

EVALUASI BANGUNAN PELINDUNG PANTAI MANGGAR SARI

Mochamad Gaharu Dida Devedo¹⁾, Chalsi Mala Sari²⁾, Yusti Januar Purnama³⁾

- ¹⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda (75119), Indonesia
Email: didadevedo@ft.unmul.ac.id
- ²⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda (75119), Indonesia
Email: chalsimalasari@ft.unmul.ac.id
- ³⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus Samarinda, Jl. Ir. H. Juanda No. 80, Kota Samarinda, Kalimantan Timur (75123), Indonesia
Email: yustijanuar29@gmail.com

ABSTRACT

Bangunan pelindung pantai, termasuk pemecah gelombang lepas pantai, geotube, dan tembok laut, dibangun di Pantai Manggar Baru untuk mengatasi erosi. Namun, setelah pembangunan, beberapa masalah tetap terjadi. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab permasalahan, mengevaluasi efektivitas pelindungan yang ada, dan memberikan rekomendasi bangunan alternatif. Data sekunder dari Dinas Pekerjaan Umum Kalimantan Timur digunakan untuk mengevaluasi pergerakan sedimen dan efektivitas sistem pelindungan. Hasil analisis menunjukkan adanya transportasi sedimen sebesar 18.227,02 m³/tahun ke arah utara yang menyebabkan erosi. Bangunan Pantai yang dibangun tidak sepenuhnya efektif, terutama di dekat sungai, karena celah antara tembok laut, geotube, dan aliran sungai yang mengarah ke pantai. Akibatnya, erosi terus terjadi. Sebagai solusi, direkomendasikan mengganti geotube dengan tembok laut berbahan batu pecah dengan elevasi +5,5 m LLWL, panjang 30 m, dan lebar puncak 3 m untuk meningkatkan efektivitas pelindungan pantai.

Kata kunci –erosi pantai, pemecah gelombang, geotube, tembok laut

ABSTRACT

Coastal protection structures, including offshore breakwaters, geotubes, and seawalls, were constructed at Manggar Baru Beach to address erosion issues. However, several problems persisted after their construction. This study aims to analyze the causes of these problems, evaluate the effectiveness of the existing protection measures, and provide recommendations for alternative structures. Secondary data from the East Kalimantan Public Works Department were used to evaluate sediment transport and the effectiveness of the protection system. The analysis revealed a sediment transport rate of 18,227.02 m³/year to the north, which contributes to erosion. The existing coastal structures were found to be partially ineffective, particularly near the river, due to gaps between the seawall, geotube, and river flow directed toward the beach. Consequently, erosion continues to occur. As a solution, it is recommended to replace the geotube with a rubble mound seawall, featuring a crest elevation of +5.5 m LLWL, a length of 30 m, and a crest width of 3 m, to enhance the effectiveness of coastal protection.

Keywords: coastal erosion, breakwater, seawall

1. PENDAHULUAN

Pantai merupakan lingkungan yang sangat dinamis dan terus beradaptasi dengan kondisi oseanografis yang dialaminya (Ciavola dan Coco, 2017). Peristiwa intensif dapat menyebabkan pergerakan sedimen yang signifikan baik secara

melintang pantai maupun sepanjang garis pantai (Burvingt et al., 2017), sehingga mengubah bentuk dan struktur pantai (Anfuso et al., 2020). Banjir pantai dan erosi yang disebabkan oleh kejadian-kejadian ekstrem merupakan faktor utama yang bertanggung jawab atas bahaya pantai dan perubahan struktur pantai. Efek ini akan diperparah oleh kenaikan permukaan air laut

yang disebabkan oleh perubahan iklim (Sánchez-Artús et al., 2023). Banjir pesisir terjadi ketika air laut melampaui penghalang alami seperti pantai, gumuk pasir, formasi kerikil, atau tebing, serta penghalang buatan manusia seperti tanggul laut, tembok laut, atau pelindung batu. Fenomena ini dipicu oleh kombinasi faktor seperti kenaikan pasang, efek barometrik terbalik, angin darat, dan hampasan gelombang. Dalam jangka panjang, faktor-faktor ini diperparah oleh kenaikan permukaan laut yang merupakan variabel dominan dalam bahaya pesisir (Sánchez-Artús et al., 2023). Selama abad terakhir, berbagai peristiwa banjir pesisir telah terjadi, menyebabkan kerusakan besar pada properti dan infrastruktur, gangguan signifikan pada komunitas pesisir, dan korban jiwa (Van Dongeren et al., 2018).

