

## ANALISIS TANGGUL PELINDUNG PANTAI REKLAMASI TERHADAP GELOMBANG LAUT

oleh :

**Tanjung Rahayu Raswitaningrum, ST, MT**  
Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta  
Email : tanjungrahayu@ftumj.ac.id

**Lidiya Fitriyani**  
Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta  
Email : lidiyafitriyani@gmail.com

**Abstrak** : Peningkatan jumlah penduduk di suatu daerah akan membutuhkan daerah hunian yang semakin luas pula. Di sisi lain, luas tanah yang dapat dijadikan pemukiman semakin sulit diperoleh. Hal ini menjadi suatu alasan untuk menciptakan daerah hunian dengan mereklamasi daerah pantai. Suatu bangunan yang berada di daerah pantai akan terkena gelombang laut yang tidak dapat ditentukan besarnya. Gelombang air laut ini memiliki energi yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan tersebut. Untuk itu perlu dibangun bangunan pemecah gelombang agar energi gelombang laut yang datang menjadi lebih kecil. Selain menahan gelombang air laut, tanggul tersebut juga menahan tekanan tanah lateral akibat adanya pemukiman. Analisis yang dilakukan adalah menentukan berat batu pelindung yang diperlukan dengan metode Hudson dan menghitung stabilitas terhadap geser. Hasil analisis menunjukkan bahwa blok beton berukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm dapat digunakan sebagai pelindung pantai yang aman terhadap geser.

**Kata kunci** : batu pelindung, gelombang, stabilitas geser,

**Abstract** : *The increasing of the population in an area will require increasingly large residential area. On the other side, the area of land that can be used as a resident is difficult to obtain. This is a reason for creating residential areas by reclaiming coastal areas. Building in the coastal area will be exposed to ocean waves which cannot be determined. The sea wave has energy that can cause damage to the structure of the building. For this reason, it is necessary to build a breakwater structure so that the energy of the ocean waves that come becomes smaller. In addition to holding back the waves of sea water, the dikes also resist lateral soil pressure due to residential areas. The analysis carried out was to determine the weight of the protective stone required by the Hudson method and calculate the stability of the shear. The results of the analysis show that a concrete block measuring 42 cm x 42 cm x 42 cm can be used as a protective beach that is safe against shear.*

**Keyword** : *protective stone, waves, shear stability*

### Latar Belakang

Jumlah penduduk di suatu daerah yang semakin bertambah akan membutuhkan daerah hunian yang semakin luas pula. Di sisi lain, luas tanah yang dapat dijadikan pemukiman semakin sulit diperoleh. Hal ini

menjadi suatu alasan untuk menciptakan daerah hunian dengan mereklamasi daerah pantai. Suatu bangunan yang berada di daerah pantai akan terkena gelombang laut yang tidak dapat ditentukan besarnya.

Gelombang air laut ini memiliki energi yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan tersebut. Untuk itu perlu dibangun bangunan pemecah gelombang agar energi gelombang laut yang datang menjadi lebih kecil. Selain menahan gelombang air laut, tanggul tersebut juga menahan tekanan tanah lateral akibat adanya pemukiman.

Pada lokasi penelitian eksisting, dipasang tanggul yang dibentuk dari karung pasir dan batu kosong. Namun tanggul pemecah gelombang tersebut telah rusak karena gelombang laut, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tanggul eksisting dan merencanakan tanggul pemecah gelombang yang dapat menahan gelombang air laut dan tidak mengganggu pemukiman yang rencananya akan didirikan di tanah reklamasi tersebut.

**Pemecah Gelombang**

Bangunan pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pantai dari gelombang laut. Pemecah gelombang ini harus diperhitungkan terhadap gaya horisontal akibat gelombang laut dan gaya vertikal akibat berat struktur. Gelombang air laut yang datang akan disalurkan melalui dinding pemecah gelombang atau melalui celah-celahnya sehingga energi gelombang akan berkurang dan hilang.

Pemecah gelombang dapat dibentuk dengan menyusun batu-batu besar secara vertikal dan sisi miring sehingga berbentuk tanggul.

Dalam merencanakan pemecah gelombang, sering dijumpai kesulitan dalam memperoleh batu dengan ukuran yang sama. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuatlah batu buatan yang dirancang sedemikian rupa dan dapat saling mengikat sehingga kuat dalam menahan energi gelombang. Tipe yang telah dikembangkan adalah *tetrapods, hexapods, tribars, modified cubes*, dan *dolos*.

Perencanaan pemecah gelombang harus memperhitungkan tinggi gelombang yang datang, bentuk pemecah gelombang, dan berat pemecah gelombang yang diperlukan. Untuk hal tersebut, dapat digunakan rumus Hudson

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \text{Cot } \theta}$$

$$W_s = \frac{W_a}{15} \text{ sampai } \frac{W_a}{10}$$

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

Dimana:

- $W_a$  = berat batu pelindung
- $W_s$  = berat batu lapis kedua
- $\gamma_r$  = berat jenis batu pelindung
- $\gamma_a$  = berat jenis air laut
- H = tinggi gelombang
- $\theta$  = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
- $K_D$  = koefisien stabilitas
- $S_r$  = specific gravity

**Tabel 1. Koefisien stabilitas**

No.	Jenis Pelindung	Konstruksi Tengah		Konstruksi Ujung		Slope Cot $\theta$
		Breaking	Non Breaking	Breaking	Non Breaking	
1	Batu Quarry					
	- Bulat	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5-3
	- Kasar bersudut	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5

				2.5 2.0	2.8 2.3	2.0 3.0
2	Kubus Beton	6.8	7.8	--	5	1.5-3
3	Tetrapod dan Quadripod	7.2	8.3	5.9 5.5	6.6 6.1	1.5 2.0
4	Hexapod	8.2	9.5	5.0	7.0	1.5-3
5	Tribar	9.0	10.4	8.3 7.8 7.0	9.0 8.5 7.7	1.5 2.0 3.0
6	Dolos	22.0	25.0	15.0 13.5	16.5 19.0	2.0 3.0
Catatan : tebal lapis lindung minimum terdiri dari dua kali ukuran batu.						

