

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Perencanaan *Breakwater*

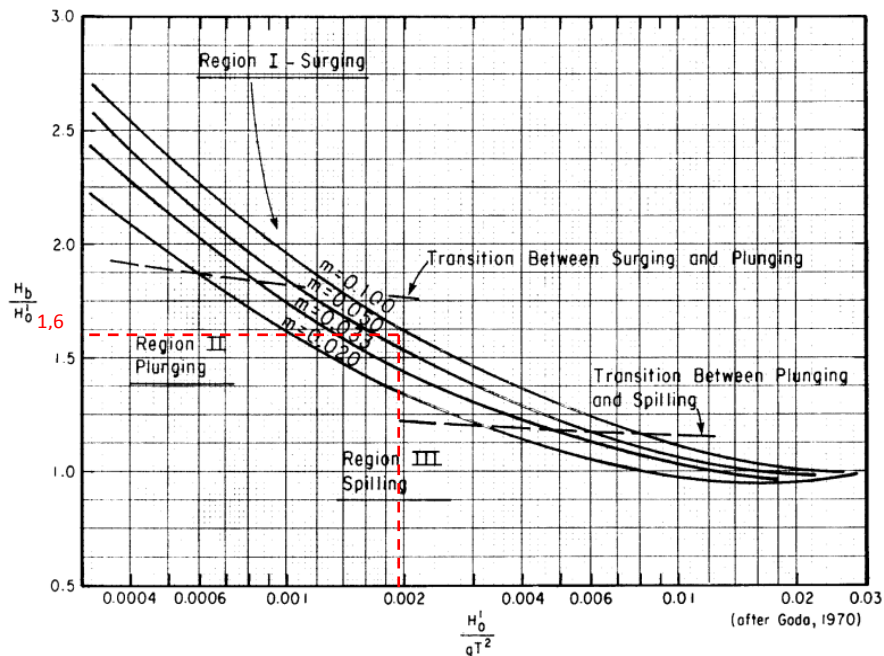
Hasil dari penelitian ini berupa perhitungan gelombang pecah, elevasi muka air rencana, perencanaan *breakwater*, serta hasil simulasi kondisi eksisting dan setelah dibangun *breakwater*.

5.1.1. Gelombang Pecah

Diketahui :

- Tinggi gelombang laut dalam (H_0) = 4 m (diperoleh dari hasil simulasi kondisi eksisting)
- Kemiringan pantai (m) = 0,08
- Percepatan gravitasi (g) = 9,80665 m/s²
- Periode gelombang = 15 s

Penentuan tinggi gelombang pecah menggunakan grafik hubungan indeks H_b/H_0 dan H_0^3/gT^2 pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1. Grafik penentuan tinggi gelombang pecah rencana (CERC, 1984)

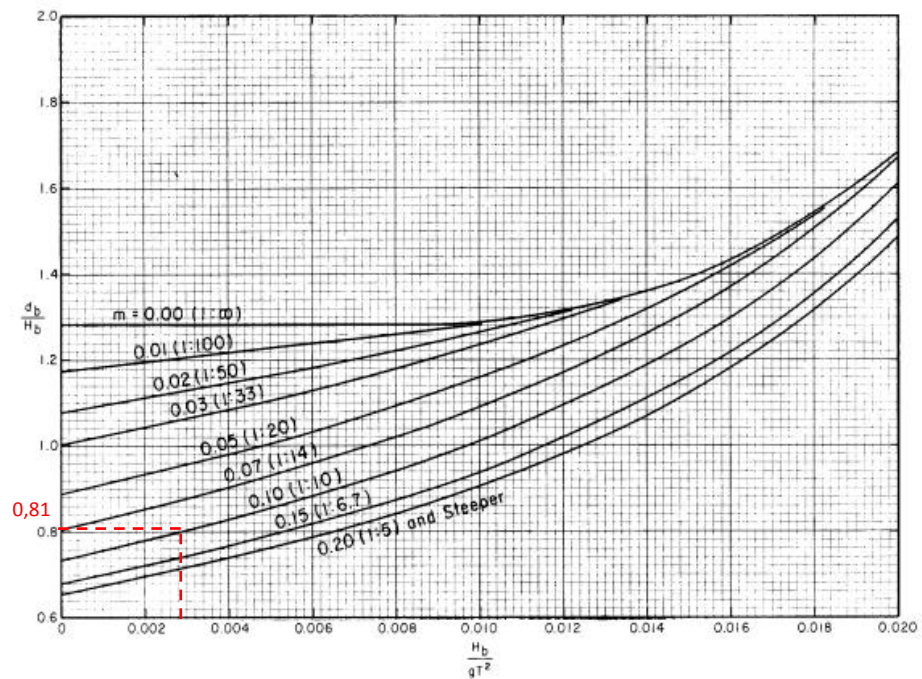
Koefisien refraksi dan difraksi tidak diperhitungkan, sehingga tinggi gelombang laut ekuivalen sama dengan tinggi gelombang laut dalam.