Banjir pesisir dengan intensitas rendah namun lebih sering, yang dikenal sebagai "nuisance flooding," juga mengganggu komunitas pesisir dengan memblokir jalur transportasi, menggenangi properti, dan menciptakan risiko keselamatan. Frekuensi kejadian ini meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir (Moftakhari et al., 2015). Seiring dengan kenaikan permukaan laut, baik banjir ringan maupun banjir besar di pesisir diperkirakan akan semakin sering terjadi di berbagai wilayah dunia (Moftakhari et al., 2015; Vitousek et al., 2017). Strategi untuk mengurangi risiko banjir pesisir meliputi pencegahan (melalui pembangunan struktur pelindung laut keras atau lunak), mitigasi (membatasi pembangunan pesisir atau merelokasi komunitas), dan kesiapan (mengantisipasi peristiwa banjir) (Van Dongeren et al., 2018).

Penyesuaian seperti *wave setup*—peningkatan permukaan laut akibat gelombang yang pecah di dekat pantai—dan *wave runup*—pergerakan ombak yang naik-turun di lereng pantai—memberikan kontribusi signifikan terhadap elevasi total permukaan laut, sering kali menambah beberapa meter. Faktor-faktor ini menjadi penyebab utama erosi pantai yang terpapar aktivitas gelombang kuat. Di area dengan perlindungan pantai kerikil seperti di Inggris, *wave runup* selama badai dapat mencapai dua kali tinggi gelombang signifikan dan mencapai hingga 12 meter di atas permukaan laut rata-rata dalam kondisi ekstrem (Poate et al., 2016).

Erosi pantai, yaitu perubahan morfologi pantai yang menyebabkan garis pantai surut, disebabkan

oleh berbagai faktor seperti gelombang, perubahan iklim, badai, kenaikan permukaan laut, pasang surut, perubahan sudut datang gelombang, dan ketidakseimbangan sedimen (Bird, 2008; Marfai et al., 2008a; Day et al., 2008). Bahaya utama erosi pantai oleh resesi horizontal pantai berpasir dan bukit pasir (Leaman et al., 2021). Upaya besar telah dilakukan untuk mengurangi erosi pantai, dengan menggunakan groin, pemecah gelombang, dan berbagai struktur lainnya. Di Eropa, upaya pengurangan erosi pantai dilakukan dengan memodelkan penjarangan gelombang ke arah garis pantai dengan menggunakan persamaan air dangkal berpori dua dimensi dengan viskositas buatan (Schlegel & Schulz, 2022). Di Korea, pembangunan geotube di Pantai Young Jin berhasil memperpanjang garis pantai sejauh 2,4 hingga 7,6 meter (Fowler et al. dalam Hisyam, 2017). Untuk mengatasi erosi pantai di Indonesia, sering kali digunakan struktur pelindung pantai seperti tembok laut, tanggul, pemecah gelombang, groin, dan revetment (Sulaiman, 2012).

Salah satu pantai strategis di Indonesia yaitu Pantai Manggar Baru yang terletak di Kota Balikpapan. Pantai ini merupakan destinasi wisata pesisir yang juga berfungsi sebagai pelabuhan perahu nelayan dimana pada tahun 2013, tercatat 1.736 penduduk bekerja sebagai nelayan (Saleha, 2013). Perkembangan pantai di Kota Balikpapan sebagai kawasan wisata dan pemukiman memicu kerusakan pesisir akibat abrasi dan sedimentasi. Proses sedimentasi dan erosi ini mengakibatkan perubahan garis pantai dan secara bertahap mengikis daratan di sekitar pantai (Irwan dan Ihsan, 2020).