Sumber: SPM (1984)

### Gelombang Air Laut

Umumnya gelombang air laut ditimbulkan karena angin, meskipun dapat pula ditimbulkan karena adanya gerakan kapal, letusan gunung di dasar laut, tsunami, dan lainnya. Faktor-faktor yang menentukan tinggi gelombang adalah:

- Kecepatan angin
- Lamanya angin
- Fetch*, yaitu jarak sepanjang permukaan angin meniup dalam satu arah

$$T = \sqrt{\frac{2 \times \pi \times L}{g}}$$

$$L = \frac{T^2}{2 \times \pi}$$

Dimana:

L = panjang gelombang

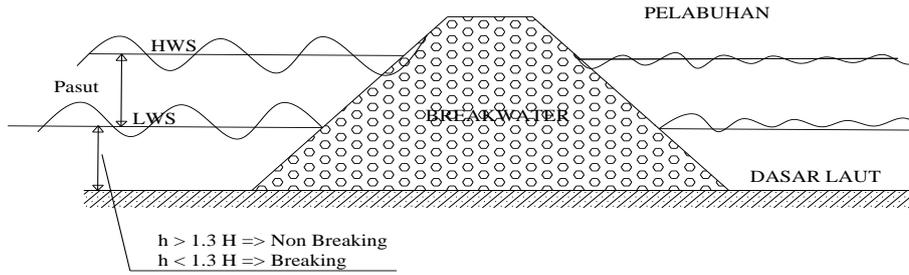
T = waktu

G = gaya gravitasi

**Tabel 2. Hubungan antara kecepatan angin dengan tinggi gelombang**

Kecepatan gelombang rata-rata		Tinggi gelombang signifikan	Waktu gelombang signifikan	Kecepatan gelombang signifikan	<i>Fetch</i> minimum
(Knot)	(m/det)	(m)	(det)	(m/det)	(km)
10	5,10	1,22	5,50	8,58	129
20	10,20	2,44	7,30	11,39	240
30	15,30	5,79	12,50	19,50	1017
40	20,40	14,33	18,00	28,00	2590
50	25,50	16,77	21,00	32,76	2775

Sumber: Soedjono Kramadibrata (1985)

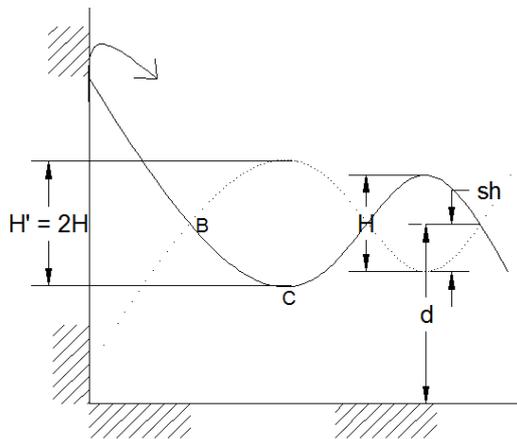


**Gambar 1. Gelombang air laut pecah dan tidak pecah**

Sumber: Departemen of The Army Waterways Experiment Station Corps of Engineers Coastal Engineering Research Centre

Gelombang pecah terjadi jika kedalaman air laut kurang dari 1,3 H (tinggi gelombang) yang diukur dari *Low Water Spring* (LWS), sedangkan gelombang tidak pecah terjadi jika kedalaman air laut lebih dari 1,3 H.

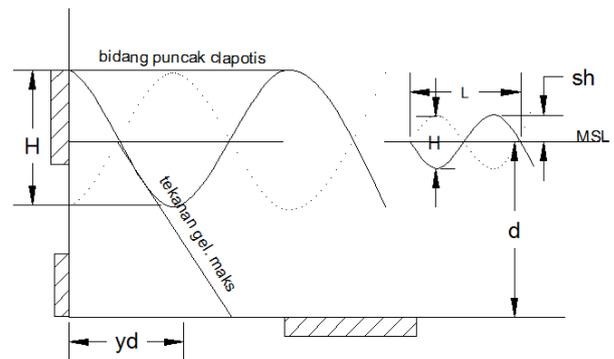
Gelombang yang membentur dinding pemecah gelombang vertikal atau sejenis akan mengalami hambatan, sehingga terjadi gelombang refraksi yang terbentuk seperti gambar di bawah ini. Partikel air yang menyentuh titik A akan naik turun setinggi dua kali tinggi gelombang asal (H). Pada titik B yang terletak antara lembah C dan puncak benturan, partikel air bergerak maju mundur terhadap dinding A. Sedangkan pada titik selanjutnya, partikel air tersebut naik dengan kemiringan yang berbeda-beda.



