Gambar 11. Detail Irisan Pada Breakwater
Sumber: AutoCAD, 2019

Untuk hasil perhitungan untuk *Resisting* dan *Driving Momen* dapat disimpulkan bahwa

bidang geser memenuhi FS syarat yaitu $1,580 > 1,25$. Sedangkan untuk analisa stabilitas guling tidak diperlukan karena tekanan hidrostatik air laut yang bekerja pada kedua sisi struktur breakwater berada dalam kondisi seimbang. Berikut ini adalah ilustrasi gaya-gaya yang mempengaruhi struktur breakwater yang direncanakan:



Gambar 12. Gaya Gaya Yang Bekerja Pada Breakwater Rencana
Sumber: AutoCAD, 2019

Gambar di atas menunjukkan bahwa tekanan pada kedua sisi struktur berada dalam kondisi seimbang, sehingga pemecah gelombang yang dirancang tetap stabil dan tidak mudah mengalami kegagalan guling.

3. Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan rencana anggaran biaya (RAB) didasarkan pada Standar Satuan Harga Bahan Bangunan dan Upah Tahun 2024 untuk wilayah Kota Probolinggo. Setiap item pekerjaan dalam RAB sudah memperhitungkan tambahan overhead dan keuntungan sebesar 15% dari total biaya yang telah direncanakan. Setelah menentukan harga satuan serta menambahkan overhead dan profit, langkah berikutnya adalah menghitung pajak. Pajak Pertambahan Nilai (PPn) sebesar 12% dikenakan terhadap total biaya pembangunan yang telah dihitung. Berikut rekapitulasi rencana anggaran biaya breakwater Tanjung Tembaga:

Tabel 17. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya		
NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA PEKERJAAN (Rp)
1	PEKERJAAN PERSIAPAN	26.100.000,00
2	PEKERJAAN BREAK WATER PRIMARY LAYER	47.104.923.060,00
3	PEKERJAAN BREAK WATER SECONDARY LAYER	25.555.800.200,00
4	PEKERJAAN BREAKWATER (CORE LAYER)	1.258.409.138,54
5	PEKERJAAN LAIN - LAIN	10.600.000,00
	JUMLAH	73.955.832.398,54
	PPN 12 %	7.395.583.239,85
	JUMLAH	81.351.415.638,40
	DIBULATKAN	81.351.400.000,00

Sumber: perhitungan, 2024

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan bangunan pelindung Pantai (breakwater) Pelabuhan Tanjung Tembaga mendapat Kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil peramalan gelombang dengan periode ulang 50 tahun menggunakan metode Weibull menunjukkan tinggi gelombang sebesar 2,839 meter untuk arah utara dan 1,858 meter untuk arah barat laut. Adapun rencana tinggi gelombang di depan pemecah gelombang, yang dihitung dari hasil refraksi gelombang dengan periode ulang yang sama, adalah sebesar 2,622 meter untuk arah utara dan 1,564 meter untuk arah barat laut.
2. Dari perhitungan didapat dimensi breakwater rencana dengan tinggi bangunan 10,72 m, lebar puncak 4,23 m (ujung / head) dan 3,92 (lengan /trunk), dan kemiringan 1:2. Berikut spesifikasi layer pada bangunan breakwater:
A. Breakwater bagian ujung (head):
Primary layer = batu pecah (W = 4,877 ton; d = $\pm$ 1m) dan t = 2,818m.
Secondary layer = batu pecah (W = 0,487 ton; d = $\pm$ 0,75m) dan t = 1,961m.
Core layer = batu pecah (W = 0,020-0,025 ton; d = $\pm$ 0,1m).
B. Breakwater bagian lengan (trunk):
Primary layer = batu pecah (W = 3,902 ton; d = $\pm$ 0,9m) dan t = 2,616m.
Secondary layer = batu pecah (W = 0,390 ton; d = $\pm$ 0,6m) dan t = 1,821m.
Core layer = batu pecah (W = 0,015-0,020 ton; d = $\pm$ 0,1m).
3. Setelah menghitung Momen Penahan (Resisting) dan Momen Penggerak (Driving) pada bidang geser, diperoleh nilai FS yang memenuhi persyaratan, yaitu $1,580 > 1,25$. Sementara itu, analisis stabilitas terhadap guling tidak perlu dilakukan karena kedua sisi struktur breakwater menerima tekanan hidrostatik udara laut yang seimbang.
4. Perencanaan breakwater di Tanjung Tembaga ini, total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan adalah sebesar: Rp 81.351.400.000,00

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari tugas akhir ini, dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada perencanaan bangunan pemecah gelombang selanjutnya, disarankan agar analisis karakteristik tanah di lokasi juga diperhitungkan. Analisis ini penting untuk stabilitas struktur yang akan dibangun serta memastikan fondasi dapat menahan beban dan tekanan gelombang dengan maksimal.
2. Meskipun pemecah gelombang dengan sisi miring lebih mudah diperbaiki, pemeliharaan rutin tetap diperlukan. Hal ini disebabkan oleh potensi kerusakan yang dapat terjadi secara bertahap seiring waktu akibat paparan gelombang dan

kondisi lingkungan.

3. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan dampak dan efek dari adanya bangunan breakwater. Serta dapat menganalisis sedimen di sekitar breakwater agar tidak terjadi pendangkalan dasar laut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bakhtiar, A., Ingsih, I. s., & Winaktu, G. (2022). Analisa Perencanaan Pemecah Gelombang di Pelabuhan Perikanan Nusantara. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-Journal)*, 12(2), Article 2.
- [2] Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset.
- [3] Kramadibrata. Soedjono. (1985). *Perencanaan Pelabuhan Bandung* Ganeca Exact