Di Pantai Manggar Baru, dibangun pemecah gelombang lepas pantai, geotube, dan tembok laut. Pembangunan struktur paralel seperti pemecah gelombang dapat meningkatkan sedimentasi yang membentuk salients atau tombolo, yang pada akhirnya mengubah pola garis pantai (Suhaemi dan Riandini, 2013). Namun, setelah pemecah gelombang lepas pantai dibangun, beberapa masalah tetap muncul, seperti gelombang yang masih mencapai area pemukiman, menyebabkan erosi lebih lanjut. Selain itu, aliran sungai yang masuk antara pantai dan pemecah gelombang mengganggu perahu nelayan yang bersandar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur perlindungan yang ada memerlukan penyesuaian lebih lanjut untuk mengatasi permasalahan ini secara efektif.

Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang ada, Hal-hal yang perlu dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Evaluasi bangunan pantai Manggar Baru yang ada dalam mengatasi erosi.
2. Jika hasil evaluasi bangunan pantai Manggar Baru tidak efektif maka perlu dilakukan perancangan ulang.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan, diantaranya:

1. mengevaluasi bangunan pelindung yang sudah dibangun dalam menanggulangi erosi,
2. memberikan usulan penyempurnaan dan perencanaan bangunan pelindung pantai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pemecah Gelombang Lepas Pantai

Triatmodjo (2020) menyatakan pemecah gelombang lepas pantai merupakan bangunan yang terpisah dan sejajar dengan garis pantai. Gelombang yang menuju pantai terhalang oleh bangunan pantai tersebut sehingga gelombang yang sampai pantai sudah mengecil. Hariadi (2021) dalam penelitian pengaruh *detached breakwater* terhadap endapan sedimen, menyimpulkan bahwa pembangunan pemecah gelombang lepas pantai merupakan langkah efektif untuk mencegah angkutan sedimen yang terbawa oleh gelombang menuju ke laut dan dapat mencegah pendangkalan pada dasar laut yang disebabkan oleh angkutan sedimen. Menurut Hidayat (2006) upaya pengurangan tenaga gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membangun bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*Offshore Breakwater*), dengan adanya bangunan tersebut, gelombang yang datang akan menghantam pantai sudah pecah pada suatu tempat yang sedikit jauh dari pantai, sehingga energi gelombang yang sampai di pantai cukup kecil. Pemecah gelombang dapat pula digunakan untuk menahan sedimen yang kembali ke laut yang disebabkan oleh arus laut (*onshore-offshore transpor*). Lama-kelamaan sedimen yang tertahan tersebut menumpuk dan membentuk tombolo, tombolo ini nantinya berfungsi sebagai penahan sedimen sejajar pantai, tapi pembentukan tombolo ini memakan waktu yang lama. Menurut Durgappa (2008) Pengurangan energi gelombang yang mengenai pantai dapat dilakukan dengan pembuatan bangunan pemecah gelombang yang dengan sejajar pantai (*offshore breakwaters*).

Prinsip dari pemecah gelombang ini seperti prinsip perlindungan alami terumbu karang. Gelombang besar yang menghempas pantai kemudian, ditahan dan dihancurkan sebelum mencapai garis pantai, sehingga ketika mencapai garis pantai energi gelombang sudah jauh berkurang sehingga, transporasi sedimen di daerah tersebut akan berkurang dan akan terjadi pengendapan.

Tembok Laut

Triatmodjo (2020) tembok laut dapat menjadi pelindung dari serangan gelombang serta agar tidak terjadi limpasan. Tembok laut biasanya digunakan untuk melindungi fasilitas umum pemukiman penduduk yang dekat dengan garis pantai. Purwono (2021) dalam penelitiannya, menyimpulkan pembangunan tembok laut dapat menahan gempuran gelombang.

