

EVALUASI PEMECAH GELOMBANG PANTAI MANGGAR BARU

Mochamad Gaharu Dida Devedo*, Ardhan Ismail

Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia

Jl. Kuaro, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75119, Indonesia

*Korespondensi Penulis: Didadevedo@ft.unmul.ac.id

ABSTRACT

The coastal protection structure in the form of an offshore breakwater has been constructed at Manggar Baru Beach by the local government to address the ongoing issue of coastal erosion. However, despite its construction, several problems remain unresolved. This study aims to evaluate the performance of the constructed breakwater and provide recommendations for alternative, more effective coastal protection designs. The research involves assessing the performance of the breakwater structure and designing alternative coastal protection solutions. The data used in this study consists of secondary data obtained from the East Kalimantan Public Works Department. The evaluation results reveal that in areas near the river mouth, waves are still able to pass through the breakwater structure. Additionally, the river flow, which bends towards the area between the beach and the breakwater, allows water to enter without sufficient protective structures to block it. This indicates that the existing breakwater is not fully effective. As a solution, the proposed coastal protection concept involves extending the length and increasing the height of the breakwater structure. The breakwater is planned to be a rubble structure with the following specifications: crest elevation of +5.5 m LLWL, a total length of 136 m, primary armor layer consisting of tetrapods and crushed stones, and a crest width of 3.2 m.

Keywords: Evaluation, Coastal Erosion, Breakwater

ABSTRAK

Bangunan pelindung pantai berupa pemecah gelombang lepas pantai telah dibangun di Pantai Manggar Baru oleh pemerintah setempat guna menanggulangi permasalahan erosi pantai yang terus terjadi. Namun, setelah pembangunan masih terdapat beberapa permasalahan yang belum teratasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja pemecah gelombang yang telah dibangun serta memberikan rekomendasi perencanaan bangunan pelindung pantai alternatif yang lebih efektif. Penelitian dilakukan dengan cara mengevaluasi kinerja bangunan pemecah gelombang dan merencanakan desain alternatif bangunan pelindung pantai. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kalimantan Timur. Hasil evaluasi menunjukkan gelombang masih mampu masuk melewati struktur pemecah gelombang pada area pemecah gelombang yang berada dekat dengan muara sungai. Selain itu, aliran pada sungai yang berbelok menuju area diantara pantai dan pemecah gelombang dapat menyebabkan aliran masuk tanpa ada bangunan pelindung yang cukup untuk menahannya. Hal ini menunjukkan pemecah gelombang yang dibangun belum sepenuhnya efektif. Sebagai solusi, konsep perlindungan pantai yang diusulkan adalah menambah panjang dan tinggi struktur pemecah gelombang. Pemecah gelombang direncanakan berbentuk tumpukan batu (rubble structure) dengan spesifikasi: elevasi mercu +5,5 m LLWL, panjang 136 m, menggunakan lapis lindung utama berupa tetrapod dan batu pecah, serta lebar puncak 3,2 m.

Kata Kunci: Erosi, Evaluasi, Pemecah Gelombang

PENDAHULUAN

Pantai Manggar Baru yang terletak di Kota Balikpapan merupakan salah satu destinasi wisata pantai unggulan di kawasan tersebut. Selain memiliki nilai estetika dan ekonomi, pantai ini juga menjadi salah satu area yang menghadapi tantangan kerusakan lingkungankhususnya akibat abrasi dan sedimentasi yang disebabkan oleh aktivitas gelombang laut. Perubahan garis pantai yang terus terjadi di wilayah ini sebagian besar dipicu oleh proses erosi dan akresi, sebagaimana dijelaskan oleh Irwan dan Ihsan (2020).

Berbagai usaha mitigasi telah dilakukan untuk menghadapi permasalahan tersebut, telah dilakukan berbagai upaya mitigasi, salah satunya adalah pembangunan struktur pelindung berupa pemecah gelombang. Pemecah gelombang, atau *breakwater*, adalah struktur buatan yang berfungsi untuk mengurangi energi gelombang laut sebelum mencapai pantai, sehingga mampu melindungi garis pantai dari erosi serta mendukung akumulasi sedimen di area di belakangnya (Dean & Dalrymple, 1991). Struktur ini dapat dirancang sejajar pantai (*offshore breakwater*) atau tegak lurus terhadap pantai, tergantung pada tujuan perlindungan dan kondisi geografis wilayah pantai yang bersangkutan.