**Gambar 2. Benturan gelombang pada dinding vertikal**

Gelombang pecah yang terjadi akibat gelombang membentur dinding vertikal ini disebut *clapotis* dapat dilihat pada gambar di bawah ini dan mempunyai sifat garis osilasi gelombang naik setinggi:

$$S_h = \frac{\pi x H^2}{L} \times \coth \frac{2 x \pi x d}{L}$$



**Gambar 3. Tekanan oleh gelombang pecah**

Berdasarkan rumus Sainflou dapat dihitung tekanan yang bekerja pada dinding, momen guling (M) terhadap bidang dasar dinding ataupun jarak antara bidang kerja gaya resultan (R) terhadap bidang dasar dinding (γ).

$$R_{maks} = \frac{1}{2} x (d + sh + H) x \left( \gamma x d + \frac{\gamma x H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} - \frac{\gamma x d^2}{2} \right)$$

$$M_{maks} = \frac{1}{6} x (d + sh + H)^2 x \left( \gamma x d + \frac{\gamma x H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right) - \frac{\gamma x d^3}{6}$$

Dimana:

$R_{maks}$  = Tekanan maksimum akibat gelombang datang

$M_{maks}$  = Momen maksimum akibat gelombang datang

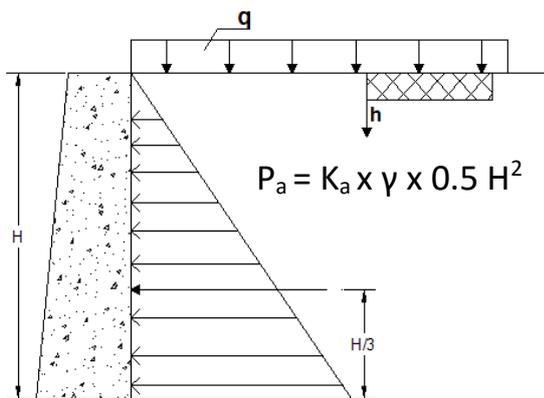
$L$  = Panjang gelombang

$\gamma$  = berat jenis air laut

$d$  = Kedalaman air

$s_h$  = Jarak antara bidang landas rotasi terhadap bidang permukaan

### Tekanan Tanah Lateral



Gambar 4. Distribusi tekanan tanah lateral

Tekanan tanah lateral aktif :

$$p_a = K_a \times \gamma \times h$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$P_{a1} = 0.5 \times H^2 \times \gamma \times K_a$$

Tekanan tanah lateral aktif akibat beban merata diatas tanah urug:

$$P_{a2} = q \times H \times K_a$$

Tekanan tanah lateral pasif :

$$p_p = K_p \times \gamma \times h$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$P_p = 0.5 \times H^2 \times \gamma \times K_p$$

Tekanan hidrostatik pasif :

$$P_{p1} = 0.5 \times H^2 \times \gamma_w$$

Dimana:

$q$  = beban merata

$K_a$  = koefisien tekanan tanah lateral aktif

$\gamma$  = berat volume tanah

$\gamma_w$  = gaya gravitasi

$h$  = kedalaman yang ditinjau

$H$  = tinggi dinding

$\phi$  = sudut gesek dalam tanah

$p_a$  = tekanan tanah aktif pada kedalaman  $h$  dari permukaan

$P_{a1}$  = tekanan tanah aktif total untuk dinding setinggi  $H$

$P_{a2}$  = tekanan tanah aktif total akibat beban merata diatas tanah urug untuk dinding setinggi  $H$

$p_p$  = tekanan tanah pasif pada kedalaman  $h$  dari permukaan

$K_p$  = koefisien tekanan tanah lateral pasif

$P_p$  = tekanan tanah pasif total untuk dinding setinggi  $H$

$P_{p1}$  = tekanan hidrostatik pasif total untuk dinding setinggi  $H$

### Beban Bekerja Pada Badan Tanggul Setelah Reklamasi

Beban merupakan salah satu gaya yang akan dipikul oleh semua struktur bangunan. Adapun jenis-jenis beban yang bekerja pada bangunan struktur antara lain:

#### 1. Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri komponen termasuk bagian-bagian atau kelengkapan yang melekat pada bangunan tersebut digolongkan sebagai beban mati. Perhitungan beban mati dapat dihitung dengan menggunakan pembebanan sendiri berdasarkan nilai-nilai satuan beratnya.

2. Beban hidup

Beban hidup terdiri dari beban yang tidak menetap baik dari segi posisi, intensitas maupun rentang waktunya, seperti tekanan air, material timbunan, tekanan tanah aktif dan pasif. Menurut RSNI-T-02-2005 tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja.

$$q = 0,6 \times \gamma_b$$

Dimana:

q = beban tambahan

$\gamma_b$  = berat volume tanah

3. Tekanan air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

4. Tekanan angkat (*uplift*)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan) dan lain-lain atau muka air tanah yang tinggi, maka akan terjadi adanya

tekanan hidrostatis yang mengurangi besarnya angka keamanan (SF). (Sumber : Suryolelono, 1994)

$$U = B \times h \times \gamma_w$$

$$Mu = U \times (\text{jarak lengan yang ditinjau})$$

Dimana:

h = tinggi permukaan air dari pondasi

$\gamma_w$  = berat volume air

B = lebar pondasi

5. Gaya gempa

Faktor-faktor beban akibat gempa yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan-bangunan pengairan diberikan dalam bentuk peta yang diterbitkan oleh DPMA dalam tahun 1981 "Peta Zona Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa". Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi tanggul dan juga ditentukan oleh koefisien gempa. Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_d = n \times (a_c \times z)^m$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

