

DESAIN PEMECAH GELOMBANG DENGAN ARMOR BATU DAN TIANG PANCANG

BREAKER DESIGN WITH STONE ARMOR AND PILLERS

Basirun

Universitas Muhammadiyah Tangerang, Jl. Perintis Kemerdekaan 1 No. 33 Cikokol Tangerang
e-mail: basi.abdurrahman@gmail.com

Received: 23 Februari 2022

Accepted: 1 Maret 2022

Abstract

Breakwater at harbor is built to reduce wave push to ship when docked/ moored beside of structure. In this study will design and analysis of usage comparison for Breakwater Construction of Stone Armor and Pile to get efficient construction both cost and method of implementation. This study was conducted by planning the construction layout, construction type, construction dimensions up to total financing. Wave height in the harbor pool as high as 3.90 meters which exceeds the requirement (0.3 meters) so it requires a breakwater to dampen of incoming wave. Data needed for this design: bathymetric map, wind data, wave data, current data, tidal data, and soil stratigraphy data (soil mechanics). The data used are primary data and secondary data. Design result show that breakwater with upright pile is more efficient than stone armor (natural stone) with sloping walls with a financing ratio of up to 35%.

Keywords: breakwaters, harbors, stone armor, piles

Abstrak

Pemecah gelombang di pelabuhan dibangun berfungsi untuk mengurangi dorongan gelombang terhadap kapal saat merapat/ ditambatkan di sisi dermaga. Dalam studi ini dilakukan desain dan analisis perbandingan penggunaan konstruksi Armor Batu dan Tiang Pancang dalam rangka mendapatkan konstruksi yang efisien baik biaya maupun metode pelaksanaannya. Studi ini dilakukan dengan merencanakan layout konstruksi, tipe konstruksi, dimensi konstruksi sampai dengan total pembiayaan. Tinggi gelombang pada kolam pelabuhan setinggi 3,90 meter yang melebihi syarat (0,3meter) sehingga membutuhkan sebuah pemecah gelombang untuk meredam gelombang datang. Data yang dibutuhkan pada perancangan ini: peta batimetri, data angin, data gelombang, data arus, data pasang surut, dan data stratigrafi tanah (mekanika tanah). Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Hasil perancangan diperoleh bahwa pemecah gelombang dengan tiang pancang tegak lebih efisien dibandingkan armor batu (batu alam) berdinding miring dengan Rasio pembiayaan sampai dengan 35%

Kata Kunci: pemecah gelombang, pelabuhan, armor batu, tiang pancang

PENDAHULUAN

Di Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Barat direncanakan dibangun Pelabuhan penyeberangan yang didahului oleh pembangunan konstruksi pemecah gelombang (*Breakwater*). Pemecah gelombang yang dibangun berfungsi untuk mengurangi dorongan

gelombang terhadap kapal saat merapat/ ditambahkan di sisi dermaga. Dalam studi ini akan dilakukan desain/ analisis parsial perbandingan penggunaan konstruksi Armor Batu dan Tiang Pancang dalam rangka mendapatkan konstruksi yang efisien baik biaya maupun metode pelaksanaannya.

METODE PENELITIAN

Metode analisis detail konstruksi yang digunakan dalam studi ini dilakukan dengan dua pendekatan. Untuk perhitungan pemecah gelombang dengan Armor Batu dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet excel* merujuk literatur terkait. Sedangkan untuk pemecah gelombang dengan Tiang Pancang akan dilakukan dengan pendekatan menggunakan *Software SAP2000* dan *spreadsheet excel* (sebagai contoh bagian penulangan kepala tiang).

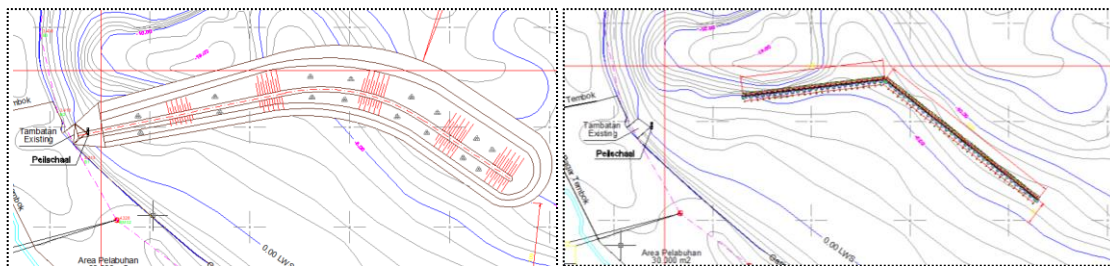
HASIL DAN PEMBAHASAN

Alternatif Bangunan Pemecah Gelombang

Pengujian Alternatif dengan Model Matematik

Dalam Studi ini diusulkan 2 alternatif Layout pemecah gelombang diantara nya:

1. Alternatif 1 (Armor Batu) total Panjang = 460 m
2. Alternatif 2 (Tiang Pancang) total Panjang = 345 m



Gambar 1 Layout Pemecah Gelombang Armor Batu dan Tiang Pancang

Kedua jenis alternatif tersebut akan dibandingkan terhadap berbagai aspek dan parameter sehingga pada akhirnya akan diketahui alternatif mana yang paling unggul. Pada pembahasan kali ini setiap alternatif akan ditinjau dengan melakukan pemodelan, sehingga akan diketahui alternatif mana yang paling efektif dari segi teknis. Untuk proses pemilihan selanjutnya akan dilakukan penilaian dan pembobotan untuk masing-masing alternatif sehingga akan diketahui alternatif yang paling unggul baik dari segi teknis maupun non teknis.

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Pemodelan Gelombang dari Berbagai Alternatif

No	Arah	Gelombang di Laut T 50 Tahunan (cm)	Kondisi Gelombang di Area Kolam Pelabuhan T 50 Tahunan (cm)		
			Eksisting (tanpa Pemecah Gelombang)	Rencana Pemecah Gelombang 1	Rencana Pemecah Gelombang 2
1	Utara	260	45	15	30
2	Timur Laut	390	100	20	40
3	Timur	390	100	20	40
4	Tenggara	120	45	10	10
5	Selatan	130	30	10	10

1. Hasil pemodelan Arus Kondisi Rencana 1: Berdasarkan hasil simulasi pemodelan arus saat kondisi pasang dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus berkisar 0.5 m/dtk. Berdasarkan hasil simulasi pemodelan arus saat kondisi pasang dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus berkisar 0.14 m/dtk.
2. Hasil pemodelan Arus Kondisi Rencana 2: Berdasarkan hasil simulasi pemodelan arus saat kondisi pasang dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus berkisar 0.01 m/dtk. Berdasarkan hasil simulasi pemodelan arus saat kondisi pasang dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus berkisar 0.01 m/dtk.
3. Hasil pemodelan Sedimen: Pada Kondisi Rencana 1, Sedimentasi yang terjadi di kolam pelabuhan, diperkirakan rata-rata 5,0-7,5 cm per tahun. Pada Kondisi Rencana 2, Sedimentasi yang terjadi di kolam pelabuhan, diperkirakan rata-rata 5,0-7,5 cm per tahun.

Pemilihan Alternatif

Pemilihan alternatif dilakukan dengan cara memberikan penilaian dan bobot terhadap masing-masing alternatif sesuai dengan berbagai parameter yang ditinjau. Dalam melakukan penilaian ada 6 kategori penilaian antara lain: 1) Kemudahan pelaksanaan konstruksi, 2) Biaya konstruksi, 3) Kemampuan menahan gelombang, 4) Ketersediaan material, 5) Keindahan struktur, 6) Pemeliharaan dan perbaikan struktur.

Berdasarkan 6 katagori di atas dapat diambil kesimpulan alternatif yang paling besar nilai nya adalah alternatif 2 dengan total nilai 384, sehingga pemecah gelombang yang di usulkan adalah pemecah gelombang tiang pancang dengan panjang 345 m.