Selain berfungsi sebagai pelindung garis pantai, pemecah gelombang juga memainkan peran penting dalam pengelolaan lingkungan pesisir. Pemecah gelombang sejajar pantai, misalnya, dapat menyebabkan pembentukan salient atau tombolo yang mengubah pola garis pantai secara signifikan, seperti yang dilaporkan oleh Suhaemi dan Riandini (2013). Namun, dampak ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi dinamika sedimen dan fungsi ekosistem di sekitar pantai.

Pada Pantai Manggar Baru, struktur pemecah gelombang yang dibangun menggunakan kombinasi *Geotube* dan

tembok laut. *Geotube* adalah tabung besar yang diisi dengan pasir atau sedimen lokal dan digunakan sebagai penghalang untuk memecah energi gelombang. Tembok laut berfungsi melindungi pantai dari abrasi. Namun, meskipun struktur ini telah dibangun, masih ada gelombang yang menyerang masuk ke pemukiman warga. Salah satu masalah utama adalah gelombang laut yang masih berhasil melewati celah-celah antara pemecah gelombang dan struktur lainnya sehingga potensi erosi tetap ada. Selain itu, aliran sungai yang memasuki wilayah pantai di antara pemecah gelombang menciptakan hambatan bagi kapal nelayan yang membutuhkan akses untuk berlabuh (Sulaiman, 2012).

Pembangunan pemecah gelombang di Indonesia telah menjadi salah satu solusi yang umum diterapkan untuk melindungi wilayah pesisir dari dampak gelombang laut. Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi berbagai aspek desain dan stabilitas pemecah gelombang. Aipassa (2021) meneliti desain pemecah gelombang di Balongan, Indramayu, untuk meningkatkan stabilitas terhadap keruntuhan geser. Penelitian oleh Suhaemi dan Riandini (2013) menunjukkan bahwa struktur pemecah gelombang sejajar pantai dapat memengaruhi pola garis pantai secara signifikan. Penelitian di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong menekankan pentingnya desain perlindungan gelombang yang adaptif (Unisma, 2020), sementara di Terminal Khusus TPPI Tuban, kombinasi pengerukan dengan pemecah gelombang digunakan untuk melindungi dermaga dari gelombang besar (ITS, 2019).

Selain itu, analisis oleh Batjes dan Roos (1974) menggaris bawahi efektivitas tetrapod sebagai lapisan pelindung dalam meningkatkan stabilitas struktur pemecah gelombang. Olga Maranatha (2020) menyoroti pemanfaatan batu bronjong untuk stabilitas struktur, sementara Fowler

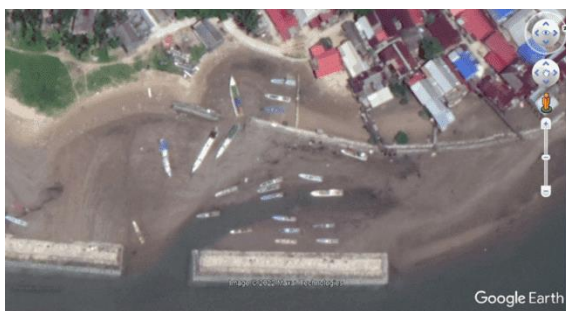
et al. (2017) menjelaskan bahwa penggunaan *Geotube* dapat memperpanjang garis pantai meskipun memiliki keterbatasan umur pakai.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pemecah gelombang yang telah dibangun di Pantai Manggar Baru serta memberikan rekomendasi untuk peningkatan desain struktur pelindung tersebut. Analisis dilakukan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis yang tidak hanya meningkatkan efektivitas perlindungan pantai dari erosi, tetapi juga mendukung keberlanjutan aktivitas masyarakat pesisir serta pelestarian lingkungan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Tanjung kelor 70, Manggar Baru, Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, lokasi ini dipilih karena merupakan lokasi pemecah gelombang yang dibangun oleh pemerintah, ditunjukkan ada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian (Sumber: *Google Earth*)