Dimana:

$a_d$  = percepatan gempa rencana (cm/dt<sup>2</sup>)

m = koefisien untuk jenis tanah

$a_c$  = percepatan kejut dasar (cm/dt<sup>2</sup>)

E = koefisien gempa

g = percepatan gravitasi (9.81 m/dt<sup>2</sup>)

Z = faktor yang bergantung kepada letak geografis

**Stabilitas Terhadap Geser**

Gaya terhadap tanah selain menimbulkan terjadinya momen, juga menimbulkan gaya dorong sehingga tanggul akan bergeser. Bila tanggul dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang ( $\Sigma F= 0$  dan  $\Sigma M=0$ ). Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara dasar bangunan tanggul dengan dasar pondasi. Faktor aman terhadap pergeseran dasar pondasi minimum, diambil 1,5. Bergesernya bangunan tanggul disebabkan karena gaya horisontal lebih besar dari gaya-gaya vertikal. Untuk kontrol terhadap bahaya geser digunakan rumus :

$$SF = f \times \frac{\Sigma(V)}{\Sigma(H)}$$

Dimana:

$\Sigma (V)$ = keseluruhan gaya vertikal (kN)

$\Sigma (H)$ = keseluruhan gaya horisontal (kN)

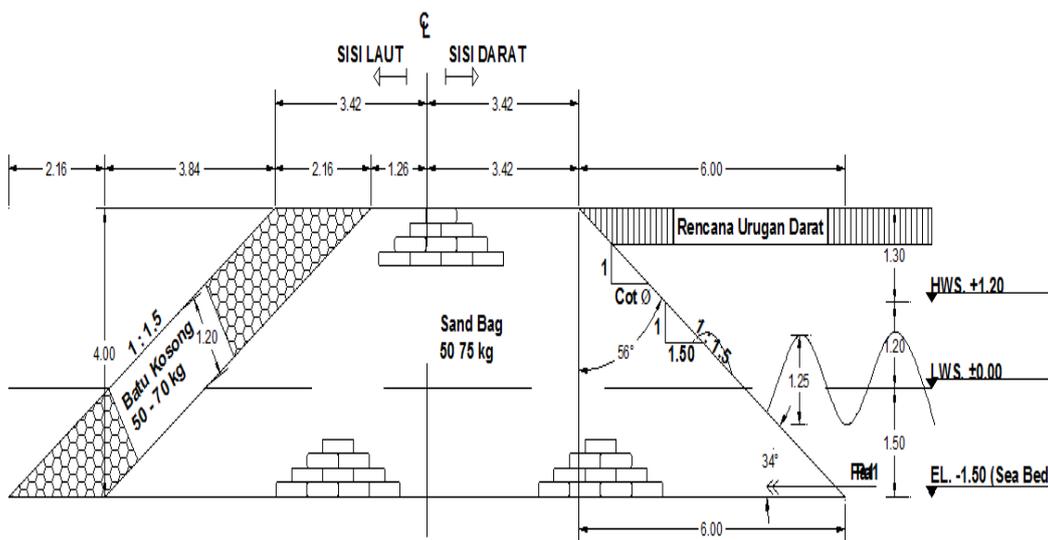
F = koefisien gesekan dengan tanah pondasi

SF = faktor keamanan

**Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan merencanakan tanggul batu pelindung terlebih dahulu. Kemudian stabilitas tanggul tersebut dianalisis terhadap geser setelah adanya pengurukan untuk reklamasi. Gaya-gaya yang berpengaruh terhadap pergeseran tanggul adalah gaya akibat gelombang, gaya tekanan tanah aktif, tekanan hidrostatis pasif, gaya uplift, gaya akibat berat sendiri, dan gaya gempa.

**Berat Batu Pelindung Eksisting**



**Gambar 5. Potongan melintang tanggul batu pelindung eksisting**

**Tabel 3. Data tanggul pemecahan gelombang eksisting**

Tinggi (m)	Lapisan 1	Lapisan 2
4	Karungan pasir Material : Pasir kerikil BJ = 1,7 t/m <sup>3</sup>	Batu Kosong BJ = 2,1 t/m <sup>3</sup>

Dalam perhitungan berat batu pelindung ini, apabila  $W_a$  aktual lebih besar dari  $W_a$  teoritis, maka batu pelindung tersebut dianggap dapat menahan gelombang. Dan sebaliknya, jika  $W_a$  aktual lebih kecil dari  $W_a$  teoritis, maka batu pelindung tersebut dianggap tidak dapat menahan gelombang.

Sisi darat (sisi reklamasi):

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ sandbag} &= 1,7 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 1,25 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 5,7 \end{aligned}$$

Perhitungan  $W_a$  teoritis

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{1,7}{1,024} = 1,66$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \cot \theta} = \frac{1,7 \times 1,25^3}{5,7 \times (1,66 - 1)^3 \times 1,5} = 1,35 \text{ ton} = 1350 \text{ kg}$$

$W_a$  aktual = 50 - 75 kg ( $W_a$  yang terpasang sekarang)

$W_a$  teoritis >  $W_a$  aktual  $\rightarrow$  sandbag tidak kuat menahan gelombang pada sisi darat (sisi reklamasi) sehingga terseret gelombang.