Analisis Struktur Pemecah Gelombang

Analisis Pemecah Gelombang Tipe Tiang Pancang

Tabel 2 Data Pemecah Gelombang

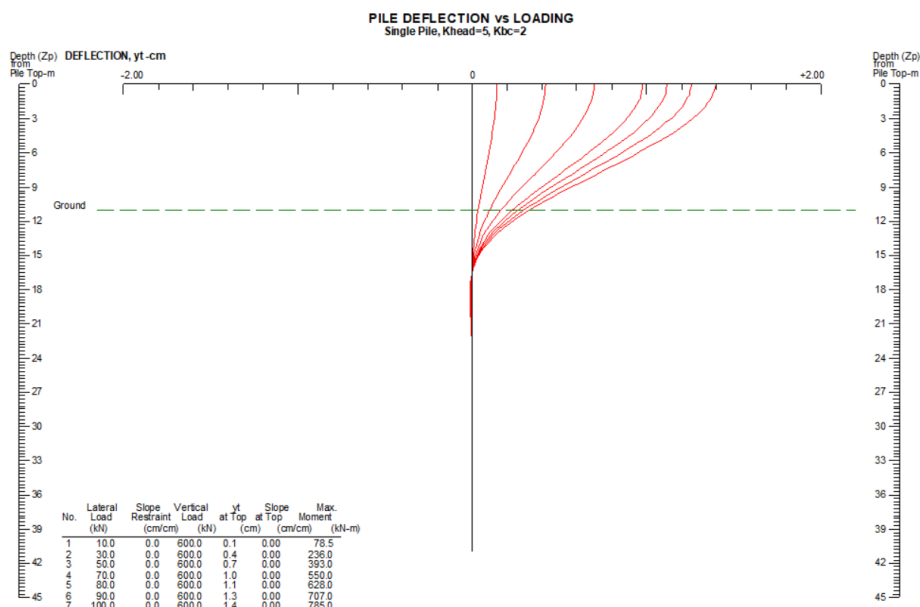
No	Fasilitas	Tipe Konstruksi	Dimensi (m)	Keterangan
1	Pemecah Gelombang	<i>Steel Pipe</i>	1200 mm, t = 14 mm	

Tabel 3 Material Pekerjaan Pembangunan Pelabuhan

No	Material	Mutu
1	Beton	$f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
2	Baja (tiang pancang)	<i>ASTM A53 grade B</i> , $F_y = 240 \text{ MPa}$, $F_u = 415 \text{ Mpa}$, Dia 1200 mm t = 14 mm
3	Baja tulangan ulir (BJTS 40)	$F_y = 390 \text{ MPa}$, $F_u = 560 \text{ MPa}$
4	Baja tulangan polos (BJTP 24)	$F_y = 235 \text{ Mpa}$, $F_u = 380 \text{ MPa}$

Analisa terhadap nilai defleksi diperoleh berdasarkan analisis *displacement*, pergerakan translasi ujung (*top*) dianalisis terhadap nilai U_1 dan U_2 . Nilai terbesar digunakan untuk menganalisis nilai *displacement* pada stuktur. Struktur yang aman adalah struktur yang memiliki defleksi tiang saat kondisi layan dan gempa tidak melebihi batas izinnnya. Untuk defleksi tiang saat kondisi layan tidak lebih dari 50 mm, karena dilatasi yang digunakan sebesar 50 mm, untuk kondisi gempa tidak lebih dari 100 mm.

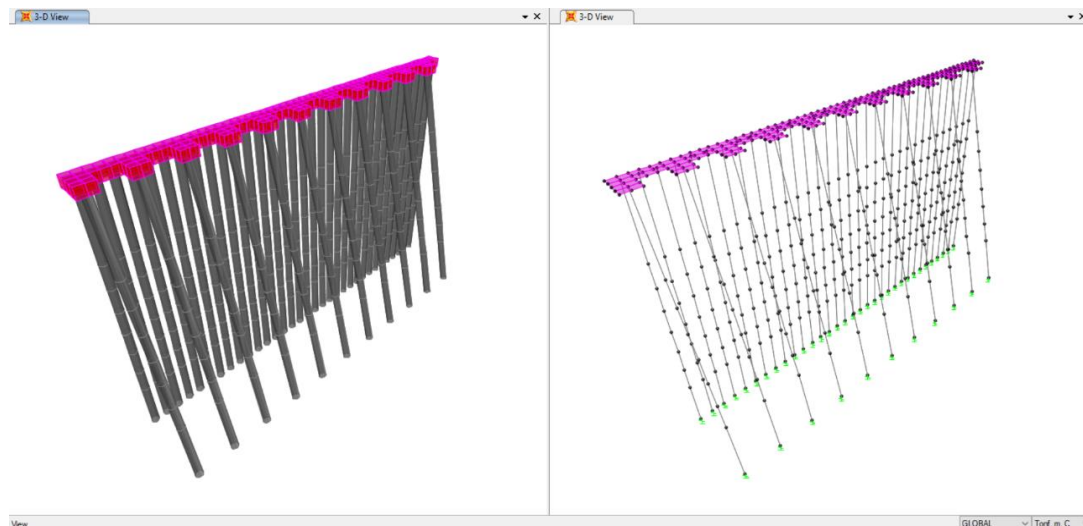
Pemodelan pemecah gelombang dilakukan dengan menggunakan bantuan *software SAP2000*. Struktur pemecah gelombang rencana dilakukan pemodelan sesuai dengan hasil desain. Untuk menganalisis gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang, dan gaya normal), penurunan arah vertikal (*settlement*), serta pergeseran pada arah horisontal dari atau pondasi tiang, dapat dilakukan dengan menggunakan model tumpuan pegas elastis. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban, tergantung dari besarnya *modulus of subgrade reaction (ks)* dari tanah. Pemodelan tiang yang tertanam dimodelkan dengan gaya spring nonlinier. *Modulus of subgrade reaction* didapat dari hasil analisis terhadap data tanah.