Elevasi Rencana

Jarak dari dasar permukaan hingga sampai ke muka air laut rencana merupakan kriteria yang penting. Perhitungan dari muka air laut rencana

dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut.

$$DWL = HWS + SS + SLR$$

Keterangan:

DWL: *design water level* (m)

HWS: *high water spring* (m)

SS : badai yang bisa jadi gelombang naik (m)

SLR : *sea level rise* (m), (60 cm/100 tahun)

Berat Armor

Beban batu lapis pelindung dihitung dengan formula:

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

keterangan:

W : beban lazimnya dari batu yang akan ditaruh (ton)

γ_r : berat jenis batu (ton/m³)

H : tinggi gelombang rencana (m)

S_r : komparasi antara berat jenis batu dan berat jenis air laut.

Run-up

Nilai *run-up* ditentukan dengan menggunakan nilai dari bilangan *Iribarren's*. Bilangan *Iribarren's* ini berpengaruh pada tinggi bangunan. Adapun persamaan *Iribarren's* tersebut adalah sebagai berikut (Iribarren, 1938).

$$I_r = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Keterangan:

α : kemiringan dari dinding bangunan

H : tinggi gelombang yang menerjang

L_0 : jarak antar ujung dari gelombang di laut lepas
= 1,56 T²

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur Dinas Pekerjaan Umum Bidang Sumber Daya Air. Data yang digunakan dalam penelitian ini tertera pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** sebagai berikut.

Tabel 1. Data pasang surut

Elevasi Muka Air Acuan Rambu Pasang Surut		
<i>Highest High Water Level</i> (HHWL)	=	2,58 m
<i>Mean High Water Spring</i> (MHWS)	=	2,1 m
<i>Mean Sea Level</i> (MSL)	=	1,3 m
<i>Mean Low Water Spring</i> (MLWS)	=	0,59 m
<i>Lowest Low Water Level</i> (LLWL)	=	0 m

Tabel 2. Kala ulang signifikan

Kala Ulang (Tahun)	Tinggi Gelombang (Meter)	Periode Gelombang (Detik)
2	1.97	7.42
3	2.15	7.67
5	2.31	7.84
10	2.46	7.96
25	2.61	8.04
50	2.7	8.07
100	2.76	8.08
200	2.82	8.09



Gambar 2. Tinjauan lapangan

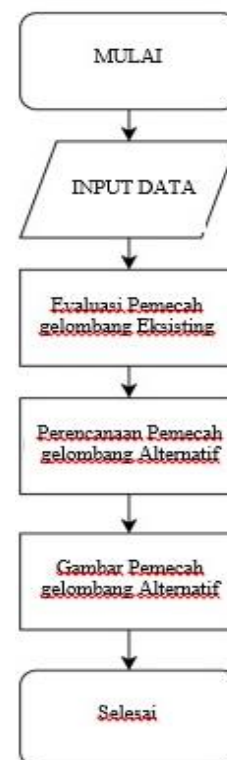
Gambar 2 (a) merupakan pemecah gelombang yang paling dekat dengan muara, **Gambar 2** (b) pemecah gelombang kedua terdekat dengan muara sungai, **Gambar 2** (c), yang terdekat ketiga dengan muara Sungai, dan **Gambar 2** (d) yang terjauh dari muara Sungai.

Prosedur Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengumpulan data
Data yang dikumpulkan berupa: data hidro oseanografi, topografi, dan bathimetri. Data didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Kalimantan Timur bidang Sumber Daya Air.
2. Analisis efektivitas pelindung dan pengamanan Pantai Manggar Baru.
Dalam analisis ini akan dilakukan pengamatan secara langsung untuk menilai efektivitas dari bangunan Pantai yang sudah dibangun.
3. Perencanaan pemecah gelombang alternatif.
Dilakukan perhitungan perencanaan bangunan pelindung pantai yang diusulkan (tembok laut dan pemecah gelombang).
4. Spesifikasi pemecah gelombang alternatif.
Dilakukan penggambaran detail rencana dari hasil perhitungan perencanaan tembok laut dan pemecah gelombang.