Sisi laut:

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ batu kosong} &= 2,1 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 0,5 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ h &= 1,5 \text{ meter (kondisi Non-breaking)} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 4 \end{aligned}$$

$W_a$  teoritis

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2,1}{1,024} = 2,05$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$W_a = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (S_r - 1)^3 \times \cot \theta} = \frac{2,1 \times 0,5^3}{4 \times (2,05 - 1)^3 \times 1,5} = 0,038 \text{ ton} = 38 \text{ kg}$$

$W_a$  aktual = 50 - 75 kg ( $W_a$  yang terpasang sekarang)

$W_a$  aktual >  $W_a$  teoritis  $\rightarrow$  batu kosong kuat menahan gelombang pada daerah sisi laut.

**Tabel 4. Analisis berat batu pelindung**

Tinggi (m)	Sisi Darat		Sisi Laut		Kesimpulan	
	Wa Teoritis (kg)	Wa Aktual (kg)	Wa Teoritis (kg)	Wa Aktual (kg)	Sisi Darat	Sisi Laut
4	1350	50 - 75	38	50 - 75	Wa Teoritis > Wa Aktual Karung pasir yang terpasang tidak kuat menahan gelombang sehingga banyak karung pasir yang terseret oleh gelombang.	Wa Aktual > Wa Teoritis Batu kosong yang terpasang kuat menahan gelombang.

**Berat Batu Pelindung Rencana**

Analisis ini diperhitungkan untuk mengetahui berat batu pelindung yang

diperlukan untuk menahan tinggi gelombang sebesar 1,25 meter. Direncanakan batu pelindung diganti dengan blok beton.

Sisi laut:

$$\begin{aligned} \gamma_r \text{ beton} &= 2,4 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_a \text{ (air laut)} &= 1,024 \text{ t/m}^3 \\ H \text{ (tinggi gelombang)} &= 1,25 \text{ meter} \\ \text{Pasut} &= 1,2 \text{ meter} \\ h &= 1,5 \text{ meter (kondisi} \\ &\quad \text{breaking)} \\ \cot \theta &= 1,5 \\ K_D \text{ (koefisien stabilitas)} &= 6,8 \end{aligned}$$

Wa teoritis

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2,4}{1,024} = 2,34$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$Wa = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_D \times (Sr-1)^3 \times \cot \theta} = \frac{2,4 \times 1,25^3}{6,8 \times (2,34-1)^3 \times 1,5} = 0,19 \text{ ton} = 190 \text{ kg}$$

Ukuran kubus beton yang diperlukan adalah:

Berat kubus beton (Wa) = Volume x Bj beton

$$0,19 \text{ ton} = a^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$a^3 = \frac{0,19 \text{ ton}}{2,4 \text{ t/m}^3}$$

Tekanan akibat gaya gelombang adalah:

$$\begin{aligned} R_{maks} &= \frac{1}{2} \times (d + sh + H) \times \left( \gamma \times d + \frac{\gamma \times H}{\cosh\left(\frac{2\pi x d}{L}\right)} \right) - \frac{\gamma \times d^2}{2} \\ &= \frac{1}{2} \times (1,5 + 0,75 + 1,25) \times \left( 1,024 \times 1,5 + \frac{1,024 \times 1,25}{1,0181} \right) - \frac{1,024 \times 1,5^2}{2} \\ &= 3,736 \text{ ton} = 37,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{maks} &= \frac{1}{6} \times (d + sh + H)^2 \times \left( \gamma \times d + \frac{\gamma \times H}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right) - \frac{\gamma \times d^3}{6} \\ &= \frac{1}{6} \times (1,5 + 0,75 + 1,25)^2 \times \left( 1,024 \times 1,5 + \frac{1,024 \times 1,25}{1,0181} \right) - \frac{1,024 \times 1,5^3}{6} \\ &= 4,526 \text{ ton} = 45,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Gaya yang Bekerja Sebelum Reklamasi

Gaya yang bekerja sebelum reklamasi adalah:

1. Tekanan hidrostatik pasif

$$a = 0,42 \text{ m}$$

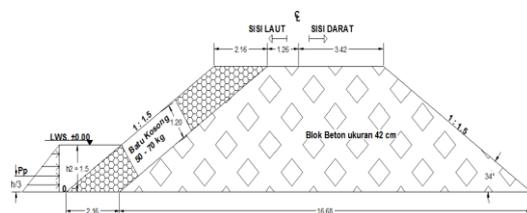
Maka direncanakan kubus beton dengan ukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm sebagai pemecah gelombang.

Perhitungan panjang gelombang dilakukan dengan menentukan waktu gelombang dengan cara interpolasi berdasarkan tabel 2. Diperoleh panjang gelombang (T) sebesar 5,54 detik.

$$\begin{aligned} L &= \frac{T^2 \times g}{2 \times \pi} \\ &= \frac{5,54^2 \times 9,81}{2 \times \pi} \\ &= 47,91 \approx 50 \text{ mtr} \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan akibat gaya gelombang dilakukan dengan menentukan jarak antara bidang landas rotasi terhadap bidang permukaan.

$$\begin{aligned} sh &= \frac{\pi \times H^2}{L} \times \coth \frac{2 \times \pi \times d}{L} \\ &= \frac{\pi \times 1,5^2}{50} \times \coth \frac{2 \times \pi \times 1,5}{50} = 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 6. Tekanan hidrostatik pasif pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

Tekanan hidrostatik pasif yaitu gaya tekan air atau gaya hidrostatik merupakan gaya horisontal akibat air dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan.

$$K_p = \text{tg}^2 \times \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$= \text{tg}^2 \times \left(45^\circ + \frac{20}{2}\right)$$

$$= 2,04$$

Setelah koefisien tekanan hidrostatik pasif ( $K_p$ ) diketahui, maka diperoleh nilai tekanan pasif ( $P_p$ ) dan momen terhadap titik o per m'.

$$P_p = 0,5 \times \gamma_w \times h_2^2$$

$$= 0,5 \times 9,8 \times 1,5^2$$

$$= 11,03 \text{ kN}$$

Momen yang bekerja pada tekanan hidrostatik pasif dengan titik tangkap gaya air, yaitu  $h/3$  dari tinggi seabed sampai ke LWS.