Gambar 2 Titik Jepit Pada Tiang pemecah gelombang

Setelah menghitung gaya spring menggunakan *allpile*. Untuk pemodelan tiang dimodelkan sampai ke tanah keras dengan gaya spring dari *P-Y curve*.

Pemodelan dilakukan dengan dimensi pemecah gelombang panjang 60 m. Elevasi *top* +4.5 MLWS dan elevasi *seabed* maksimal berada pada -7 mLWS. Pemodelan tiang dilakukan dengan mengilustrasikan sampai tanah keras. Gaya pada tiang berupa *link support* pada *frame* di bawah tanah. Berikut merupakan ilustrasi pemodelan pemecah gelombang dengan menggunakan bantuan *software SAP2000*.



Gambar 3 Pemodelan Pemecah Gelombang

Tabel 4 Rekapitulasi Section Properties Elemen Struktur

No	Elemen Struktur	Dimensi (mm)	Material
1	<i>Bracing</i>	W.200.200.8.12	Baja
2	<i>Pile Cap</i>	T = 1500	Beton
3	Tiang Pancang (<i>Pile</i>)	$\phi=1200, t=14$	Baja

Kombinasi Pembebanan ditunjukkan Tabel 5 dan Input Pembebanan mencakup:

1. Beban Mati (DL) Vertikal, Beban Mati/Berat sendiri struktur yang dimodelkan telah dihitung oleh *software SAP2000* itu sendiri dengan memasukan self weight pada beban mati = 1 sebesar 3,402T
2. Beban Hidup (LL) Vertikal, Pada beban hidup direncanakan beban hidup merata. Untuk beban hidup merata pada pemecah gelombang direncanakan 1 ton/m²
3. Beban *Uplift* Vertikal, Total gaya *uplift* yang terjadi pada lantai dermaga berdasarkan OCDI adalah 74,77 kN/m²
4. Beban Gelombang, Arus, Horizontal. Data input pembebanan yang digunakan berasal dari hasil survei primer dan pemodelan gelombang. Adapun data-datanya yaitu Tinggi gelombang (H) = 3,2 m, Periode Gelombang (T) = 8,6 s, Kecepatan

Arus (U) = 0,1 m/s. Data ini diinput dalam pemodelan.