Diagram Alir



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Pemecah Gelombang Eksisting

Pada pemecah gelombang (1), gelombang masih bisa masuk melewati celah antara tembok laut dan *Geotube*. Tembok laut dan *Geotube* yang dibangun dekat dengan rumah warga, sehingga dapat menggerus rumah warga setempat. Pada pemecah gelombang (2), terlihat membentuk tombolo periodik. Pada pemecah gelombang (3) dan (4), terlihat membentuk tombolo permanen. Berdasarkan pengamatan langsung tersebut, pemecah gelombang (2), (3), dan (4) efisien dalam melindungi pantai. Namun, pada pemecah gelombang (1), masih belum efisien, karena gelombang masih dapat masuk.

Perencanaan Konsep Pemecah Gelombang Pantai Manggar Baru

Konsep Pemecah Gelombang dapat dilakukan dengan:

1. Mengubah pemecah gelombang (1) menjadi bangunan *non-overtopping*, agar kapal nelayan yang berlabuh tidak terganggu limpasan gelombang.
2. Menambah panjang pemecah gelombang (1), agar dapat menahan aliran sungai, gelombang dari timur dan timur laut.

Perencanaan Tata Letak Sistem Pemecah Gelombang Pantai Manggar Baru

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis efektivitas Pemecah Gelombang yang sudah dibangun, permasalahan yang terjadi adalah difraksi gelombang yang masuk melalui celah di antara pemecah gelombang dan kemudian masuk melalui celah di antara *Geotube* dan tembok laut. Selain itu, ada arus yang masuk di antara pantai dan pemecah gelombang. Untuk mengatasi hal tersebut, diusulkan penambahan panjang jadi 75 meter

pemecah gelombang yang bertujuan untuk menahan arus yang masuk diantara pantai dan pemecah gelombang. Sedangkan, perubahan struktur pemecah gelombang menjadi bangunan *non-overtopping* agar kapal nelayan yang berlabuh tidak terganggu limpasan gelombang yang melewati pemecah gelombang. Bahan pelindung yang digunakan untuk pemecah gelombang adalah tetrapod. Tetrapod digunakan karena nilai *run-up* cukup rendah sehingga bangunan tidak terlalu tinggi.

Perencanaan Bangunan

1. Kriteria Perencanaan

Berikut ini merupakan kriteria perencanaan bangunan:

- a. Pemecah gelombang yang akan dibangun bertujuan untuk mengurangi energi gelombang yang datang, menahan arus sungai yang masuk di antara pantai dan pemecah gelombang, selain itu pemecah gelombang akan dimanfaatkan sebagai kolam labuh.
- b. Pemecah gelombang yang direncanakan adalah *non overtopping*, pemilihan struktur *non overtopping* adalah karena pemecah gelombang yang direncanakan akan dibuat sebagai kolam labuh.
- c. Lapis pelindung yang digunakan adalah tetrapod dan batu pecah, karena tinggi *run up* dengan tetrapod yang cukup rendah, sehingga tinggi bangunan tidak terlalu tinggi.
- d. Struktur bangunan yang digunakan sama dengan pemecah gelombang, pemilihan struktur yang sama dengan pemecah gelombang adalah karena untuk kemudahan pengerjaan.

2. Elevasi muka air rencana

HHWL yang digunakan adalah 2,58 m, tinggi *wave set up* sebesar

0,14 m, tinggi *storm surge* sebesar 0,13 m, sedangkan SLR tidak diperhitungkan. Hasil perhitungan muka air laut rencana didapatkan sebagai berikut:

Perhitungan *storm surge* (m):

$$\rho_{udara} = 1000 \text{ mbar}, \rho_{air \text{ laut}} = 1013$$

$$SS = 0,01(1013-1000) = 0,13$$

Perhitungan elevasi muka air rencana (m):

$$DWL = 2,58 + 0,13 + 0,0 = 2,71$$

3. Gelombang Rencana

Gelombang rencana yang digunakan untuk pemecah gelombang memiliki $d_s = 3,71$ m, $H_0 = 2,46$ m, $DWL = 2,71$ m dan sudut datang dari arah tenggara (5°). Panjang gelombang dan kecepatan rambat gelombang di laut dalam dapat dihitung sebagai berikut.