$$H'_0 = H_0 = 4 \text{ m}$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{4}{9,80665 \times 15^2} = 0,00181 \text{ (plotkan pada grafik Gambar 5.1)}$$

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,6 \rightarrow H_b = 4 \times 1,6 = 6,4 \text{ m}$$

sedangkan penentuan kedalaman dimana gelombang pecah pada berbagai kemiringan dasar laut menggunakan grafik hubungan indeks d_b/H_b dan H_b/gT^2 pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2. Grafik penentuan kedalaman gelombang pecah rencana (CERC, 1984)

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{6,4}{9,80665 \times 15^2} = 0,00290 \text{ (plotkan pada grafik Gambar 5.2)}$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 0,81 \rightarrow H_b = 0,81 \times 6,4 = 5,184 \text{ m}$$

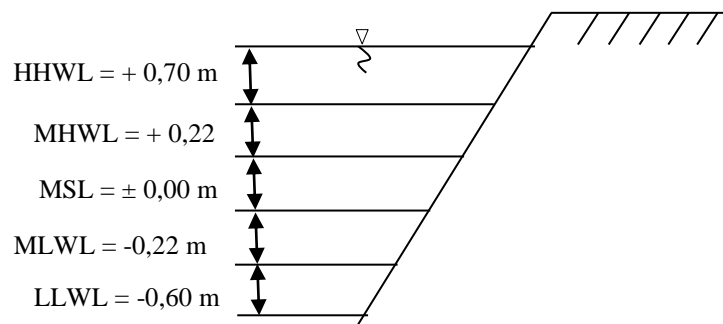
Gelombang mengalami pecah pada ketinggian 6,4 m dan kedalaman 5,184 m, tipe gelombang pecah adalah tipe transisi *surging* dan *plunging*. Sehingga pada kedalaman *breakwater* rencana 3-4 m tidak terjadi gelombang pecah, namun peluruhan dari gelombang pecah.

5.1.2. Elevasi Muka Air Rencana

Pada penelitian ini elevasi muka air rencana tergantung dari fluktuasi muka air laut akibat pasang surut, *wave set-up*, *wind set-up*, dan pemanasan global. Hal ini dipertimbangkan karena dalam perencanaan *breakwater*, kemungkinan terjadi semua parameter tersebut sangatlah kecil.