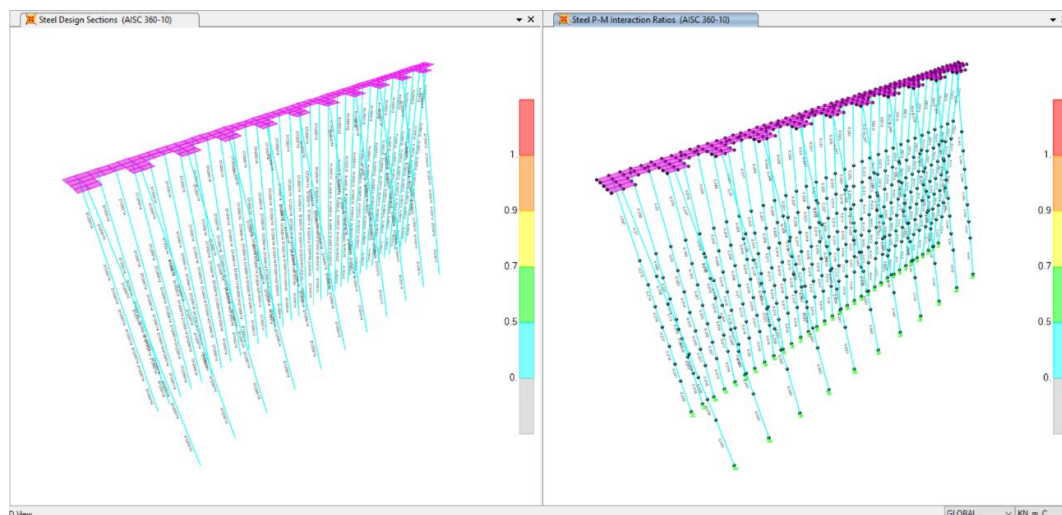
5. Beban Gempa (E), Beban gempa didapatkan dari analisis respon spektrum mengacu pada SNI 2833: 2016. Nilai N-SPT diperoleh N rata-rata 28.53 dengan kelas SD (tanah sedang). Untuk scale factor yang dimasukkan yaitu $g \times I / R$, untuk struktur $R=3,5$ dan untuk tiang $R=2$.

Tabel 5 Kombinasi Pembebanan

No	Kondisi Ultimit	Kondisi Layan
1	$U1 = 1.4D + 1.4AG$	$L1 = 1D + 1AG$
2	$U2 = 1.2D + 1.6L$	$L2 = 1D + 1L$
3	$U3 = 1.2D + 1.2AG + 1.6L$	$L3 = 1D + 1AG + 1L$
4	$U4 = 1.2D + 1.2AG + 1.6L + 1.6 M$	$L4 = 1D + 1AG + 1L + 1M$
5	$U5 = 1.2D + 1.2AG + 1.6L + 1.6 B$	$L5 = 1D + 1AG + 1L + 1B$
6	$U6 = 0.9D + 1.0U$	$L6 = 1D + 1U$
7	$U7 = 1.2D + 1.2AG + 1L + 1Ex + 0.3Ey$	$L7 = 1D + 1AG + 0.75L + 0.75 \times 0.7(1Ex + 0.3Ey)$
8	$U8 = 1.2D + 1.2AG + 1L + 0.3Ex + 1Ey$	$L8 = 1D + 1AG + 0.75L + 0.75 \times 0.7(0.3Ex + 1Ey)$
9	$U9 = 0.9D + 0.9AG + 1Ex + 0.3Ey$	$L9 = 1D + 1AG + 0.7(1Ex + 0.3Ey)$
10	$U10 = 0.9D + 0.9AG + 0.3Ex + 1Ey$	$L10 = 1D + 1AG + 0.7(0.3Ex + 1Ey)$

Perhitungan elemen struktur pemecah gelombang meliputi elemen *pile cap* dan tiang hingga kedalaman di bawah permukaan dasar laut. Setelah model struktur yang dibuat dalam *software SAP2000* dianalisis dengan berbagai kombinasi beban, didapat hasil analisis *SAP2000* berupa gaya-gaya dalam dan reaksi perletakan struktur.

Kekuatan elemen struktur baja baik yang berupa elemen tiang pancang pada pemecah gelombang dianalisis menggunakan *software SAP2000*. Hasilnya berupa rentang warna yang menunjukkan perbandingan beban dengan kekuatan kapasitas penampang elemen struktur.



