

PERENCANAAN PEMECAH GELOMBANG (*BREAKWATER*) SISI MIRING DI PELABUHAN MERAK DENGAN MENGGUNAKAN BATU PECAH DAN TETRAPOD

Restu Wigati¹, Bambang Adhi Priyambodho², Shandi Irfani Sasmita³

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

restu.wigati@untirta.ac.id, shandi.sasmita@gmail.com

INTISARI

Dermaga VI Pelabuhan Merak berada di desa Tamansari, kecamatan Pulo Merak, Cilegon, memiliki panjang dermaga mencapai 145 meter, lebar 45 meter dan kedalaman 7,5 meter dengan tipe *wharf* akan dijadikan sebagai dermaga eksekutif. Tujuan dari penelitian ini yaitu merencanakan tata letak dan merancang pemecah gelombang pada koordinat $5^{\circ}93'80''$ LS $105^{\circ}99'16''$ BT sampai dengan $5^{\circ}94'11''$ LS $105^{\circ}99'49''$ BT sebagai alternatif untuk melindungi Pelabuhan Merak, khususnya Dermaga VI, merencanakan tipe pemecah gelombang, menentukan butir lapis lindung pemecah gelombang serta melakukan perhitungan dimensi pada pemecah gelombang.

Perhitungan butir lapis lindung menggunakan Metode Hudson untuk menentukan tebal lapis lindung rencana dan menggunakan material batu pecah dan tetrapod. Perhitungan dimensi pemecah gelombang didapat berdasarkan kemiringan 1:1,5; 1:2; dan 1:3. Selanjutnya data hasil perhitungan digambar tampak melintang dengan masing-masing kemiringan 1:1,5; 1:2; dan 1:3 dengan menggunakan material batu pecah dan tetrapod.

Hasil hitungan butir lapis lindung pada kemiringan 1:1,5 tiap 1 meter adalah $316,172 \text{ m}^3$ untuk batu pecah dan $296,676 \text{ m}^3$ untuk tetrapod, kemiringan 1:2 tiap 1 meter adalah $420,029 \text{ m}^3$ untuk batu pecah dan $403,863 \text{ m}^3$ untuk tetrapod, kemiringan 1:3 tiap 1 meter adalah $592,552 \text{ m}^3$ untuk batu pecah dan $577,925 \text{ m}^3$ untuk tetrapod. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa alternatif kemiringan yang paling memungkinkan untuk direalisasikan ialah pada kemiringan 1:2.

Kata-kata Kunci: Pemecah Gelombang, Metode Hudson, Variasi Kemiringan, Pelabuhan

ABSTRACT

Wharf VI at Merak Port is located in Tamansari, Pulo Merak Cilegon, has a wharf length reaching 145 meters, 45 meters wide and a depth of 7.5 meters with wharf type will serve as executive dock. The purpose of this research is to plan the layout and design the breakwater at coordinates $5^{\circ} 93'80''$ LS $105^{\circ} 99'16''$ BT up to $5^{\circ} 94'11''$ LS $105^{\circ} 99'49''$ BT as an alternative to protect the Port of Merak, especially Wharf VI, plotting the wave breaker type, determining the wave boundary protection layer and calculating the dimensions of the breakwater.

The calculation of layer protection using the Hudson Method to determine the thickness of the plan's protective layer and using rubble mound material and tetrapod. The calculation of the dimensions of the breakwater is obtained by the slope of 1:1.5; 1:2; and 1:3. Furthermore, the calculated data is drawn transversely with each slope of 1:1.5; 1:2; and 1:3 using rubble mound material and tetrapod.

The result of the count of the protective layer grains on the slope of 1:1.5 per 1 meter is $316,172 \text{ m}^3$ for rubble mound and $296,676 \text{ m}^3$ for tetrapod, the slope of 1:2 per 1 meter is $420,029 \text{ m}^3$ for rubble mound and $403,863 \text{ m}^3$ for tetrapod, 1:3 per 1 meter is $592,552 \text{ m}^3$ for rubble mound and $577,925 \text{ m}^3$ for tetrapod. The result of the research can be concluded that the most likely slope alternative to be realized is at the slope of 1:2.

Keywords: Breakwater, Hudson Method, Port, slop-variation

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mengembangkan Pelabuhan Merak menjadi Pelabuhan Eksekutif maka keamanan kapal yang bersandar harus diutamakan. PT. ASDP Indonesia Ferry (persero) telah membangun Dermaga VI Pelabuhan Merak yang akan dijadikan sebagai Dermaga Eksekutif.