$$d_s = 3,71 \text{ m}$$

$$L_0 = 1,56 \times 8,07^2 = 101,59 \text{ m}$$

$$C_0 = 1,56 T = 1,56 \times 8,06 = 12,59 \text{ m/detik}$$

Maka nilai: $d/L_0 = 0,037$; $d/L = 0,07984$; $K_s = 1,08$; dengan hasil sebagai berikut.

$$L = \frac{d_s}{d/L}$$

$$L = \frac{3,71}{0,07984} = 46,46 \text{ m}$$

Selanjutnya, kecepatan rambat gelombang dapat dihitung, dengan membagi panjang gelombang dengan periode gelombang.

$$C = \frac{L}{T}$$

$$C = \frac{46,46}{8,07} = 5,76$$

Kemudian, nilai sudut datang gelombang masing-masing dapat dihitung sebagai berikut.

$$\alpha_i = \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0$$

$$\alpha_i = \frac{5,76}{12,59} \sin 5 = 2,28$$

Setelah nilai sudut datang gelombang di laut dalam dan sudut datang gelombang pada kedalaman tertentu diketahui maka koefisien refraksi (K_r) dapat dihitung sebagai berikut.

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_i}}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos 5}{\cos 2,28}} = 0,998$$

Berdasarkan data tinggi gelombang laut dalam (H_0), koefisien shoaling (k_s) dan koefisien refraksi (K_r) maka tinggi gelombang pada masing-masing kedalaman (H_i) dan tinggi gelombang pecah (H_b) dapat dihitung sebagai berikut (m).

$$H_i = K_r \cdot K_s \cdot H_0 = 0,998 \times 1,08 \times 2,46 = 2,65$$

Berdasarkan kemiringan pantai di lokasi studi dimana pantai relatif landai, maka, tinggi gelombang pecah (m) dapat dihitung sebagai berikut.

$$H_b = 0,78 \cdot d_s = 0,78 \times 3,71 = 2,89$$

Gelombang yang akan dipakai untuk keperluan perencanaan stabilitas bangunan pemecah gelombang adalah tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang sepuluh tahun $H_{s10th} = 2,65$ m. dan gelombang pecah, $H_b = 2,89$, sehingga gelombang rencana yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_D = H_i = 2,65 \text{ m}$$

Gelombang rencana yang digunakan untuk tembok laut adalah difraksi gelombang setelah melewati dua pemecah gelombang, jarak antara pemecah gelombang dengan lokasi rencana tembok laut adalah 60 m, sudut datang gelombang adalah 60° , kedalaman air di belakang pemecah gelombang 2,71 m, dengan tinggi gelombang di pemecah gelombang

adalah 2,65 m. Lebar jarak antara pemecah gelombang sepanjang 30 m. Berikut ini adalah perhitungan difraksi.

$$L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 \times 8,07^2 = 101,59$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{6,21}{101,59} = 0,061$$

Fungsi d/L menggunakan nilai d/L_0 yang diperoleh pada maka nilai: $d/L_0 = 0,027$; $d/L = 0,06747$; kemudian didapatkan hasil sebagai berikut:

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

$$L = \frac{2,71}{0,06747} = 40,16$$

Kemudian, untuk mendapatkan nilai K' , digunakan nilai $L = 40,16$ m, dan $B = 30$ m, $z = 2,71$ m, $x = 60$ m.

$$B = \frac{30}{40,16} = 0,75 \approx 1$$

$$\frac{z}{L} = \frac{6,21}{40,16} = 0,1$$

$$\frac{x}{L} = \frac{60}{40,16} = 1,7$$

Dengan nilai $K'=0,8$ didapatkan tinggi gelombang (m) di lokasi rencana berikut:

$$H_A = 0,7 \times 2,65 = 1,91$$

4. Berat dan tebal pemecah gelombang

Berikut ini merupakan perhitungan lapis lindung pemecah gelombang dengan panjang 136 m dengan tinggi gelombang ($H_i = 2,65$ m) dengan material tetrapod, kondisi gelombang belum pecah, didapatkan koefisien difraksi ($K_D = 5,5$). Pada perencanaan berat batu lapis lindung dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