Gambar 4 Rasio Kapasitas Tiang Pancang Pemecah Gelombang

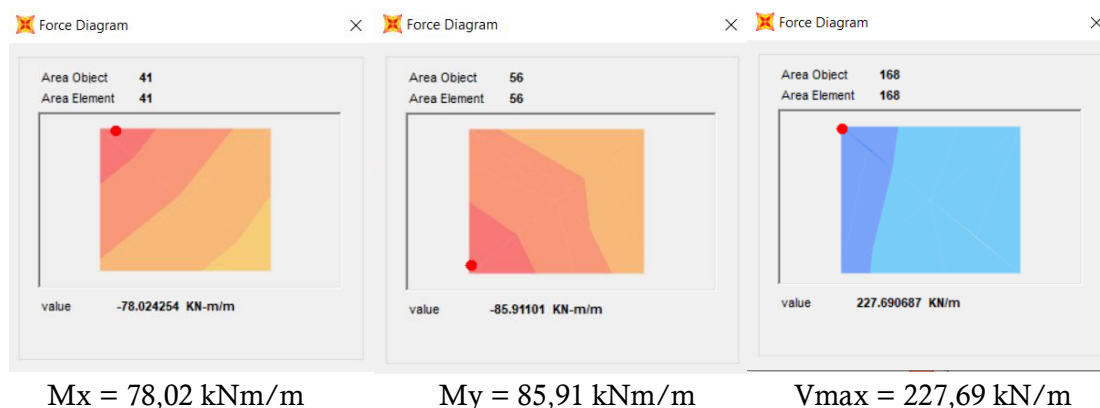
Dapat disimpulkan untuk kapasitas tiang pancang baja pada pemecah gelombang yang menggunakan diameter 1200 mm dengan tebal 14 mm rasio kapasitas maksimum yang terjadi 0,302 tidak melebihi batas yang diizinkan dengan limit 0.95 sehingga tiang pancang aman untuk memikul kombinasi beban ultimit. Sehingga dengan demikian tiang pancang pemecah gelombang tersebut memenuhi kriteria pembebanan yang direncanakan.

Berdasarkan analisis *displacement*, pergerakan translasi ujung (*top*) pemecah gelombang ditunjukkan oleh nilai U_1 dan U_2 . Nilai terbesar digunakan untuk menganalisis nilai *displacement* pada stuktur pemecah gelombang.

Tabel 6 Rekapitulasi *Joint Displacement*

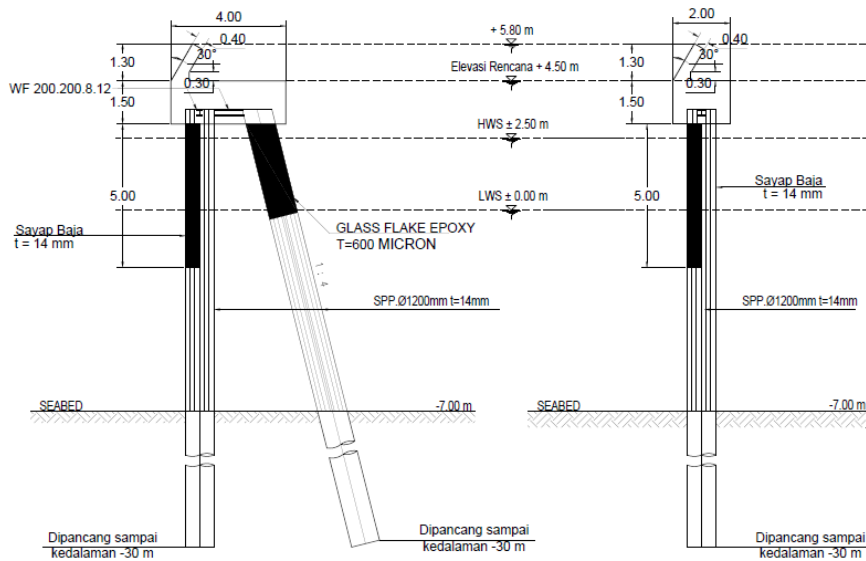
No	Kondisi	<i>Joint Displacement</i> (cm)	Desain Izin (cm)	Keterangan
1	Servis	0,99	5	OK
2	Gempa	2,59	10	OK

Pada kondisi operasional defleksi tiang adalah sebesar 0,99 cm sedangkan batas izin defleksi sebesar 5 cm masih di bawah batas izin. Tetapi perlu diperiksa saat kondisi gempa terhadap defleksi tiang yang terjadi yaitu sebesar 2,59 cm sedangkan batas izinnnya 10 cm. Maka dapat disimpulkan defleksi tiang saat operasional dan kondisi gempa berada di bawah batas izinnnya sehingga struktur dikatakan aman.



Gambar 5 Gaya Dalam pada *Pile Cap*

Perhitungan Tulangan menghasilkan tulangan arah horizontal D16-150 sedangkan tulangan vertikal D13-100.