Dermaga VI Pelabuhan Merak berada di desa Tamansai, kecamatan Pulo Merak, Cilegon, dengan panjang dermaga mencapai 145 meter, lebar 45 meter dan kedalaman 7,5 meter dengan tipe *wharf* akan dijadikan sebagai dermaga eksekutif. Pada bagian barat Dermaga VI Pelabuhan Merak tertutup oleh Pulau Merak Besar namun pada bagian barat daya, Dermaga VI Pelabuhan Merak langsung menghadap arah lautan selat sunda sehingga diperlukan pengaman apabila terjadi gelombang dan ombak yang besar di Pelabuhan Merak khususnya di Dermaga VI. Tujuan dari penelitian ini yaitu merencanakan tata letak dan merancang pemecah gelombang pada koordinat 5°93'80`` LS 105°99'16`` BT sampai dengan 5°94'11`` LS 105°99'49`` BT sebagai alternatif untuk melindungi Pelabuhan Merak, khususnya Dermaga VI, merencanakan tipe pemecah gelombang, menentukan butir lapis lindung pemecah gelombang serta melakukan perhitungan dimensi pada pemecah gelombang.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: *Google Earth*, 2018)

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Data Batimetri

Istilah batimetri berasal dari bahasa Yunani yaitu *Bathy-* yang berarti kedalaman dan *-metry* yang berarti ilmu ukur, sehingga batimetri didefinisikan sebagai pengukuran dan pemetaan dari topografi dasar laut (Pipkin *et.al.*, 1977). Batimetri merupakan ukuran tinggi rendahnya dasar laut dimana peta batimetri memberikan informasi mengenai dasar laut (Nurjaya, 1991).

b. Gelombang

Untuk merencanakan bangunan pemecah gelombang, studi ketenangan di pelabuhan dan fasilitas-fasilitas lainnya, diperlukan data gelombang. Data gelombang tersebut akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelabuhan. Selain itu gelombang juga bisa menimbulkan arus dan transport sedimen di daerah pantai (Bambang Triamojo, 2003).

Suatu gelombang yang menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi gelombang. Perubahan bentuk gelombang ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti refraksi gelombang, refleksi gelombang, difraksi gelombang, serta gelombang pecah.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang.

Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H_b}{L_0}\right)^{1/3}} \tag{1}$$

Adapun kedalaman air dimana gelombang pecah terjadi diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \tag{2}$$

Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut:

$$a = 43,57(1 - e^{-19m})$$

(3)

$$b = \frac{1,56}{(1 - e^{-19m})}$$

(4)

c. Angin

Pada suatu daerah, besaran angin diukur berdasarkan kecepatan (intensitas) dan jumlah banyaknya suatu periode tertentu (frekuensi) menggunakan menggunakan anemometer. Kecepatan angin biasanya dinyatakan dalam satuan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,62 mil/jam.

d. Pasang Surut

Pasang surut merupakan fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi.

e. Pemecah Gelombang

Hal-hal yang perlu diketahui dalam perencanaan pemecah gelombang antara lain tata letak, penentuan kondisi perencanaan, dan seleksi tipe struktur yang akan digunakan. Dalam penentuan tata letak (*lay out*) *breakwater* adalah kondisi lingkungan, ketenangan perairan, kemudahan maneuver kapal, kualitas air, dan rencana pengembangan. Kondisi-kondisi perencanaan yang dipertimbangkan yakni angin, ketinggian pasang surut, gelombang, dan kedalaman perairan serta kondisi dasar laut. (Suwandi, 2011).

i. Pemecah Gelombang Sisi Miring

Pemecah gelombang sisi miring biasanya dibuat dari tumpukan batu alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar atau beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang tipe ini banyak digunakan di Indonesia, mengingat dasar laut di pantai perairan Indonesia kebanyakan dari tanah lunak. Selain itu batu alam sebagai bahan utama juga banyak tersedia.

a) Stabilitas Batu Lapis Lindung

Dalam perencanaan pemecah gelombang sisi miring, ditentukan berat butir batu pelindung dengan menggunakan rumus Hudson.

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

(5)

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

(6)

Dimana W adalah tebal lapis lindung pemecah gelombang.

b) Elevasi Pemecah Gelombang

Elevasi pemecah gelombang diperoleh dengan rumus berikut:

$$El = HWL + R_U + \text{Tinggi}$$

(7)

Dimana R_U merupakan nilai *run up* gelombang yang diperoleh dari fungsi Iribaren :

$$Ir = \frac{tg \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} \tag{8}$$

Dari nilai bilangan Iribaren tersebut, besar *run up* gelombang juga didapat dari grafik R_U/H dengan nilai Ir .

c) Lebar Puncak Pemecah Gelombang

Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$B = nK_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3}$$

(9)

dengan:

Dimana B adalah lebar puncak pemecah gelombang dan K_Δ adalah koefisien lapis.