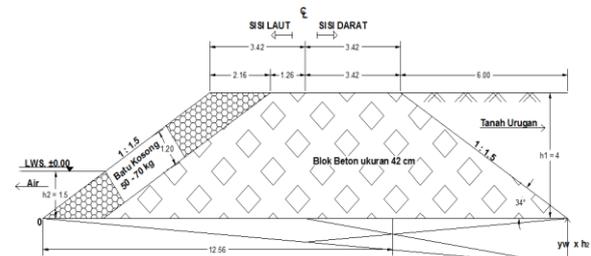
$$M_p = P_p \times 1/3 \times h_2$$

$$= 11,03 \times 1/3 \times 1,5$$

$$= 5,52 \text{ kNm}$$

### 2. Gaya uplift

Pada struktur bangunan yang berada di bawah muka air, maka akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang akan mengurangi keamanan struktur tersebut.



Gambar 7. Gaya uplift di bawah batu pelindung rencana sebelum reklamasi

$$U = 0,5 \times B \times h_2 \times \gamma_w$$

$$= 0,5 \times 18,84 \times 1,5 \times 9,81$$

$$= 138,62 \text{ kN}$$

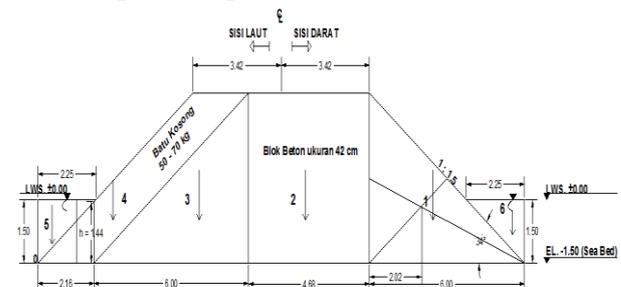
$$M_u = U \times 2/3 \times B$$

$$= 138,62 \times 2/3 \times 18,84$$

$$= 1741,07 \text{ kNm}$$

### 3. Gaya akibat berat sendiri

Berat bangunan dihitung berdasarkan bahan yang dipakai dalam pembangunan tanggul tersebut. Berat volume kubus beton yaitu  $24 \text{ kN/m}^3$  dan berat volume batu kosong sebesar  $21 \text{ kN/m}^3$  dan ditinjau terhadap titik 0 per m'.



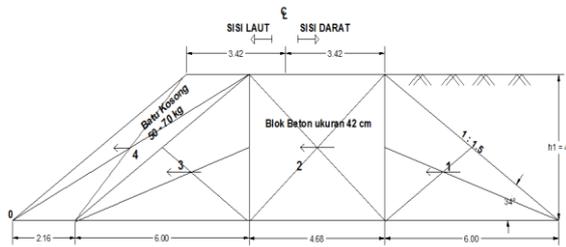
Gambar 8. Gaya akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi

Tabel 5. Berat sendiri tanggul batu pelindung rencana sebelum reklamasi

No.	Berat Sendiri (kN)	Jarak ke O (m)	Momen ke O (kNm)
1	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	14,84	$288 \times 14,84 = 4273,92$
2	$4,68 \times 4 \times 24 = 449,28$	10,59	4757,88
3	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	6,16	1774,08
4	$2,61 \times 1,44 \times 21 = 65,32$	1,08	70,55
5	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	0,75	12,41
6	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	18,09	299,38
	$\Sigma W = 1123,70 \text{ kN}$		$\Sigma M_w = 11188,22 \text{ kNm}$

**Gaya gempa**

Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi tanggul dan juga ditentukan oleh koefisien gempa.



**Gambar 9. Gaya akibat gempa pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi**

$n = 1,56$  (karena tanah terendam air laut sehingga terjadi endapan antara lempung, lanau, pasir dan kerikil. Jenis tanah ini adalah tanah aluvium.

$m = 0,89$

$a_c = 113 \text{ cm/dt}^2$  (untuk periode ulang 50 tahun)

$g = 981 \text{ cm/dt}^2$

$z = 1$

$ad = n \times (a_c \times z)^m$   
 $= 1,56 \times (113 \times 1)^{0,89}$   
 $= 104,80 \text{ cm/dt}^2$

$E = \frac{ad}{g} = \frac{104,80}{981} = 0,11$

Gaya gempa yang terjadi ada 4 bagian, yaitu:

$G_p = \text{berat sendiri} \times 1 \text{ mtr} \times E$   
 $G_{p1} = 288 \times 1 \times 0,11 = 31,68 \text{ kN}$   
 $G_{p2} = 449,28 \times 1 \times 0,11 = 49,42 \text{ kN}$   
 $G_{p3} = 288 \times 1 \times 0,11 = 31,68 \text{ kN}$   
 $G_{p4} = 65.32 \times 1 \times 0,11 = 7,19 \text{ kN}$   
 $\Sigma G_p = 119,97 \text{ kN}$