Gambar 6 Potongan Melintang Pemecah Gelombang Tiang Pancang

Analisis Pemecah Gelombang Tipe Armor Batu

Perhitungan Gelombang Pecah untuk Gelombang 25 tahunan yang menjalar dari laut dalam dengan perhitungan sebagai berikut:

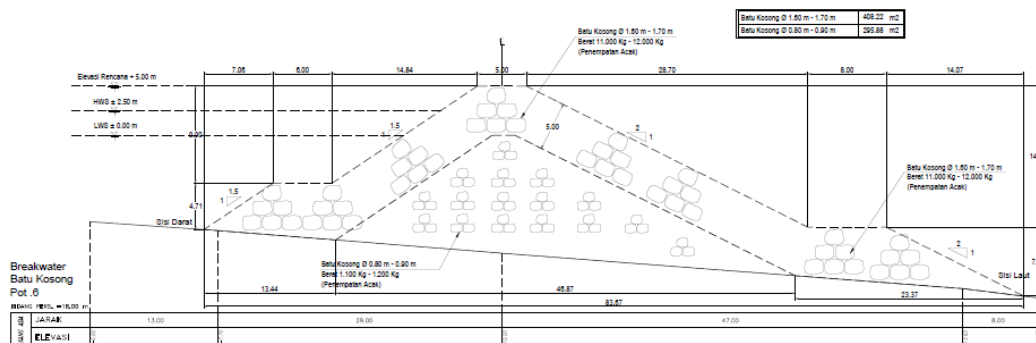
1. Tinggi Gelombang di Laut Dalam (H'_o) 3.90 m; Periode Gelombang di Laut Dalam (T) = 8.60 detik; Kemiringan Pantai (m) 1:20 sehingga $H'_o/(gT^2) = 0,0054$
2. Untuk nilai $H'_o/(gT^2) = 0,0054$ dan nilai $m = 0,05$ diperoleh $H_b/H_o = 1,24$ sehingga $H_b = 4,82$ m (Tinggi Gelombang Pecah), oleh karena itu $H'_b/(gT^2) = 0,0067$
3. Untuk nilai $H'_b/(gT^2) = 0,0067$ dan nilai $m = 0,05$ diperoleh $\beta = 1,10$ sehingga $\beta = d_b/H_b = 1,10$ dimana d_{bmin} Kedalaman Gelombang Pecah
4. Sehingga tinggi gelombang pecah untuk 25 tahunan 4,82 m di kedalaman 7.33 m.

Perhitungan berat Armor Batu dan diameter Lapis Pelindung adalah:

1. $S_r = W_r/W_w = 2,54$
2. Berat Lapis Pelindung $W = W_r.H^3/[K_d(S_r-1)^3 \cot\theta] = 12168 \text{ kg} = 12 \text{ Ton}$
3. Diameter Lapis Pelindung adalah 1660 cm = 1,66 m

Perhitungan Lebar Puncak Lapis Pelindung dan Elevasi Struktur adalah:

1. Lebar puncak pemecah gelombang untuk $n = 3$; $B = nk_d(W/\gamma)^{1/3} = 5\text{m}$
2. Panjang gelombang laut dalam $L_o = gT^2/(2\pi) = 153,1\text{m}$
3. Perhitungan bilangan Iribaren $I_r = \tan\theta/\sqrt{(H/L_o)} = 8,749$
4. Untuk tinggi $R_{un} U_p$, $R_u/H = 1,60\text{m}$
5. Elevasi Mercu Struktur Pemecah Gelombang = $HHWL + R_u = 2,50 + 2,50 = 5,00 \text{ m}$



Gambar 7 Potongan Melintang Kepala Pemecah Gelombang Armor Batu

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan volume konstruksi dan rencana anggaran biaya mempertimbangkan: (1) Harga satuan baik berupa harga material, upah tenaga kerja dan sewa alat yang ditentukan dari data-data yang dihimpun dari data harga satuan yang ditetapkan oleh Pemerintah Kabupaten Alor atau data survey harga lapangan serta harga di *supplier*, (2) Analisa harga satuan menggunakan standard yang berlaku, (3) Referensi-referensi terkait seperti Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan Konstruksi dan Interior.