Tabel 1. Koefisien Lapis

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (K_Δ)	P (%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribar	2	random (acak)	1,02	54

Dolod	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47

Sumber : Perencanaan Pelabuhan (Triatmojo, 2003)

d) Tebal Lapis Pelindung dan Jumlah Butir Batu

Tebal lapis pelindung dan jumlah butir batu tiap satuan luasan diberikan dalam rumus berikut:

$$t = nK_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \tag{10}$$

$$N = AnK_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \tag{11}$$

dimana t adalah tebal lapis lindung dan N adalah jumlah butir lapis lindung per meter.

- ii. Pemecah Gelombang Sisi Tegak
Pemecah gelombang sisi tegak dibuat apabila tanah dasar mempunyai daya dukung besar dan tahan terhadap erosi. Pada tanah dasar dengan daya dukung rendah, dasar dari tumpukan batu dibuat untuk menyebarkan beban pada luasan yang lebih besar.
- iii. Pemecah Gelombang Campuran
Pemecah gelombang campuran terdiri dari pemecah gelombang sisi tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang tumpukan batu. Bangunan ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.

3. METODE PENELITIAN

a. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini dilakukan pengamatan pendahuluan agar didapat gambaran umum dalam mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang ada di lapangan

b. Pengumpulan Data

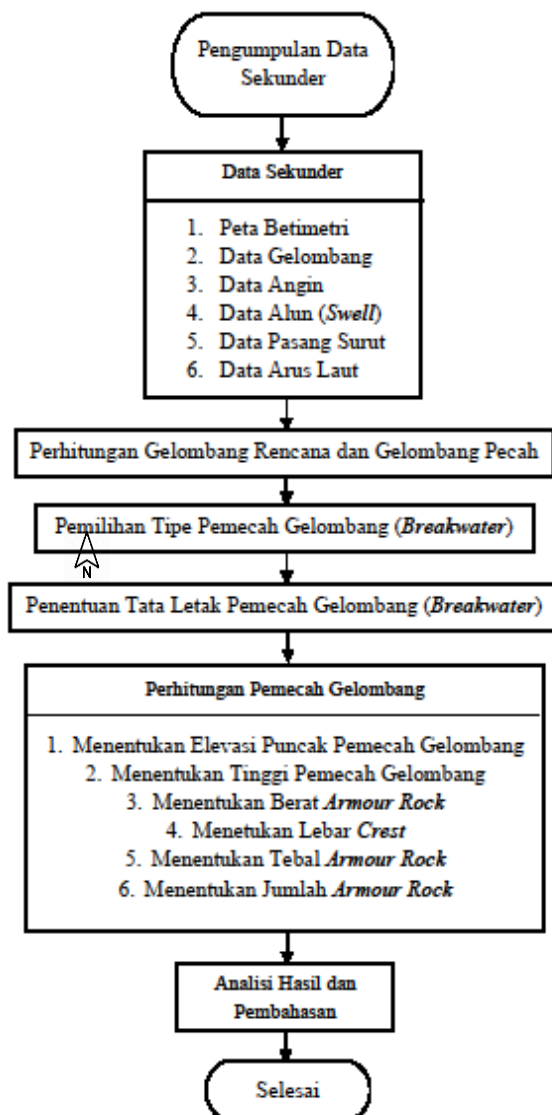
Pengumpulan data primer pada penelitian ini tidak dilakukan. Dalam penelitian ini data sekunder diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Dinas Hidro Oseanografi Angkatan Laut Indonesia dan juga dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika bidang Maritim. Data sekunder yang dimaksud disini berupa data arus, data gelombang, data angin. Data alun (*swell*) dan data pasang surut. Serta data kondisi eksisting Pelabuhan Merak didapat dari data sekunder PT. ASDP Indonesia Ferry.

c. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- i. Perhitungan gelombang rencana dan gelombang pecah
- ii. Pemilihan tipe pemecah gelombang
- iii. Penentuan tata letak pemecah gelombang
- iv. Menentukan elevasi puncak pemecah gelombang
- v. Menentukan tinggi pemecah gelombang
- vi. Menentukan berat *armour rock*
- vii. Menentukan lebar puncak pemecah gelombang
- viii. Menentukan jumlah *armour rock*

d. Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian
 Sumber : Perencanaan Pelabuhan (Triatmojo, 2003)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Menentukan Letak Pemecah Gelombang