1. Pasang surut

Elevasi muka air akibat pasang surut diperoleh dari data pasang surut jam-jaman pada tahun 1998 hingga 2018. Diperoleh elevasi pasang surut seperti pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3. Elevasi muka air pasang surut rencana

2. *Wave Set-up*

Nilai *wave set-up* diperoleh dengan rumus :

$$\begin{aligned} S_w &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \\ &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{5,57}{9,80665 \times 20^2}} \right] 5,57 \\ &= 0,04 \text{ m} \end{aligned}$$

3. *Wind Set-up*

Diketahui :

$$F = 108,34 \text{ km} = 108340 \text{ m (dari pengukuran fetch)}$$

$$v = 15 \text{ knot} = 7,71 \text{ m/s}$$

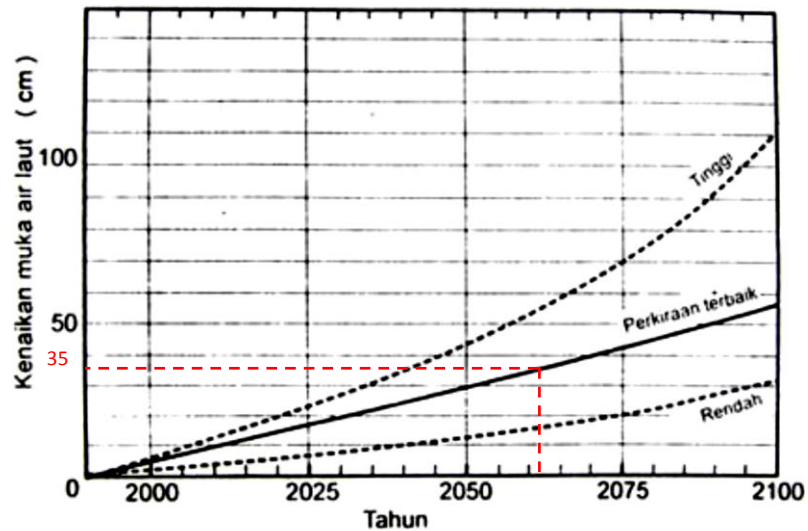
$$d = 18 \text{ m (dari kedalaman maksimum batimetri)}$$

Nilai *wind set-up* diperoleh dengan rumus :

$$\Delta h = Fc \frac{v^2}{2gd} = 108340 \times (3,5 \times 10^{-6}) \times \frac{7,71^2}{2 \times 9,80665 \times 18} = 0,0638 \text{ m}$$

4. Pemanasan Global

Breakwater dirancang dengan umur 50 tahun yaitu dari tahun 2019 hingga 2064. Elevasi muka air karena pemanasan global diperkirakan dengan tabel pada Gambar 5.4 berikut. Diperoleh kenaikan sebesar 35 cm atau 0,35 m.



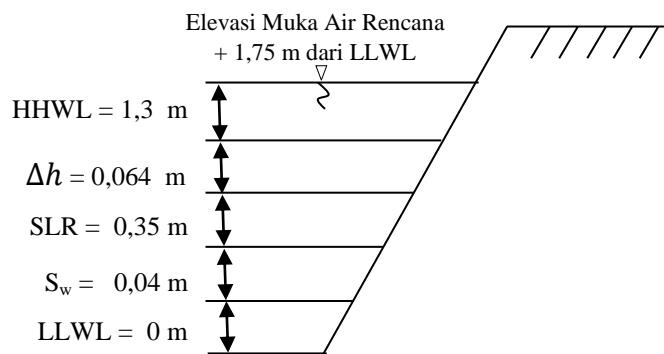
Gambar 5.4. Grafik penentuan kenaikan air laut akibat pemanasan global rencana (Triatmodjo, 1999)

5. Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana diperoleh dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 HWS &= S_w + \Delta h + SLR + HHWL \\
 &= 0,048 + 0,064 + 0,28 + 1,3 \\
 &= 1,75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga secara keseluruhan elevasi muka air rencana seperti pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5. Sketsa elevasi muka air rencana

5.1.3. Dimensi *Breakwater*

1. Elevasi Puncak *Breakwater*

Elevasi puncak direncanakan dengan parameter sebagai berikut:

- Tinggi bebas (H_{tb}) = 0,5 m
- Kemiringan *breakwater* (θ) = 0,5
- Tinggi gelombang di lokasi *breakwater* (H) = 3,2 m (hasil simulasi)