Tabel 7 Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A. Pek. Pembangunan Pemecah gelombang Armor Batu Total Panjang 460 m					
1	Pengadaan dan Pemasangan Armor Batu Diameter 1.6 m (11.00 kg)	m ³	142.881,55	1.343.250,00	191.925.642.037,50
2	Pengadaan dan Pemasangan Armor Batu Diameter 0.8 m (1.100 kg)	m ³	59.990,43	1.013.250,00	60.785.298.131,25
Jumlah					254.143.056.668,75
B. Pek. Pembangunan Pemecah gelombang Tiang Pancang Total Panjang 345 m					
1	Pengadaan Tiang Pancang Baja Ø 1200 mm, t = 14 mm	Ton	2.007,30	25.600.000,00	51.386.813.322,24
2	Pengecatan Tiang (12.0 m/tiang)	M ²	10.399,68	147.640,00	1.535.408.755,20
3	Pemancangan Tiang Pancang Tegak Ø 1200 mm, t = 14 mm	M'	6.116,67	587.375,00	3.592.779.041,25

4	Pemancangan Tiang Pancang Miring Ø 1200 mm, t = 14 mm	M'	2.035,50	587.375,00	1.195.601.812,50
5	Penyambungan Tiang	Bh	690,00	632.000,00	436.080.000,00
6	Pemotongan Tiang	Bh	690,00	485.100,00	334.719.000,00
7	Plat penutup Tiang	Bh	690,00	2.375.230,00	1.638.908.700,00
8	Profil Sayap Plat Baja t = 14 mm	mm	855,00	494.724,00	422.989.533,00
9	Beton Bertulang Untuk <i>Pile Cap Type 1 (Double)</i>	m ³	935,94	8.811.618,06	8.247.145.806,93
10	Beton Bertulang Untuk <i>Pile Cap Type 2 (Single)</i>	m ³	701,68	8.811.618,06	6.182.936.160,23
11	Beton Bertulang Pengisi Tiang	m ³	663,78	10.661.342,68	7.076.775.100,54
12	Pekerjaan <i>Composite Wrapping</i>	m ²	1.744,68	2.100.000,00	3.663.824.220,00
	Jumlah				85.713.981.451,89

SIMPULAN DAN SARAN

Beberapa kesimpulan dari studi ini diantaranya:

1. Penggunaan volume material konstruksi armor batu sangat besar, sedangkan penggunaan tiang pancang sangat hemat. Penggunaan armor batu yang sangat besar juga berdampak lingkungan yang kurang baik karna memerlukan penambangan batu dengan volume yang sangat besar
2. Luasan kolam labuh yang terbentuk menjadi lebih luas dengan penggunaan tiang pancang dibandingkan konstruksi armor batu
3. Biaya Penggunaan konstruksi armor batu sangat besar, sedangkan penggunaan tiang pancang sangat hemat. Perbandingan biaya konstruksi tiang pancang terhadap armor batu bisa sampai dengan 35%
4. Dari sisi pelaksanaan tentunya pembangunan tipe tiang pancang relatif lebih mudah disamping karna volumenya lebih kecil juga karna jenis materialnya juga tersedia secara nasional.

Studi ini hanya mengkaji satu perbandingan antara Pemecah gelombang tipe tiang pancang dan armor batu dengan satu konfigurasi layout. Untuk hasil yang lebih akurat tentunya perlu dilakukan studi-studi lanjutan dengan dimensi penampang dan layout yang bervariasi. Saran kami juga untuk melakukan studi lanjutan perbandingan tipe tiang pancang terhadap bentuk dan tipe pemecah gelombang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Port of Long Beach (POLB), *Breasting Dolphin Design Criteria*
BSN (2019), *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*, Jakarta.
BSN, *SNI 1727:2020: Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan*

struktur lain, Jakarta, 2020

BSN (2020), *SNI 1729:2020: Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*, Jakarta.

BSN (2019), *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*, Jakarta.

OCDI Japan (2009), *Technical Standards for Port and Harbour Facilities In Japan*.

Peraturan Menteri PUPR Republik Indonesia (2016). *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Jakarta : JDIH Kementerian PUPR.

Triatmodjo, Bambang (2010). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, Bambang (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, Bambang (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

Zweers, Sander (2009). *Manual Desain Bangunan Pengaman Pantai*. Aceh: Sea Defence Consultants.