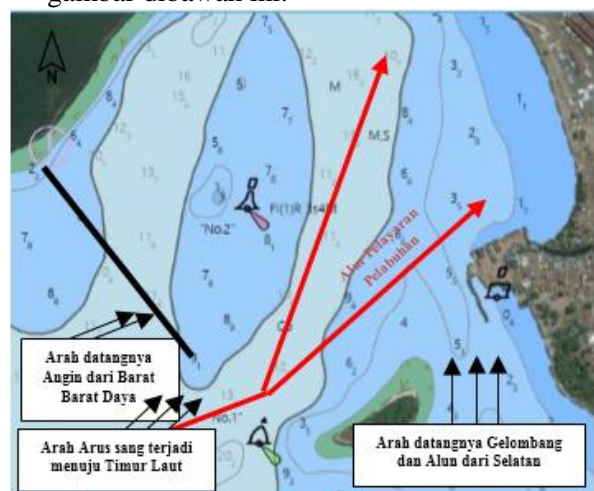
Tata letak pemecah gelombang yang akan direncanakan didasarkan pada faktor arah datangnya angin, gelombang, alun dan arus. Pengaruh angin, gelombang, alun dan arus pada wilayah perairan Pelabuhan Merak dari data yang telah didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Analisis Arah Datangnya Angin, Gelombang, Alun, Arus di Pelabuhan Merak

Jenis Data	Nilai	Arah Dominan
Angin	5,815 knot	Barat Barat Daya
Gelombang	2,19 m	Selatan
Alun	0,35 m	Selatan
Arus	34°	Timur Laut

(sumber: Anilsa Penulis,2018)

Dengan pertimbangan arah datangnya angin, gelombang, alun, arus dan alur pelayaran, tata letak pemecah gelombang yang diusulkan adalah seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Detail Analisa Pengaruh Angin, Gelombang, Alun dan Arus Pelayaran terhadap Letak Usulan Pemecah Gelombang
 (Sumber : Analisis Penulis, 2018)

b. Perhitungan Gelombang Rencana

Dari data yang telah diperoleh dari data sekunder perencanaan, diketahui bahwa:

Tinggi gelombang (H_0) = 1,67 m

Periode gelombang (T) = 3,1 m

• Panjang gelombang di laut dalam:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2 =$$

$$1,56(3,1)^2 = 14,9916 \text{ m}$$

• Cepat rambat gelombang adalah:

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{14,9916}{3,1} = 4,836 \text{ m/s}$$

• Untuk kedalaman 11,4 meter:

$$\frac{d}{L_0} = \frac{11,4}{14,9916} = 0,760$$

Dengan tabel yang bersumber dari buku Perencanaan Pelabuhan (Bambang Triatmodjo, 2009) untuk nilai d/L_0 berdasarkan nilai d/L :

$$\frac{d}{L} = 0,76011$$

$$L = \frac{11,4}{0,76011} = 14,978 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{14,978}{3,1} = 4,832 \text{ m/s}$$

Untuk menghitung koefisien pendangkalan, dicari nilai n dengan Dengan tabel (lampiran) yang bersumber dari buku Perencanaan Pelabuhan (Bambang Triatmodjo, 2009) untuk nilai d/L_0 berdasarkan nilai n (dengan interpolasi):

$$n_0 = 0,5007$$

$$n_1 = 0,5007 + \frac{1}{10}(0,5006 - 0,5007) = 0,50069$$

$$K_S = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} = \sqrt{\frac{0,5007 \times 0,760}{0,50069 \times 0,76011}} =$$

$$0,99 \approx 1$$

Untuk menghitung tinggi gelombang rencana perlu diketahui besarnya koefisien refraksi dari persamaan berikut:

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}}$$

Dengan α_0 merupakan sudut datangnya arus laut terhadap kontur dasar laut yaitu sebesar 34° dan besarnya α_1 perlu dicari dengan persamaan berikut:

$$\sin \alpha_1 = \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{4,932}{4,836} \sin 34^\circ = 0,5587$$

$$\alpha_1 = 33,97^\circ$$

Koefisien refraksi:

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 34^\circ}{\cos 33,97^\circ}} = 0,99979 \approx 1$$