Geotube

Paotonan dan Nurdin (2018) menyoroti fungsi geotube sebagai pelindung garis pantai terhadap abrasi dan erosi yang diakibatkan oleh gelombang laut. Penelitian mereka menunjukkan bahwa geotube dapat menjadi solusi perlindungan yang efektif, khususnya jika dipasang sejajar dengan garis pantai untuk mengurangi dampak energi gelombang.

Transport Sedimen Pantai

Rumus yang paling sederhana untuk menaksir jumlah angkutan sedimen menyusur pantai, yaitu menggunakan rumus CERC (*US Army Corps of Engineers*, 1984).

$$S = pAH_0^2C_0(K_{Rbr}) \sin a_b \cos a_b \quad (1)$$

Keterangan:

S: jumlah angkutan pasir (m/tahun)

H_0 : tinggi gelombang signifikan di laut dalam, (m)

C_0 : cepat rambat gelombang di laut dalam (m/detik)

p: persentase kejadian gelombang

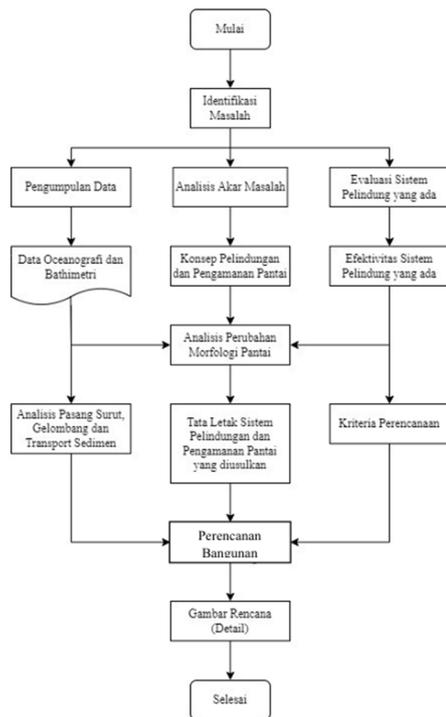
K_{Rbr} : koefisien refraksi di sisi luar *breaker zone*

a_b : Sudut datang gelombang pecah

A: koefisien CERC = $0,61 \times 10^6$ sd $0,79 \times 10^6$

3. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL dan PEMBAHASAN

Transport Sedimen Pantai

Pada perhitungan transpor sedimen menyusur pantai memerlukan data tinggi dan periode gelombang, peluang kejadian, data bathimetri dan arah datang gelombang terhadap garis pantai Berikut adalah perhitungan transpor sedimen untuk arah timur dengan $H = 0,75$ m dengan perkiraan nilai koefisien refraksi (K_{rbr}) sebesar 0,8.

$$L_0 = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 4,3^2 = 28,3$$

$$C_0 = 1,56 \times T = 1,56 \times 4,3 = 6,6$$

$$H'_0 = 0,8 \times 0,75 = 0,6$$

Nilai H'_0/L_0 dapat dihitung dan hasilnya adalah sebagai berikut.

$$\frac{H'_0}{L_0} = \frac{0,6}{28,3} = 0,021$$

Tinggi gelombang pecah (H_b) dapat dihitung, dengan hasil sebagai berikut.

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,3$$

Maka nilai tinggi gelombang pecah (H_b) adalah sebagai berikut.

$$H_b = 1,3 \times H'_0 = 1,3 \times 0,6 H_b = 0,78 \text{ m}$$

Kedalaman gelombang pecah (d_b) sebagai berikut.

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{0,78}{9,81 \times 4,3^2}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = 0,0044$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,09$$

$$d_b = 1,09 \times H_b = 1,09 \times 0,78 = 0,85 \text{ m}$$

Berikut ini adalah perhitungan nilai panjang gelombang pecah (L_b).