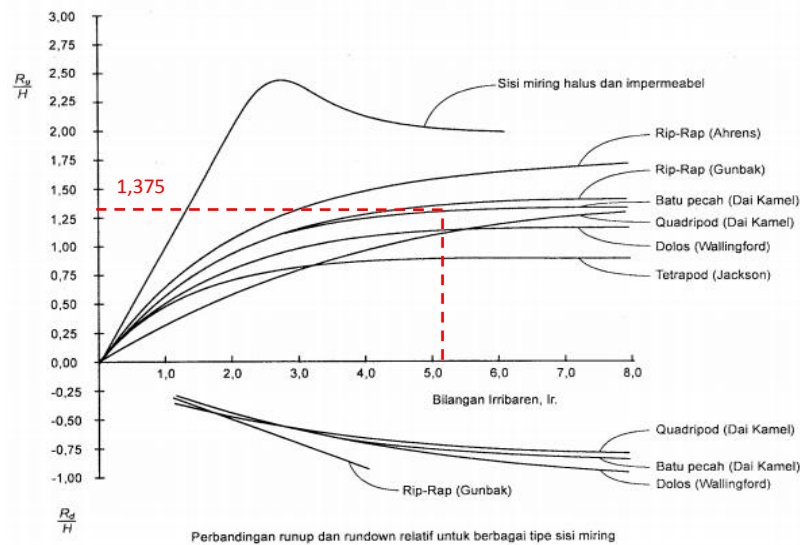
Panjang gelombang di laut dalam dihitung menggunakan rumus :

$$L_0 = 1,56.T^2 = 1,56.15^2 = 351 \text{ m}$$

Bilangan Iribaren dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{tg\theta}{(H/L_0)^{0,5}} \\ &= \frac{0,5}{(0,5/351)^{0,5}} \\ &= 5,236 \end{aligned}$$

Bilangan tersebut diplotkan pada grafik (lihat Gambar 5.6)

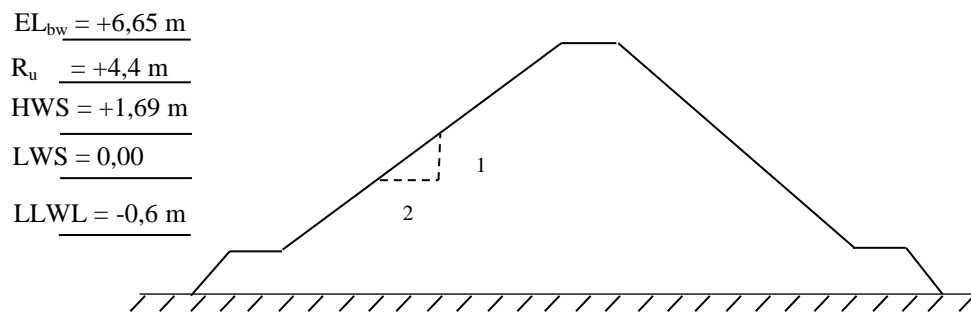


Gambar 5.6. Grafik bilangan irribaren (CERC, 1984)

$$\frac{R_u}{H} = 1,375 \rightarrow R_u = 1,375 \times 3,2 = 4,4 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh elevasi puncak breakwater dengan rumus :

$$\begin{aligned} El_{BW} &= HWS + R_u + H_{tb} \\ &= 1,75 + 4,4 + 0,5 \\ &= 6,65 \text{ m} \end{aligned}$$

Gambar 5.7. Sketsa elevasi puncak *breakwater*

2. Berat Butir Lapis Pelindung

Berat butir lapis lindung diperhitungkan dengan persamaan 2.21 dan menggunakan parameter-parameter pada tabel 2.2 di bab 2. *Breakwater* berada pada gelombang pecah dengan kemiringan $\cot \theta = 2,0$, serta butir lapis lindung direncanakan bersudut kasar dan penempatannya acak. Perencanaan parameter berat butir lapis lindung sebagai berikut :