Sehingga tinggi gelombang rencana yang akan digunakan dalam perencanaan pemecah gelombang di Pelabuhan Merak didapat dengan persamaan:

$$H = 1 \times 1,3 \times 1,67 = 1,67 \text{ m}$$

Dengan demikian tinggi gelombang rencana yang akan digunakan dalam perencanaan pemecah gelombang di Pelabuhan Merak pada kedalaman 11,4 meter adalah 1,67 meter.

c. Menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah

Untuk mengetahui nilai Tinggi gelombang pecah (H_b) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_b = \frac{H_0}{3,3 \sqrt[3]{\frac{H_0}{L_0}}}$$

$$H_b = \frac{1,727}{3,3 \sqrt[3]{\frac{1,67}{14,9916}}} = 1,05175 \text{ m}$$

Setelah tinggi gelombang pecah diperoleh, selanjutnya dihitung kedalaman gelombang pecah (d_b) dengan menggunakan grafik kedalaman gelombang pecah.

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{1,05175}{9,81 \times (3,1)^2} = 0,011$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,3$$

$$d_b = 1,3 H_b = 1,3 \times 1,05175 = 1,367 \text{ m}$$

Maka gelombang pecah akan terjadi pada kedalaman 1,367 m. karena $d_{LWL} < d_{HWL} < d_b$ dan, berarti di lokasi bangunan pada kedalaman 11,4 m gelombang sudah pecah.

d. Pemilihan Tipe Pemecah Gelombang

Dengan mempertimbangkan beberapa faktor dan melihat keuntung dan kerugian beberapa tipe pemecah gelombang tersebut, tipe pemecah gelombang yang akan digunakan adalah pemecah gelombang sisi miring.

Tinggi gelombang dan kedalaman laut pada waktu gelombang pecah adalah faktor penting yang harus diketahui, karena jika telah sampai pelabuhan gelombang masih belum pecah, tipe pemecah gelombang yang harus digunakan akan menjadi sangat besar dan memiliki elevasi tinggi berupa pemecah gelombang sisi tegak. Dari perhitungan tinggi gelombang pecah didapat 1,05175 meter pada kedalaman 1,367 meter dimana terjadi setelah gelombang sampai di pelabuhan. Dengan demikian gelombang pecah telah terjadi setelah memasuki daerah perairan di Pelabuhan Merak.

e. Penentuan Elevasi Pemecah Gelombang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan tinggi *runup*. Perhitungan perencanaan pemecah gelombang ini akan menggunakan tiga alternatif yang dibedakan dari

kemiringannya yaitu 1:1,5; 1:2; dan 1:3. Kemiringan yang lampirkan hanya 1:2.

Bilangan *Irrebaren*:

$$I_r = \frac{\tan \theta}{(H/L_0)^{0,5}} = \frac{1/2}{(1,67/14,9916)^{0,5}} = 1,5$$

Untuk lapis lindung dari batu pecah:

$$\frac{R_u}{H} = 0,75$$

$$R_u = 0,75 \times 1,67 = 1,25 \text{ m}$$

Untuk lapis lindung dari tetrapod:

$$\frac{R_u}{H} = 0,55$$

$$R_u = 0,55 \times 1,67 = 0,95 \text{ m}$$

f. Menentukan Berat Batu Pecah

Berat jenis batu yakni untuk batu pecah = 2,65 ton/m³ dan tetrapod = 2,4 ton/m³. Besaran koefisien lapis lindung juga yaitu K_D = 2 untuk batu pecah dan K_D = 7 untuk tetrapod.

➤ Untuk layer I:

- Untuk lapis lindung dari batu pecah

$$W_1 = \frac{2650 \times 1,67^3}{2(2,58-1)^{3,2}} = 782,28 \text{ kg}$$

- Untuk lapis lindung dari tetrapod

$$W_1 = \frac{2400 \times 1,67^3}{7(2,33-1)^{3,2}} = 339,37 \text{ kg}$$

➤ Untuk Layer II

➤ Untuk tebal lapisan lindung 1 batu pecah

$$t = 2 \times 1,15 \left(\frac{782,28}{2650} \right)^{1/3} = 1,53 \text{ m}$$

➤ Untuk tebal lapisan lindung 2 batu pecah

$$t = 2 \times 1,15 \left(\frac{78,23}{2650} \right)^{1/3} = 0,71 \text{ m}$$

➤ Untuk tebal lapisan lindung tetrapod

$$t = 2 \times 2 \left(\frac{339,37}{2400} \right)^{1/3} = 1,08 \text{ m}$$

i. Menentukan Jumlah Butir Batu Pelindung tiap 10 m²

$$W_2 = \frac{W_1}{10} = \frac{782,28}{10} = 78,3 \text{ kg}$$

sampai

$$W_2 = \frac{W_1}{15} = \frac{782,28}{15} = 52,15 \text{ kg}$$

➤ Untuk Layer III

$$W_3 = \frac{W_1}{200} = \frac{782,28}{200} = 3,91 \text{ kg}$$

sampai

$$W_3 = \frac{W_1}{6000} = \frac{782,28}{6000} = 0,13 \text{ kg}$$

g. Menentukan Lebar Puncak Pemecah Gelombang

W₁ = 782,28 kg (untuk batu pecah)