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{0,85}{28,3} = 0,030$$

$$\frac{d_b}{L_0} = 0,030 = \frac{d_b}{L_b} = 0,07135$$

$$L_b = \frac{d_b}{0,07135} = 11,91 \text{ m}$$

Transpor sedimen menyusur pantai (S) dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sin \alpha_b = \frac{L_b}{L_0} \sin \alpha_0 = \frac{11,91}{28,3} \sin 5^\circ$$

Maka sudut gelombang pecah adalah:

$$\alpha_b = 2,26^\circ$$

kontrol:

$$K_{rbr} = \left(\frac{\cos 5^\circ}{\cos 2,26^\circ} \right) = 0,998 = 0,8 = \text{tidak sesuai}$$

$$K_{rbr} = \left(\frac{0,8 + 0,998}{2} \right) = 0,899$$

Selanjutnya, transpor sedimen menyusur pantai dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S &= p \cdot A \cdot H_0^2 \cdot C_0 \cdot (K_{rbr})^2 \cdot \sin(\alpha_{br}) \cdot \cos(\alpha_{br}) \\ &= 1,14 \times 0,44 \cdot 10^6 \times 0,75^2 \cdot 6,6 \cdot (0,899)^2 \cdot \sin(2,26^\circ) \\ &\quad \cos(2,26^\circ) \\ &= 1.935,09 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan transpor sedimen yaitu: transpor (Q) ke arah selatan dari arah timur laut sebesar: $19,63 \text{ m}^3/\text{tahun}$, transpor (Q) ke arah selatan dari arah timur sebesar $12.996,08 \text{ m}^3/\text{tahun}$, transpor (Q) ke arah utara dari arah barat laut sebesar $22.350,45 \text{ m}^3/\text{tahun}$, transpor (Q) ke arah utara dari arah selatan = $14.982,44 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Total net transpor ke arah utara sebesar $18.227,02 \text{ m}^3/\text{tahun}$.



Gambar 2. Total net transpor sebesar $18.227,02 \text{ m}^3/\text{tahun}$ ke utara



Gambar 3. Hasil Perhitungan Transport Sedimen

Akar permasalahan pada pantai Manggar Baru adalah erosi akibat transport sedimen Pantai sepanjang pantai. Erosi ini menyebabkan mengalami kemunduran garis pantai. Bangunan pelindung pantai yang pertama kali dibangun untuk menanggulangi erosi adalah bangunan penangkap sedimen yang terbuat dari buis beton yang kondisinya banyak yang rusak dan juga permasalahan erosi yang terjadi di pantai Manggar Baru masih terjadi. Sehingga, pemerintah setempat membangun bangunan pelindung dan pengamanan baru, berupa pemecah gelombang yang bertujuan untuk mengurangi energi gelombang yang mengenai pantai, sehingga dapat menanggulangi erosi yang terjadi. Selain bangunan pemecah gelombang, pemerintah setempat membangun tembok laut dan *geotube* untuk menahan gempuran gelombang.

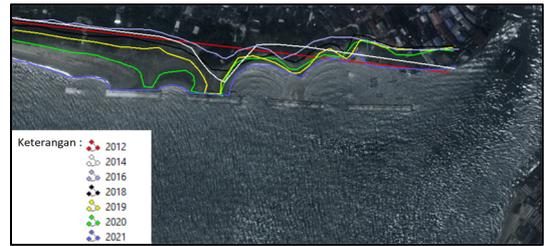
Perubahan Morfologi Pantai

Untuk memudahkan analisis dari pemecah gelombang, dilakukan penomoran untuk pemecah gelombang yang ditinjau.



Gambar 4. Pemecah gelombang yang ditinjau
 (Sumber: Google Earth)

Berikut ini merupakan perubahan garis pantai Manggar Baru dari tahun ke tahun.



Gambar 5. Perubahan garis pantai Manggar Baru
 (Sumber: Google Earth)

Berdasarkan hasil pengamatan peta *google earth*, pemecah gelombang (2), (3), dan (4) membuat garis pantai maju. Garis pantai di pemecah gelombang (1) yang berada dekat sungai tidak maju secara signifikan. Pemecah gelombang (1) digunakan nelayan untuk tempat melabuhkan kapal.