Berat lapisan utama (W), ton:

$$S_r = \frac{2,40}{1,025} = 2,34$$

$$W = \frac{2,4 \times (2,65)^3}{4,5 \times (2,34 - 1)^3 \times 2} = 2,55$$

Berat lapisan kedua (W/10), kg:

$$\frac{W}{10} = \frac{2,55}{10} \times 1000 = 255$$

Berat lapisan inti (W/200 sd W/4000),

kg:

$$\frac{W}{200} = \frac{2,55}{200} = 0,0127$$

$$\frac{W}{4000} = \frac{2,55}{4000} = 0,0006$$

$$\frac{4000}{200 \text{sd} 4000} = \frac{(0,0127 + 0,0006)}{2} \times 1000 = 6,7$$

Berat kaki (W/2), ton:

$$\frac{W}{2} = \frac{2,55}{2} \times 1000 = 1,27$$

Perancangan lebar puncak bangunan dengan jumlah butir dasar untuk tetrapod minimum ($n = 3$, koefisien lapis $k_\Delta = 1,04$, berat jenis beton bertulang $\gamma_r = 2,40$ ton/m³ dan berat jenis batu pecah $\gamma_r = 1,45$ ton/m³. Berikut adalah contoh perhitungan lebar puncak pemecah gelombang:

lebar puncak pemecah gelombang:

$$B = 3 \times 1,04 \left(\frac{2,55}{2,40} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,18 \approx 3,2 \text{ m}$$

Tebal lapis pelindung utama dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$t = 2 \times 1,04 \left(\frac{2,55}{2,40} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,12 \approx 2,2 \text{ m}$$

Tebal lapis pelindung kedua dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$t = 2 \times 1,15 \left(\frac{0,25}{1,45} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,29 \approx 1,3 \text{ m}$$

Jumlah butir batu lapis pelindung utama tiap satuan luasan (10 m²) adalah sebagai berikut.

$$N = 10 \times 2 \times 1,04 \left(1 - \frac{50}{100} \right) \left(\frac{2,55}{2,40} \right)^{\frac{1}{3}} = 11$$

butir

Jumlah butir batu lapis pelindung kedua tiap satuan luasan (10 m²) adalah sebagai berikut.

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100} \right) \left(\frac{0,25}{1,45} \right)^{\frac{1}{3}} = 47$$

butir

Lebar kaki dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$B_{toe} = 2H_D = 2 \times 2,65 = 5,3 \text{ m}$$

Tebal lapis pelindung kaki dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Diameter batu} = \left(\frac{1,02}{1,45} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,88 \text{ m}$$

$$T_{toe} = 2,5 \text{ diameter batu} = 2 \times 0,88 = 1,77 \approx 1,8$$

4. Elevasi Puncak Bangunan

Elevasi puncak bangunan terdiri *design water level*, *run-up*, dan tinggi jagaan. Berikut ini merupakan perhitungan dari nilai *run up* dari pemecah gelombang:

panjang gelombang (m) di laut dalam:
 $L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 \times 8,07^2 = 101,59$

bilangan Iribaren pemecah gelombang:

$$I_r = \frac{1}{\frac{2}{\left(\frac{2,65}{101,59} \right)^{\frac{1}{2}}}} = 3,09$$

Berdasarkan grafik *run up* gelombang, didapatkan nilai *run up* untuk lapis lindung tetrapod: $R_u/H = 0,87$ dan untuk lapis lindung batu pecah: $R_u/H = 1,25$.