W₁ = 339,37 kg (untuk tetrapod)

➤ Untuk lebar puncak batu pecah

$$B = 3 \times 1,15 \left(\frac{782,28}{2650} \right)^{1/3} = 2,3 \text{ m}$$

➤ Untuk lebar puncak tetrapod

$$B = 3 \times 1,04 \left(\frac{339,37}{2400} \right)^{1/3} = 1,62 \text{ m}$$

h. Menentukan Tebal Lapis Lindung

Koefisien lapis lindung (K_Δ) untuk masing-masing jenis batu pelindung adalah 1,15 untuk batu pecah menggunakan batu alam bersudut kasar dan 1,04 untuk batu buatan (tetrapod).

Untuk lapis pelindung 1 batu pecah

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100} \right) \left(\frac{2650}{782,28} \right)^{2/3} = 32,68 \approx 33$$

Untuk lapis pelindung 2 batu pecah

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100} \right) \left(\frac{2650}{78,23} \right)^{2/3} = 150,42 \approx 150$$

Untuk lapis pelindung 3 batu pecah

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100} \right) \left(\frac{2650}{3,91} \right)^{2/3} = 1118,02 \approx 1118$$

Untuk lapis pelindung 1 tetrapod

$$N = 10 \times 2 \times 2 \left(1 - \frac{50}{100} \right) \left(\frac{2400}{339,37} \right)^{2/3} = 73,69 \approx 74$$

j. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Dimensi Pemecah Gelombang

Hasil perhitungan dimensi pemecah gelombang terhadap beberapa alternatif kemiringan dapat disimpulkan dalam tabel di bawah ini:

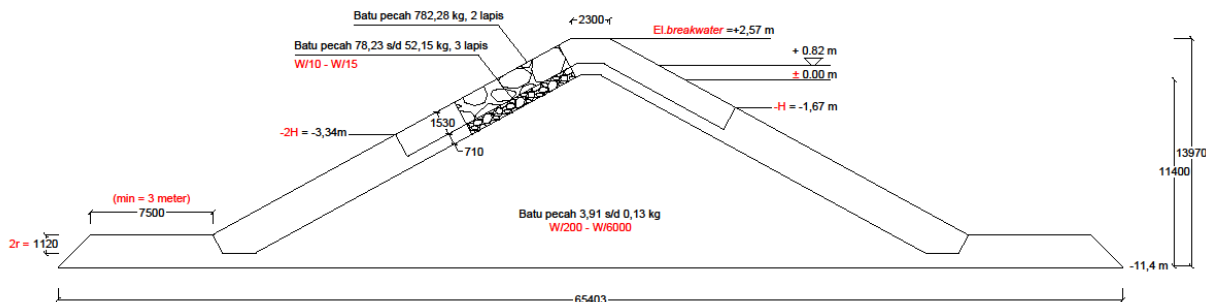
Tabel 3. Detail Perhitungan Lapis Lindung dan Pendimensian Pemecah Gelombang

Perhitungan Dimensi	Kemiringan cot θ =1,5		Kemiringan cot θ =2		Kemiringan cot θ =3	
	Batu Pecah	Tetrapod	Batu Pecah	Tetrapod	Batu Pecah	Tetrapod
Elevasi <i>Breakwater</i> (m)	2,91	2,49	2,57	2,27	2,16	2,00
Tinggi <i>Breakwater</i> (m)	14,31	13,89	13,97	13,67	13,56	13,4
Berat Batu Pecah (kg)						
Lapisan 1	1043,04	452,5	782,28	338,17	521,52	226,25
Lapisan 2	104,3 s/d 69,5		78,23 s/d 52,15		52,15 s/d 33,77	
Lapisan 3	5,215 s/d 0,174		3,91 s/d 0,13		2,61 s/d 0,087	
Lebar Puncak <i>Breakwater</i> (m)	2,53	1,79	2,3	1,62	2,0	1,42
Tebal Lapis Lindung <i>Breakwater</i> (m)						
Lapisan 1	1,7	1,19	1,53	1,08	1,34	0,95
Lapisan 2	0,78	0,78	0,71	0,71	0,6	0,6
Jumlah butir pelindung tiap 10 m ²						
Lapisan 1	27	32	33	38	43	50
Lapisan 2	125	125	150	150	199	199
Lapisan 3	923	923	1118	1118	1464	1464
Volume tiap m ³						
Lapisan 1	32,383	38,934	34,727	43,564	40,323	52,474
Lapisan 2	67,445	78,813	78,746	92,950	98,578	116,855
Lapisan 3	216,344	178,929	306,556	267,349	453,651	408,596
Volume Total	316,172	296,676	420,029	403,863	592,552	577,925