- Diperoleh koefisien stabilitas (K_D) dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 5.1. Koefisien Stabilitas Lapis Lindung Rencana (Triatmodjo, 2009)

Lapis lindung	n	penempatan	Lengan Bangunan K_D Gelombang Pecah	Kepala Bangunan K_D Gelombang Pecah	Kemiringan Cot θ
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	2,1	2,0

- Berat jenis armour batu bersudut kasar (γ_{r1}) = $2,65 \text{ ton/m}^3$
- Berat jenis air laut (γ_a) = $1,025 \text{ ton/m}^3$
- Kemiringan (Cot θ) = $2,0$

Berat lapis lindung batu bersudut kasar untuk *primary layer* diperoleh dengan rumus :

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2,65 \text{ ton/m}^3}{1,025 \text{ ton/m}^3} = 2,585$$

Berat lapis pelindung badan bangunan :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{badan}} &= \frac{\gamma_{r1} H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \\
 &= \frac{2,65 \text{ ton/m}^3 (2,5 \text{ m})^3}{2,2 (2,585 - 1)^3 2} \\
 &= 2,36170 \text{ ton} = 2361,70 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat lapis lindung kepala bangunan :

$$\begin{aligned}
 W_{kepala} &= \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \\
 &= \frac{2,65 \text{ ton/m}^3 (2,5 \text{ m})^3}{2,1 (2,585 - 1)^3 \cdot 2} \\
 &= 2,47416 \text{ ton} = 2474,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat lapis lindung untuk *secondary layer* dan *toe-berm* $W_{primary}/10$, sedangkan berat lapis lindung untuk *core layer* $W_{primary}/200$, sehingga secara keseluruhan diperoleh berat lapis pelindung sebagai berikut (lihat tabel 4.2)

Tabel 5.2. Berat Lapis Lindung Rencana

<i>Primary Layer</i>	$\gamma_a(\text{ton/m}^3)$	$\gamma_r(\text{ton/m}^3)$	K_D	$\cot \theta$	W (kg)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,1	2	2474,16
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,2	2	2361,70
<i>Secondary Layer</i>	$\gamma_a(\text{ton/m}^3)$	$\gamma_r(\text{ton/m}^3)$	K_D	$\cot \theta$	W (kg)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,1	2	247,42
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,2	2	236,17
<i>Core Layer</i>	$\gamma_a(\text{ton/m}^3)$	$\gamma_r(\text{ton/m}^3)$	K_D	$\cot \theta$	W (kg)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,1	2	12,37
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,2	2	11,81
<i>Toe-berm</i>	$\gamma_a(\text{ton/m}^3)$	$\gamma_r(\text{ton/m}^3)$	K_D	$\cot \theta$	W (kg)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,1	2	247,42
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	1,025	2,65	2,2	2	236,17

3. Lebar Puncak *Breakwater*

Lebar puncak *breakwater* diperhitungkan dengan menentukan nilai koefisien lapis k_Δ dan beberapa parameter sebagai berikut:

- Jumlah lapis pelindung:
Batu alam (kasar) $n = >3$
- Berat jenis *armour* :
Batu alam (kasar) (γ_{r1}) = 2650 kg/m³

Tabel 5.3. Koefisien lapis puncak rencana (Triatmodjo, 2009)

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_{Δ})	Porositas, P(%)
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40

Lebar puncak *breakwater* untuk *armour* batu alam (kasar) dihitung menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 B &= nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \\
 &= 3 \times 1,10 \left[\frac{2474,16 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3} \right]^{1/3} \\
 &= 3,225 \text{ m} \approx 3,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4. Lebar puncak rencana

Batu Pelindung	n	γ_r (kg/m ³)	k_{Δ}	W (kg)	B (m)
Batu alam (kasar)	>3	1,10	1,10	40	3,3

Keterangan :