Momen gempa:

$M_{Gp} = G_p \times \text{lengan momen}$   
 $M_{Gp1} = 31,68 \times 4/3 = 42,24 \text{ kNm}$   
 $M_{Gp2} = 49,42 \times 4/2 = 98,84 \text{ kNm}$   
 $M_{Gp3} = 31,68 \times 4/3 = 42,24 \text{ kNm}$   
 $M_{Gp4} = 7,19 \times 4/2 = 14,38 \text{ kNm}$   
 $\Sigma M_{Gp} = 197,70 \text{ kNm}$

**Rekapitulasi Gaya Sebelum Reklamasi**

**Tabel 6. Rekapitulasi gaya dan momen pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi**

No.	Gaya	Gaya / Resultan (kN)			Momen (kNm)	
		Kode	H	V	Kode	M
1	Tekanan akibat gelombang datang	$\Sigma R_{maks}$	37,36		$\Sigma M_{maks}$	45,26
2	Tekanan pasif	$\Sigma P_p$	11,03		$\Sigma M_p$	5,52
3	Tekanan uplift	$\Sigma U$		138,62	$\Sigma M_u$	1741,07
4	Berat sendiri	$\Sigma W$		1123,70	$\Sigma M_w$	11188,22
5	Tekanan gempa	$\Sigma G_p$	119,97		$\Sigma M_{Gp}$	197,70

**Cek Stabilitas terhadap Geser Sebelum Reklamasi**

$\Sigma V = \Sigma W + (-)\Sigma U$   
 $= 1123,70 + (-)138,62$   
 $= 986,08 \text{ kN}$

$\Sigma H = \Sigma R_{maks} + (-)\Sigma P_p + \Sigma G_p$   
 $= 37,36 + (-)11,03 + 119,97$

$= 146,30 \text{ kNm}$

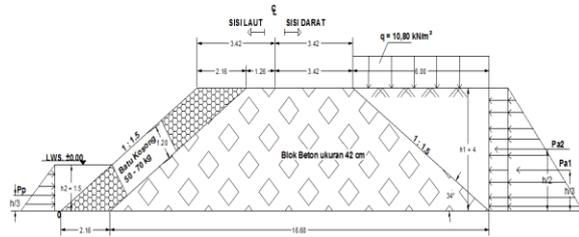
$S_f = f \times \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} \geq 1,5$  (faktor aman disyaratkan)

$S_f = 0,3 \times \frac{986,08}{146,30} \geq 1,5$   
 $= 2,02 \geq 1,5$  (aman)

### Gaya yang Bekerja Setelah Reklamasi

Gaya yang bekerja setelah reklamasi adalah:

1. Tekanan hidrostatik pasif dan tekanan tanah aktif



**Gambar 10. Tekanan hidrostatik pasif pada batu pelindung rencana setelah reklamasi**

Tanah urug direncanakan tanah granular dan tidak berkohefif.

$$C = 0$$

$$\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\alpha = 34^\circ$$

$$\beta = 0$$

$\Phi = 20^\circ$  (diambil yang terkecil berdasarkan koefisien tekanan tanah aktif & pasif komponen horisontal) sumber PEDC, 1984 " Mektan 2 ", Bandung.

$$\delta = \frac{2}{3} \times \Phi = \frac{2}{3} \times 20 = 13,33^\circ$$

Menurut RSNI T-02-2005, tanah di belakang tanggul mendapatkan beban tambahan beban lalu lintas yang bekerja. Besar beban tambahan ini setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara merata.

$$q = \text{tebal}_{\text{tanah}} \times \gamma_b = 0,6 \times 18 = 10,80 \text{ kN/m}^2$$

$$K_a = \text{tg}^2 \times \left( 45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) = \text{tg}^2 \times \left( 45^\circ - \frac{20}{2} \right) = 0,49$$

Setelah koefisien tekanan tanah aktif ( $K_a$ ) diketahui, maka dengan menggunakan rumus (2.20 & 2.21) didapatkan nilai tekanan aktif ( $P_{a1}$ ) dan tekanan tanah akibat beban merata diatas tanah urug

( $P_{a2}$ ), yang ditinjau terhadap titik 0 per m'.

$$P_{a1} = 0,5 \times \gamma_b \times h_1^2 \times K_a = 0,5 \times 18 \times 4^2 \times 0,49 = 70,56 \text{ kN}$$

$$P_{a2} = q \times h_1 \times K_a = 10,8 \times 4 \times 0,49 = 21,17 \text{ kN}$$

$$M_{a1} = P_{a1} \times \frac{1}{3} \times h_1 = 70,56 \times \frac{1}{3} \times 4 = 94,08 \text{ kNm}$$

$$M_{a2} = P_{a2} \times \frac{1}{2} \times h_1 = 21,17 \times \frac{1}{2} \times 4 = 42,34 \text{ kNm}$$

Tekanan hidrostatik pasif yaitu gaya tekan air atau gaya hidrostatik merupakan gaya horisontal akibat air dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan.

$$K_p = \text{tg}^2 \times \left( 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) = \text{tg}^2 \times \left( 45^\circ + \frac{20}{2} \right) = 2,04$$