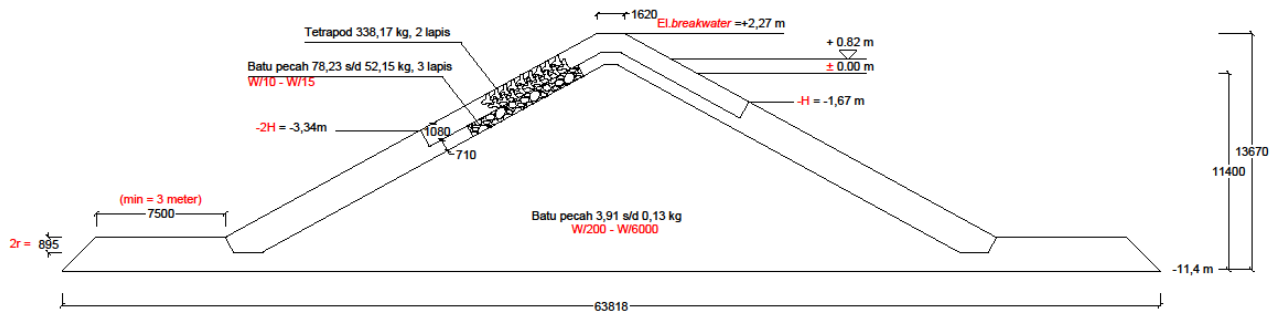
Sumber: Analisa Penulis, 2018

k. Gambar Desain Pendimensian Pemecah Gelombang

Dari hasil perhitungan pendimensian, berikut ini adalah gambar desain pendimensian pemecah gelombang untuk kemiringan cot θ =2



Gambar 4. Tampang Melintang Pemecah gelombang batu pecah dengan kemiringan cot θ =2 (Sumber : Analisis Penulis, 2018)



Gambar 5. Tampang Melintang Pemecah gelombang tetrapod dengan kemiringan cot $\theta = 2$
(Sumber : Analisis Penulis, 2018)

E. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Dari uraian pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Tata letak pemecah gelombang direncanakan dengan mempertimbangkan faktor arah datangnya angin, gelombang, *swell* dan arus. Direncanakan dengan posisi yang dapat melindungi dermaga dan area Pelabuhan Merak dari faktor-faktor tersebut. Untuk kedalaman rencana menggunakan kedalaman yang paling dalam yaitu 11,4 meter agar memiliki elevasi puncak pemecah gelombang dan dimensi yang sama, namun volume material akan berubah semakin sedikit karena perbedaan kontur didalam laut yang lebih rendah.
- 2) Tipe pemecah gelombang yang digunakan adalah tipe pemecah gelombang sisi miring dengan mempertimbangkan ketersediaan material batu pecah lebih mudah ditemukan di sekitar wilayah Banten yaitu Cilegon dan Merak dibandingkan jika membangun tempat pembuatan kaison.
- 3) Banyaknya butir lapis lindung pada kemiringan 1:1,5 memiliki penggunaan material yaitu 27 untuk batu pecah dan 61 untuk tetrapod tiap 10 m² pada lapisan pertama, 125 tiap 10 m² pada lapisan kedua, dan 923 tiap 10 m² pada lapisan ketiga. Pada kemiringan 1:2 memiliki penggunaan material yaitu 33 untuk batu pecah

dan 74 untuk tetrapod tiap 10 m² pada lapisan pertama, 150 tiap 10 m² pada lapisan kedua, dan 1118 tiap 10 m² pada lapisan ketiga. Pada kemiringan 1:3 memiliki penggunaan material yaitu 43 untuk batu pecah dan 97 untuk tetrapod tiap 10 m² pada lapisan pertama, 199 tiap 10 m² pada lapisan kedua, dan 1464 tiap 10 m² pada lapisan ketiga.