$$R_u = 0,87 \times 2,65 = 2,3 \text{ m}$$

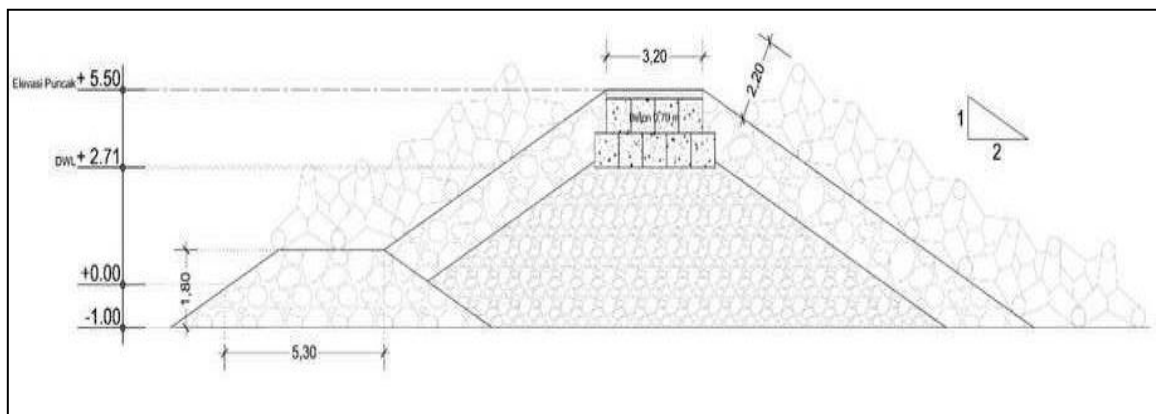
Sedangkan, untuk *run up*, adalah sebagai berikut.

$$R_u = 1,25 \times 1,85 = 2,3 \text{ m}$$

Tinggi pemecah gelombang
 $= 2,71 + 2,3 + 0,5 = 5,5 \text{ m}$

5. Gambar Teknis Bangunan

Berikut ini adalah gambar hasil desain perencanaan pemecah gelombang alternatif:



Gambar 4. Desain pemecah gelombang

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan, didapatkan kesimpulan berikut ini.

1. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di belakang pemecah gelombang (2), (3), dan (4) (sisi selatan), tidak terlihat adanya gelombang yang masuk dan menuju rumah warga, sehingga bangunan tersebut sudah cukup efektif. Sedangkan, pada pemecah gelombang (1), gelombang masih bisa masuk melewati pemecah gelombang (1) sehingga pemecah gelombang (1) (sisi utara), *Geotube* dan tembok laut masih belum efektif.
2. Berdasarkan hasil analisis penelitian, opsi yang direkomendasikan adalah penyempurnaan pada pemecah gelombang (1) dengan penambahan panjang dan tinggi agar pemecah gelombang dapat berfungsi sebagai kolam labuh.
3. Spesifikasi bangunan pemecah gelombang sisi miring yang direncanakan adalah sebagai berikut.
 - a. Tinggi gelombang rencana (H_D): 2,65 m
 - b. Elevasi muka air rencana (DWL): 2,71 m
 - c. Bahan armor: tetrapod
 - d. Berat armor: 2,55 ton
 - e. Panjang bangunan: 136 m
 - f. Elevasi mercu: +5,5 m (LWLL)
 - g. Lebar puncak bangunan: 3,2 m

REFERENSI

- Aipassa, M. I. (2021). Evaluasi desain pemecah gelombang di Balongan, Indramayu, untuk meningkatkan stabilitas terhadap keruntuhan geser. *Jurnal Teknik Pesisir dan Laut*.
- Batjes, N. H., & Roos, J. (1974). Effectiveness of tetrapod layers for wave protection. *Coastal Engineering Journal*.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. World Scientific Publishing.

Fowler, J., Smith, D., & Chang, C. (2017). Performance of geotubes in extending shorelines: Case studies and limitations. *Coastal Research Journal*.

Irwan, A., & Ihsan, H. (2020). Pengaruh erosi dan akresi terhadap perubahan garis pantai di kawasan pesisir. *Jurnal Geografi Indonesia*, 12(3), 45-56.

ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember). (2019). *Perencanaan pemecah gelombang di Terminal Khusus TPPI Tuban: Kombinasi pengerukan dan proteksi dermaga*. Surabaya: ITS Press.

Maranatha, O. (2020). Kestabilan struktur pemecah gelombang dengan batu bronjong. *Jurnal Teknik Sipil*.

Sulaiman, M. (2012). Kajian efektivitas struktur pemecah gelombang pada kawasan pesisir. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*.

Suhaemi, A., & Riandini, P. (2013). Pengaruh struktur pemecah gelombang sejajar pantai terhadap perubahan pola garis pantai. *Jurnal Teknik Pantai*, 9(1), 23-34.

Unisma (Universitas Islam Malang). (2020). *Analisis desain alternatif perlindungan gelombang di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong*. Malang: Unisma Press.

Wiegel, R. L. (1964). *Oceanographical engineering*. Prentice-Hall.