Gambar 6. Kapal berlabuh di pemecah gelombang
 (Sumber: Google Earth)

Evaluasi Pelindung dan Pengamanan Pantai Manggar Baru

Pada Gambar 7. terlihat gelombang masuk di celah pemecah gelombang (1) dan (2), kemudian masuk di sela *geotube* dan tembok laut. Opsi yang diusulkan adalah mengganti *geotube* dengan tembok laut.



Gambar 7. Gelombang melewati pemecah gelombang, *geotube*, dan tembok laut.

Konsep Pelindungan dan Pengamanan Pantai Manggar Baru

Konsep pelindungan dan pengamanan dapat dilakukan dengan: Mengganti *geotube* dengan tembok laut, karena *geotube* bukan bangunan yang dapat bertahan lama, sehingga diperlukan penambahan tembok laut agar dapat menahan gempuran gelombang yang masuk melewati celah

pemecah gelombang. Tata Letak dari tembok laut sendiri berada di bangunan *geotube* saat ini.

Perencanaan Bangunan

1. Kriteria Perencanaan

Berikut ini merupakan kriteria perencanaan bangunan:

- Tembok laut yang akan dibangun bertujuan untuk menahan gempuran gelombang yang datang setelah melewati pemecah gelombang
- Lapis pelindung yang digunakan adalah tetrapod dan batu pecah, karena tinggi *run up* dengan tetrapod yang cukup rendah, sehingga tinggi bangunan tidak terlalu tinggi.
- Tembok laut yang direncanakan adalah *non overtopping*.

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*:

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

$$SS = 0,01(1013-1000) = 0,13 \text{ m}$$

Perhitungan elevasi muka air rencana:

$$DWL = 2,58 + 0,13 + 0,0 = 2,71 \text{ m}$$

3. Gelombang Rencana

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

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

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

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.

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

Berdasarkan kemiringan pantai di lokasi studi dirnana pantai relatif landai, maka, tinggi gelombang pecah dapat dihitung sebagai berikut.

$$H_b = 0,78 \cdot d_s = 0,78 \times 3,71 = 2,89 \text{ m}$$

Gelombang yang akan dipakai untuk keperluan perencanaan stabilitas bangunan pemecah gelombang adalah tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang sepuluh tahun $H_{s10th} = 2,65 \text{ m}$. 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.

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

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

Untuk fungsi d/L menggunakan nilai d/L_0 yang diperoleh pada Lampiran 1. maka nilai: $d/L_0 = 0,027$; $d/L = 0,06747$; kemudian didapatkan hasil sebagai berikut:

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

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

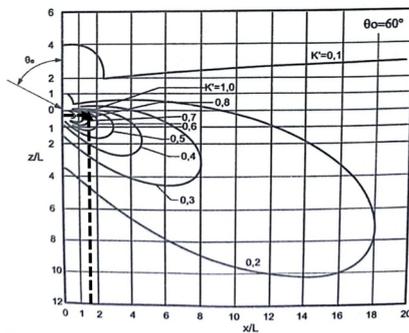
kemudian, untuk mendapatkan nilai K' , digunakan nilai $L = 40,16 \text{ m}$, dan $B = 30 \text{ m}$, $z = 2,71 \text{ m}$, $x = 60 \text{ m}$.

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

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

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

Dengan nilai $\frac{x}{L}$ dan $\frac{z}{L}$ didapatkan nilai K' sebagai berikut.



Gambar 8. Penentuan K'

Dengan nilai $K'=0,8$ didapatkan tinggi gelombang di lokasi rencana tembok laut (H_A) sebagai berikut:

$$H_A = 0,7 \times 2,65 = 1,91 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi gelombang rencana untuk tembok laut yang digunakan adalah $H_A = 1,85 \text{ m}$.

4. Berat dan tebal lapisan tembok laut

Berikut ini merupakan perhitungan lapis lindung tembok laut dengan panjang 30 m dengan tinggi gelombang ($H_i = 1,85 \text{ m}$) dengan material armor batu pecah, kondisi gelombang belum pecah, koefisien difraksi ($K_D = 2$). Berikut ini merupakan perhitungan berat dan tebal bangunan tembok laut:

berat lapisan utama (W), ton:

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

$$W = \frac{2,4 \times (1,85)^3}{2 \times (2,34 - 1)^3 \times 2} = 1,57 \text{ ton}$$

dimensi batu pecah, m:

$$d_e = \left(\frac{1,57}{2,4} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,86 \text{ m}$$

tebal lapis lindung batu pecah, m:

$$t = 2d_e = 2 \times 0,86 = 1,73 \approx 1,73 \text{ m}$$

berat lapisan kaki ($W/2$), ton:

$$\frac{W}{2} = \frac{1,57}{2} = 0,78 \text{ ton}$$

Lebar kaki dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$B_{toe} = 3H_D = 3 \times 1,85 = 5,55 \approx 5,6 \text{ m}$$

Tebal lapis pelindung kaki dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_{toe} = 2 \text{ diameter batu} = 2 \times 0,86 = 1,73 \approx 1,73 \text{ m}$$

5. Elevasi Puncak Bangunan

Elevasi puncak bangunan terdiri *design water level*, *run-up*, dan tinggi jagaan.

bilangan Iribaren tembok laut:

$$I_r = \frac{1}{\frac{2}{\left(\frac{1,85}{101,59} \right)^{\frac{1}{2}}}} = 3,7$$

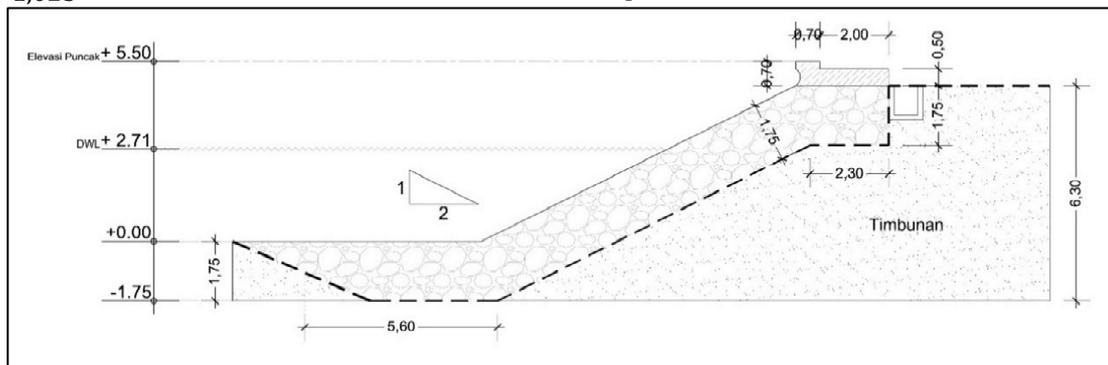
Berdasarkan grafik *run up* gelombang, didapatkan nilai *run up* untuk lapis lindung batu pecah: $R_u/H = 1,25$. Untuk *run up* dari tembok laut, adalah sebagai berikut.

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

$$\text{Tinggi tembok laut} = 2,71 + 2,3 + 0,5 = 5,5 \text{ m}$$

6. Gambar Teknis Bangunan

Berikut ini adalah gambar hasil desain perencanaan:



Gambar 9. Desain tembok laut

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan perhitungan, didapatkan kesimpulan berikut ini.

- 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), *geotube* dan tembok laut, gelombang masih bisa masuk melewati pemecah gelombang (1) kemudian masuk melewati celah antara tembok laut dan *geotube*, sehingga pemecah gelombang (1) (sisi utara), *geotube* dan tembok laut masih belum efektif.

- Berdasarkan hasil analisis penelitian, opsi yang direkomendasikan adalah mengganti

geotube dengan tembok laut. Spesifikasi bangunan tembok laut sisi miring yang direncanakan adalah sebagai berikut. Tinggi gelombang rencana (H_D): 1,85 m, elevasi muka air rencana (DWL): 2,71 m, bahan armor: batu pecah, berat armor: 1,57 ton, panjang bangunan: 30 m, Elevasi mercu: +5,5 m (LWLL), dan Lebar puncak bangunan: 3 m

Saran

Berdasarkan analisis dan perhitungan, didapatkan kesimpulan berikut ini.

1. Direkomendasikan bangunan Pantai tembok laut dibangun, agar memperbaiki kinerja bangunan Pantai yang dibangun
2. Dianjurkan untuk memperhitungkan aspek perubahan morfologi pantai sesudah penambahan bangunan tembok laut, dan membahas aspek ekonomi pada penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- Anfuso, G., Baldock, T. E., & González-Villanueva, R. (2020). Coastal morphodynamics and sediment transport processes: A review. *Earth Science Reviews*, *103*(3), 1-20.
- Bird, E. C. F. (2008). Coastal geomorphology: An introduction. *John Wiley & Sons*.
- Burvingt, O., Masselink, G., Russell, P., & Scott, T. (2017). A retrospective analysis of storm impacts on a sandy coastline using video-derived shoreline positions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *17*(5), 1-16.
- Ciavola, P., & Coco, G. (2017). Coastal storm impacts and their importance for management: A review. *Coastal Engineering Journal*, *64*(2), 146-157.
- Day, J. W., Gunn, J. D., Folan, W. J., Yáñez-Arancibia, A., & Horton, B. P. (2008). Dynamics of coastal systems. *Springer Science & Business Media*.
- Fowler, J., Kim, S. H., & Hisyam, M. (2017). Sand-filled geotextile tubes for shoreline stabilization at Young Jin Beach, Korea. *Journal of Coastal Research*, *33*(2), 380-390.
- Hidayat, I. (2006). Design and implementation of offshore breakwaters to protect coastal areas. *Journal of Coastal Protection Engineering*, *45*(3), 15-25.
- Leaman, C., Harley, M., Splinter, K., Thran, A., Kinsela, M., & Turner, I. (2021). A Storm Hazard Matrix combining coastal flooding and beach erosion. *Coastal Engineering*, *170*. <https://doi.org/10.31223/X5Q592>
- Marfai, M. A., King, L., Sartohadi, J., Sudrajat, S., Budiani, S. R., & Yulianto, F. (2008). Coastal hazards and community-coping strategies at the south coast of Java, Indonesia. *Environmental Geology*, *56*(1), 123-133.
- Moftakhari, H. R., Jay, D. A., Talke, S. A., & Cronin, T. M. (2015). Increased nuisance flooding in the future: Impact of sea level rise. *Earth's Future*, *3*(6), 229-249.
- Paotonan, M., & Nurdin, M. (2018). The role of geotubes in protecting coastlines from abrasion and erosion. *Journal of Coastal Engineering*, *67*(3), 255-266.
- Sánchez-Artús, X., Gracia, V., Espino, M., Sierra, J. P., Pinyol, J., & Sánchez-Arcilla, A. (2023). Present and future flooding and erosion along the NW Spanish Mediterranean Coast. *Frontiers in Marine Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1125138>
- Schlegel, L., & Schulz, V. (2021). Shape optimization for the mitigation of coastal erosion via porous shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, *123*, 5416 - 5441. <https://doi.org/10.1002/nme.7074>.
- Sulaiman, M. (2012). Coastal protection in Indonesia: Challenges and advancements. *Journal of Maritime Engineering*, *24*(2), 33-45.
- Suhaemi, & Riandini, R. (2013). Effectiveness of offshore breakwaters in sediment deposition. *Journal of Coastal Dynamics*, *41*(1), 21-30.
- Triatmodjo, B. (2020). *Coastal engineering*. Gadjah Mada University Press.
- Van Dongeren, A., Reniers, A., & Lowe, R. (2018). Coastal flooding mechanisms and management strategies. *Coastal Engineering Journal*, *63*(4), 112-135.
- Vitousek, S., Barnard, P. L., Fletcher, C. H., Frazer, N., Erikson, L., & Storlazzi, C. D. (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports*, *7*, 1-9.