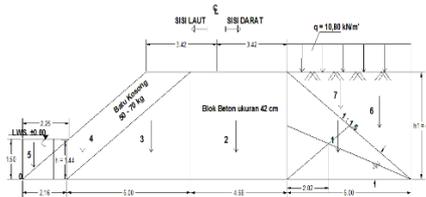
$$P_p = 0,5 \times \gamma_w \times h_2^2 = 0,5 \times 9,8 \times 1,5^2 = 11,03 \text{ kN}$$

Momen yang bekerja pada tekanan hidrostatik pasif dengan titik tangkap gaya air, yaitu  $h/3$  dari tinggi seabed sampai ke LWS.

$$M_p = P_p \times \frac{1}{3} \times h_2 = 11,03 \times \frac{1}{3} \times 1,5 = 5,52 \text{ kNm}$$

2. Gaya akibat berat sendiri

Berat bangunan dihitung berdasarkan bahan yang dipakai dalam pembangunan tanggul tersebut. Berat volume kubus beton yaitu 24 kN/m<sup>3</sup> dan berat volume batu kosong sebesar 21 kN/m<sup>3</sup>.



**Gambar 11. Gaya akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana setelah reklamasi**

**Tabel 7. Gaya dan momen akibat berat sendiri pada batu pelindung rencana setelah reklamasi**

No.	Berat Sendiri (kN)	Jarak ke O (m)	Momen ke O (kNm)
1	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	14,84	$288 \times 14,84 = 4273,92$
2	$4,68 \times 4 \times 24 = 449,28$	10,59	4757,88
3	$0,5 \times 6 \times 4 \times 24 = 288$	6,16	1774,08
4	$2,61 \times 1,44 \times 21 = 65,32$	1,08	70,55
5	$0,5 \times 1,5 \times 2,25 \times 9,81 = 16,55$	0,75	12,41
6	$0,5 \times 6 \times 4 \times 18 = 216$	16,84	3637,44
7	$10,80 \times 6 = 64,80$	16,84	1091,23
	$\Sigma W = 1387,95 \text{ kN}$		$\Sigma Mw = 13843,43 \text{ kNm}$

### Rekapitulasi Gaya Setelah Reklamasi

**Tabel 8. Rekapitulasi gaya dan momen pada batu pelindung rencana sebelum reklamasi**

No.	Gaya yang Mempengaruhi	Gaya / Resultan (kN)			Momen (kNm)	
		Kode	H	V	Kode	M
1	Tekanan aktif	$\Sigma Pa_1$	70,56		$\Sigma Ma_1$	94,08
2	Tekanan aktif akibat beban merata	$\Sigma Pa_2$	21,17		$\Sigma Ma_2$	42,34
3	Tekanan pasif	$\Sigma Pp$	11,03		$\Sigma Mp$	5,52
4	Tekanan <i>uplift</i>	$\Sigma U$		138,62	$\Sigma Mu$	1741,07
5	Berat sendiri	$\Sigma W$		1387,95	$\Sigma Mw$	13843,43
6	Tekanan gempa	$\Sigma Gp$	119,97		$\Sigma MGp$	197,7

### Cek Stabilitas terhadap Geser Setelah Reklamasi

$$\begin{aligned} \Sigma V &= \Sigma W + (-)\Sigma U \\ &= 1387,95 + (-)138,62 \\ &= 1249,33 \text{ kN} \\ \Sigma H &= \Sigma Pa_1 + \Sigma Pa_2 + (-)\Sigma Pp + \Sigma Gp \\ &= 70,56 + 21,17 + (-)11,03 + 119,97 \\ &= 200,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sf &= f \times \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} \geq 1,5 \text{ (faktor aman disyaratkan)} \\ &= 0,3 \times \frac{1249,33}{200,67} \geq 1,5 \\ &= 1,86 \geq 1,5 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

## Kesimpulan

Beberapa simpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian adalah:

1. Kerusakan yang terjadi pada tanggul batu pelindung eksisting adalah karena batu pelindung tidak mampu menahan gelombang air laut.
2. Batu pelindung dapat diganti dengan blok beton berukuran 42 cm x 42 cm x 42 cm.
3. Stabilitas geser batu pelindung blok beton sebelum dan setelah reklamasi lebih dari 1,5 sehingga dapat dinyatakan aman.

## Daftar Pustaka

Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Penerbit Erlangga : Jakarta.

Departemen of The Army Waterways Experiment Station Corps of Engineers Coastal Engineering Research Centre. 1984. *Shore Protection Manual Fourth Edition*. US Government Printing Office : Washington DC.

Ferry Fatnanta, Widi Agoes Pratikto, Haryo Dwito Armono, dan Wahyudi Citrosiswoyo, *Karakteristik Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam*, MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 14, NO. 2, NOVEMBER 2010: 143-149.

Jack M. Manik dan M. Djen Marasabessy, *Tenggelamnya Jakarta Dalam Hubungannya Dengan Konstruksi Bangunan Beban Megacity*, MAKARA, SAINS, VOL. 14, NO. 1, APRIL 2010: 69 – 74.

Kramadibrata, Soedjono. 1985. *Perencanaan Pelabuhan Edisi Kedua*. Ganeca Excact Bandung : Bandung.

Peraturan Pemerintah RI No. 69 Tahun 2001 Tanggal 17 Oktober 2001 Tentang Kepelabuhan.

Triatmodjo, Bambang. 1996. *Pelabuhan*. Beta Offset : Yogyakarta.