- Lebar *toe-berm* sama dengan lebar puncak *breakwater*
- Lebar *secondary layer* dan *core layer* menyesuaikan dengan lebar *primary layer*

4. Tebal Lapis Pelindung

Lapis pelindung direncanakan pada *primary layer* dan *secondary layer* sebagai berikut :

- Jumlah lapis lindung (n) : 2 (*primary layer*) dan 3 (*secondary layer*)
- Berat jenis *armour* (γ_r) :
Batu alam (kasar), $\gamma_r = 2650 \text{ kg/m}^3$
- Koefisien lapis lindung rencana :

Tabel 5.5. Koefisien lapis puncak rencana (Triatmodjo, 2009)

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (K_{Δ})	Porositas, P(%)
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37

Tebal lapis pelindung untuk *primary layer* batu alam (kasar) dihitung dengan rumus :

Badan bangunan :

$$\begin{aligned}
 t &= nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \\
 &= 2 \times 1,15 \left[\frac{2361,70 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3} \right]^{1/3} \\
 &= 2,213 \text{ m} \approx 2,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kepala bangunan :

$$\begin{aligned}
 t &= nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \\
 &= 2 \times 1,15 \left[\frac{2474,16 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3} \right]^{1/3} \\
 &= 2,247 \text{ m} \approx 2,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama untuk tebal lapis pelindung batu alam (kasar) *secondary layer*. Sehingga diperoleh hasil tebal lapis lindung sebagai berikut.

Tabel 5.6. Tebal lapis pelindung rencana

<i>Primary Layer</i>	n	γ_r (kg/m ³)	K_{Δ}	W (kg)	t (m)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	2474,16	2,3
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	2361,70	2,2
Kepala bangunan lapis Tetrapod	2	2400	1,04	1726,05	1,9
Badan bangunan lapis Tetrapod	2	2400	1,04	1109,60	1,6
<i>Secondary Layer</i>	n	γ_r (kg/m ³)	K_{Δ}	W (kg)	t (m)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	3	2650	1,1	247,42	1,5
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	3	2650	1,1	236,17	1,5

Tabel 5.7. Tebal lapis pelindung rencana (lanjutan)

<i>Toe-berm</i>	<i>n</i>	$\gamma_r(\text{kg/m}^3)$	K_Δ	W (kg)	t (m)
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	247,42	1,0
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	236,17	1,0

Keterangan :

- Tebal *core layer* menyesuaikan dengan lebar *primary layer* dan *secondary layer*

5. Jumlah Batu Pelindung

Jumlah batu pelindung direncanakan untuk 10 m² dengan parameter sebagai berikut :

- Luas permukaan (A) : 10 m²
- Jumlah lapis lindung (n) : 2 (*primary layer*) dan 3 (*secondary layer*)
- Berat jenis *armour* (γ_r) :
Batu alam (kasar), $\gamma_r = 2650 \text{ kg/m}^3$
- Koefisien lapis lindung rencana :

Tabel 5.8. Koefisien lapis puncak rencana (Triatmodjo, 2009)

Batu Pelindung	<i>n</i>	Penempatan	Koef. Lapis (k_Δ)	Porositas, P(%)
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37

Jumlah batu pelindung untuk *primary layer* batu alam (kasar) dihitung dengan rumus :

Badan bangunan :

$$\begin{aligned}
 N &= Ank_\Delta \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \\
 &= 10 \text{ m}^2 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \left[\frac{2650 \text{ kg/m}^3}{2361,70 \text{ kg}} \right]^{2/3} \\
 &= 15,646 \approx 16 \text{ buah/m}^2
 \end{aligned}$$

Kepala bangunan :

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

$$= 10 \text{ m}^2 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \left[\frac{2650 \text{ kg/m}^3}{2474,16 \text{ kg}} \right]^{2/3}$$

$$= 15,169 \approx 15 \text{ buah/m}^2$$

Perhitungan yang sama untuk tebal pelindung batu alam (kasar) *secondary layer*. Sehingga diperoleh hasil tebal lapis lindung sebagai berikut.

Tabel 5.9. Jumlah Batu Pelindung Rencana

<i>Primary Layer</i>	<i>n</i>	$\gamma_r(\text{kg/m}^3)$	K_{Δ}	W (kg)	P (%)	A (m ²)	N
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	2474,16	37	10	15
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	2	2650	1,15	2361,70	37	10	16

<i>Secondary Layer</i>	<i>n</i>	$\gamma_r(\text{kg/m}^3)$	K_{Δ}	W (kg)	t (m)	A (m ²)	N
Kepala bangunan lapis batu bersudut kasar	3	2650	1,1	247,42	40	10	21
Badan bangunan lapis batu bersudut kasar	3	2650	1,1	236,17	40	10	21

Keterangan :

- Jumlah batu pelindung *core layer* menyesuaikan dengan lebar *primary layer* dan *secondary layer*

6. Dimensi Batu Pelindung Batu Alam (Kasar)

Dimensi batu pelindung direncanakan untuk dengan parameter sebagai berikut :

- Bentuk batu pelindung bulat
- Berat jenis batu (ρ) : 2650 kg/m³
- Berat batu (m) :

Badan bangunan = 2361,70 kg

Kepala bangunan = 2474,16 kg

Dimensi batu pelindung *primary layer* diperhitungkan dengan rumus berikut :

Badan bangunan

$$v_{batu} = m/\rho = 2361,70 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 = 0,891 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt[3]{\frac{v_{batu} \times 3/4}{\pi}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{0,891 \text{ m}^3 \times 3/4}{\pi}} \\ &= 0,567 \text{ m} \rightarrow d = 1,194 \text{ m} \approx 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Kepala bangunan

$$v_{batu} = m/\rho = 2474,16 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 = 0,934 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt[3]{\frac{v_{batu} \times 3/4}{\pi}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{0,934 \text{ m}^3 \times 3/4}{\pi}} \\ &= 0,606 \text{ m} \rightarrow d = 1,213 \text{ m} \approx 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama untuk dimensi lapis pelindung *secondary layer* dan *core layer*. Sehingga diperoleh hasil tebal lapis lindung sebagai berikut.

Tabel 5.10. Dimensi batu pelindung rencana

<i>Primary Layer</i>	m (kg)	ρ (kg/m³)	v_{batu} (m³)	r (m)	d (m)
Kepala bangunan	2474,16	2650	0,934	0,606	1,213
Badan bangunan	2361,70	2650	0,891	0,597	1,194
<i>Secondary Layer</i>	m (kg)	ρ (kg/m³)	v_{batu} (m³)	r (m)	d (m)
Kepala bangunan	247,42	2650	0,0934	0,281	0,563
Badan bangunan	236,17	2650	0,0891	0,277	0,554
<i>Core Layer</i>	m (kg)	ρ (kg/m³)	v_{batu} (m³)	r (m)	d (m)
Kepala bangunan	12,371	2650	0,004	0,104	0,207
Badan bangunan	11,808	2650	0,004	0,102	0,204

Berikut Rekanan perencanaan dimensi *breakwater*, gambar rencana dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 5.11. Rekanan dimensi *breakwater*

parameter	Bagian	<i>Primary Layer</i>	<i>Secondary Layer</i>	<i>core layer</i>	<i>toe berm</i>	satuan
berat butir	Kepala	5189	519	26	519	kg
	Badan	4953	495	25	495	kg
Tebal	Kepala	2.9	1.9	sisa ruang	1.3	m
	Badan	2.8	1.9	sisa ruang	1.3	m
Jumlah lapis lindung	Kepala	9	13	-	-	buah/m ²
	Badan	10	13	-	-	buah/m ²
dimensi	Kepala	1.55	0.72	0.27	1.55	m
	Badan	1.53	0.71	0.26	1.53	m