- 4) Dalam segi banyaknya material, pemecah gelombang dengan kemiringan 1:1,5 memiliki volume yang paling sedikit yaitu 316,172 m³ untuk batu pecah dan 296,676 m³ untuk tetrapod. Kemiringan 1:2 memiliki volume sebesar 420,029 m³ dan 403,863 m³ untuk tetrapod. Sedangkan untuk kemiringan 1:3 memiliki volume paling besar dikarenakan kemiringannya yang paling landau yaitu 592,552 m³ untuk batu pecah dan 577,925 m³ untuk tetrapod.

b. Saran

- 1) Analisis finansial perlu dikaji lebih lanjut untuk menentukan alternatif kemiringan mana yang sebenarnya lebih memungkinkan untuk direalisasikan.
- 2) Faktor stabilitas pemecah gelombang perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui tingkat keamanan (factor safety) pada perencanaan pemecah gelombang.
- 3) Apabila direalisasikan, dengan adanya pemecah gelombang maka arus laut dan gelombang akan

tereduksi dan hal ini justru akan memicu terjadinya sedimentsi di sekitar area perencanaan pembangunan pemecah gelombang. Hal ini perlu dikaji lebih lanjut agar tidak terjadi pendangkalan dasar laut khususnya di area alur pelayaran masuknya kapal.

- 4) Meskipun tipe pemecah gelombang sisi miring lebih mudah diperbaiki, kerusakan pada pemecah gelombang ini perlu secara rutin diperhatikan dan dilakukan perawatan yang berlanjut karena kerusakannya dapat terjadi secara berangsur-angsur.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Adur, SA. (2011). *Evaluasi Posisi Dermaga Pelabuhan Merak Ditinjau dari Aspek Manuver Kapal dan Kondisi Lingkungan*. Depok: Skripsi Universitas Indonesia
- Arikunto, Suharsini. (1998). *Prosedur Penelitian*. Edisi Revisi IV. Jakarta: Rineka Cipta
- Cempaka, Aisyah. (2012). *Perencanaan Pemecah Gelombang Pelabuhan Perikanan Pondok Mimbo Situbondo*. Jember: Skripsi Universitas Jember
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual (Vol. I)*. Washington, DC: US Army Corps of Engineer
- Febriansyah. (2012). *Perencanaan Pemecah Gelombang (Breakwater) di Pelabuhan Merak*. Depok: Skripsi Universitas Indonesia
- Gunbak, Ali Riza. (2004). *Rubble Mound Breakwater Design and Model Testing of Water Intake for Sohar Industrial Area*. Istanbul: STFA Marine Construction
- Irma Suryani dkk. (2012). *Pedoman dan Penyusunan Tugas Akhir*. Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Irwan, Y.W.B. (2006). *Perencanaan Pemecah Gelombang (Breakwater) pada Reklamasi Pantai Waimeo*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Juhl, Jorgen dan Jensen, O.J. (1995). *Features of Berm Breakwaters and Practical Experience*. Rio de Janeiro: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries
- Kramadibrata, Soedjono. (1985). *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung: Ganeca Exact
- Marzuki. (1977). *Metedologi Riset*. Yogyakarta: BPFE-UII
- Nazir, Mohamad. (1988). *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia
- Nguyen Dai Viet dkk. (2008). *Conceptual Design for The Breakwater System of The South of Doson Naval Base: Optimisation Versus Deterministic Design*. Dubai: COPEDEC VII Paper no. 053
- Palmer, G.N dan Christian, C.D. (1998). *Design and Construction of Rubble Mound Breakwaters*, IPENZ transactions, Vol. 25 No.1/CE
- Perry, M.C. and Heilman, D.J. (2005). *Planning and Construction of Shore Protection at Shamrock Island, Texas: Project Update*. Texas: Shiner Moseley and Associates., Inc
- Refi, Ahmad. (2009). *Analisa Breakwater pada Pelabuhan Teluk Bayur dengan Menggunakan Batu Alam, Tetrapod dan A-Jack*. Padang: Institut Teknologi Padang
- Surgent, F.E and Bottin, R.R. (1989). *Case Histories of Corps Breakwater and Jetty Structures*. New England: CERC
- Saputro, Suwandi. (2009). *Gelombang Laut*. Jakarta
- Triatmojo, Bambang. (2003). *Perencanaan Pelabuhan (3rd ed.)*. Yogyakarta: Beta Offset
- Triatmojo, Bambang. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset