

## BAB VII

### PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN PELINDUNG PANTAI

#### 7.1. Perhitungan Struktur *Seawall*

Perhitungan tinggi dan periode gelombang signifikan telah dihitung pada Bab IV, data yang didapatkan adalah sebagai berikut:

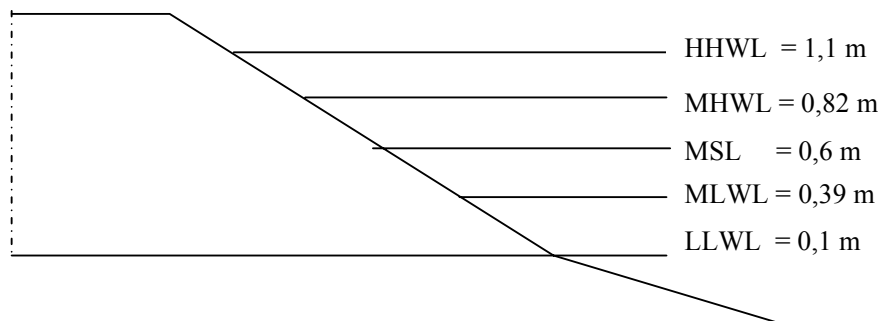
- Arah datang gelombang dominan dari arah Barat Laut.
- Sudut datang gelombang  $25^\circ$
- Tinggi dan periode gelombang signifikan

$$H_{33} = 2,082 \text{ m}$$

$$T_{33} = 8,655 \text{ detik}$$

##### 7.1.1 Penentuan Elevasi *Seawall*

Dari perhitungan pasang surut yang telah dihitung pada Bab IV, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 7.1. Gambar Elevasi Pasang Surut

Elevasi dasar *seawall* direncanakan pada LLWL yaitu +0,10 m dari dasar laut. Ketinggian muka air pada ujung bangunan *seawall* yang menghadap ke laut direncanakan sebesar HHWL = +1,10 m dari dasar laut.

##### 7.1.2 Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{DWL} = \mathbf{HHWL} + \Delta h + \mathbf{SLR}$$

Dimana :

DWL : Elevasi muka air rencana

$\Delta h$  : Kenaikan elevasi muka air karena badai (*Wind set-up*)

SLR : Kenaikan elevasi muka air laut karena pemanasan global (*Sea Level Rise*)

- Kenaikan Muka Air Karena Angin (*Wind set-up*)

Untuk perhitungan *Wind set-up*, diambil data dari arah barat laut, Dari perhitungan gelombang rencana di bab IV,  $H_s = 2,082$  m,  $T_s = 8,655$  detik, kecepatan angin di laut ( $U_w$ ) = 7,583 m/dtk

$d$  (kedalaman Laut Jawa berdasarkan peta lingkungan laut Bakosurtanal) = 30 m

$V = U_w = 7,583$  m/dtk

Fetch pada arah dominan (barat laut) = 327 x 1000 m

Konstanta  $c = 3,5 \times 10^{-6}$

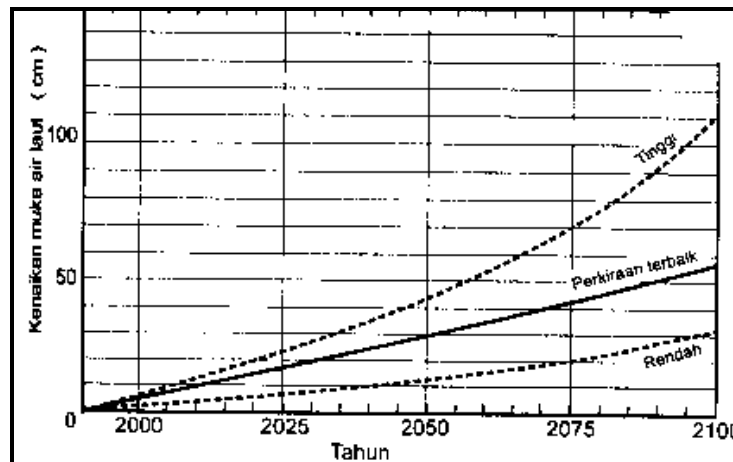
Maka besar *wind set-up* adalah :

$$\Delta h = Fc \frac{V^2}{2gd} = 327 \times 1000 \times 3,5 \times 10^{-6} \frac{7,583^2}{2 \times 9,8 \times 30}$$

$$\Delta h = 0,112m$$

- *Sea Level Rise*

Peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan kenaikan suhu bumi sehingga mengakibatkan kenaikan muka air laut. Perkiraan besar kenaikan muka air laut diberikan oleh gambar berikut :



Gambar 7.2. Perkiraan kenaikan muka air laut

Dari gambar diatas didapatkan bahwa kenaikan muka air laut yang terjadi tahun 2016 dengan perkiraan terbaik adalah 12 cm = 0,12 m (direncanakan umur bangunan = 10 tahun).

- Sehingga didapatkan elevasi muka air rencana adalah sebagai berikut:

$$DWL = HHWL + \Delta h + SLR$$

$$DWL = 1,1 + 0,112 + 0,12$$

$$DWL = +1,332 \text{ m}$$

### 7.1.3 Perhitungan Gelombang Rencana Dan Gelombang Pecah Untuk *Seawall*

Pada saat gelombang menjalar dari perairan dalam ke pantai dimana bangunan pantai akan dibangun, maka gelombang tersebut mengalami proses perubahan tinggi dan arah gelombang. Perubahan ini antara lain disebabkan karena proses refraksi, difraksi, pendangkalan dan pecahnya gelombang. Keempat proses perubahan (deformasi) gelombang tersebut dapat menyebabkan tinggi gelombang bertambah atau berkurang. Oleh karena itu tinggi gelombang rencana yang akan dipergunakan dilokasi pekerjaan harus ditinjau terhadap proses ini. Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi dilokasi pekerjaan. Apabila gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi pekerjaan, maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah ( $H_b$ ) di lokasi pekerjaan. Tinggi gelombang pecah ini biasanya dikaitkan dengan kedalaman perairan ( $d_s$ ) dan landai dasar pantai ( $m$ ). Apabila pantai relatif datar, maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (CERC, 1984):

$$H_b = 0,78d_s$$

Keterangan :

$H_b$  = Tinggi gelombang pecah (m)

$d_s$  = Kedalaman air dilokasi bangunan (m)

Dengan demikian tinggi gelombang rencana ( $H_D$ ) dapat ditentukan dengan rumus :

$$H_D = H_b$$

Elevasi dasar *seawall* direncanakan +0,10 m dari dasar laut. Ketinggian muka air pada ujung bangunan *seawall* yang menghadap ke laut direncanakan sebesar  $DWL = +1,332$  m dari dasar laut, sehingga didapatkan  $d_s = 1,332$  m. Dari penjelasan diatas, maka

untuk perhitungan gelombang rencana pada *seawall* Pantai Muarareja adalah sebagai berikut:

$$d_s = \text{DWL} = 1,332 \text{ m}$$

$$H_b = 0,78 \cdot d_s$$

$$H_b = 0,78 \cdot 1,332 = 1,04 \text{ m}$$

$$H_D = H_b = 1,04 \text{ m}$$

#### 7.1.4 Perhitungan Elevasi Mercu *Seawall*

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Elevasi mercu} = \text{DWL} + \text{Ru} + \text{tinggi jagaan}$$

Dimana:

DWL : *Design water level* (elevasi muka air rencana)

Ru : *Run-up* gelombang

Tinggi jagaan : 0,5 – 1,5 m

#### ❖ *Run-up* gelombang

Direncanakan:

Jenis bangunan = *seawall*

Lapis lindung = batu alam kasar

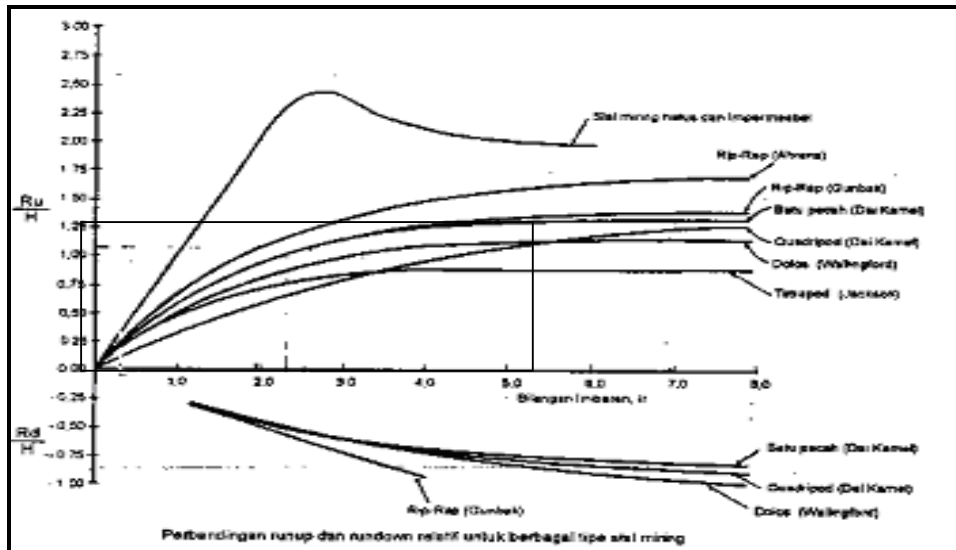
Tinggi gelombang ( $H_D$ ) = 1,04 m

Kemiringan bangunan = 1 : 2

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 8,655^2 = 116,85 \text{ m}$$

$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} = \frac{0,5}{\left(\frac{1,04}{116,85}\right)^{0,5}} = 5,30$$

Run up gelombang dicari dari gambar berikut :



Gambar 7.3. Grafik Run Up Gelombang

$$\frac{Ru}{H} = 1,3$$

$$Ru = 1,3 \times 1,04 = 1,35 \text{ m}$$

- ❖ Elevasi Mercur =  $DWL + Ru + \text{tinggi jagaan}$   
 $= 1,332 + 1,35 + 0,5$   
 $= 3,182 \text{ m} \approx 3,20 \text{ m}$

## 7.2. Perhitungan Lapis Lindung

### 7.2.1 Berat Butir Lapis Lindung

Berat batu lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari batu pecah bersudut kasar dengan  $n = 2$ , penempatan acak, gelombang telah pecah dan koefisien stabilitas ( $K_D$ ) lengan bangunan = 2. Perhitungannya sebagai berikut:

- Lapis pelindung luar (*armour stone*)

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

$\gamma_r$  : berat jenis batu ( $2,65 \text{ t/m}^3$ )

$\gamma_a$  : berat jenis air laut ( $1,03 \text{ t/m}^3$ )

$$W_1 = \frac{2,65 \times 1,04^3}{2 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 0,192 \text{ ton} \approx 200 \text{ kg}$$

Tebal lapis pelindung ( $t_1$ )

$$t_1 = n K_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left[ \frac{0,192}{2,65} \right]^{1/3} = 0,97 \text{ m} \approx 1,00 \text{ m}$$

- Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$\frac{W}{10} = \frac{0,192}{10} = 0,0192 \text{ ton} \approx 20 \text{ kg}$$

Tebal lapis pelindung ( $t_2$ )

$$t_2 = n K_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left[ \frac{0,0192}{2,65} \right]^{1/3} = 0,45 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

- Lapis *core layer*

$$\frac{W}{200} = \frac{0,192}{200} = 0,0009 \text{ ton} \approx 1 \text{ kg}$$

### 7.2.2 Lebar Puncak *Seawall*

Lebar puncak revetment untuk  $n = 3$  (minimum) dan koefisien lapis ( $K_{\Delta}$ ) = 1,15 adalah sebagai berikut:

$$B = n K_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 3 \times 1,15 \times \left[ \frac{0,192}{2,65} \right]^{1/3}$$

$$B = 1,45 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

### 7.2.3 Jumlah Batu Pelindung

Jumlah butir batu pelindung tiap satu satuan luas ( $10 \text{ m}^2$ ) dan porositas = 37 dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \times \left[ 1 - \frac{37}{100} \right] \times \left[ \frac{2,65}{0,192} \right]^{2/3}$$

$$N = 83,37 \text{ buah} \approx 84 \text{ buah}$$

#### 7.2.4 Toe Protection

Dari hasil perhitungan tebal lapis batu pelindung dan tinggi gelombang rencana diatas diperoleh:

1. Tebal lapis *armour stone* ( $t_1$ ) = 1,00 m
2. Tebal lapis *secondary stone* ( $t_2$ ) = 0,50 m
3. Tinggi gelombang rencana ( $H_D$ ) = 1,04 m
4. Kedalaman air ( $d_s$ ) = 1,332 m

Maka perhitungan *toe protection* adalah sebagai berikut:

- Tinggi *toe protection* ( $t_{toe}$ )

$$\text{tebal lapis rata-rata (r)} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1,00 + 0,5}{2} = 0,75 \text{ m}$$

$$t_{toe} = r = 0,75 \text{ m}$$

- Lebar *toe protection*

$$B = 2 H_D - 3 H_D$$

$$\text{diambil } B = 2 H_D = 2 \times 1,04 = 2,1 \text{ m}$$

- Berat butir *toe protection* ( $W_{toe}$ )

$$W_{toe} = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3}$$

$\gamma_r$  : berat jenis batu (2,65 t/m<sup>3</sup>)

H : Tinggi gelombang pecah

$N_s^3$  : Angka stabilitas rencana untuk pelindung kaki

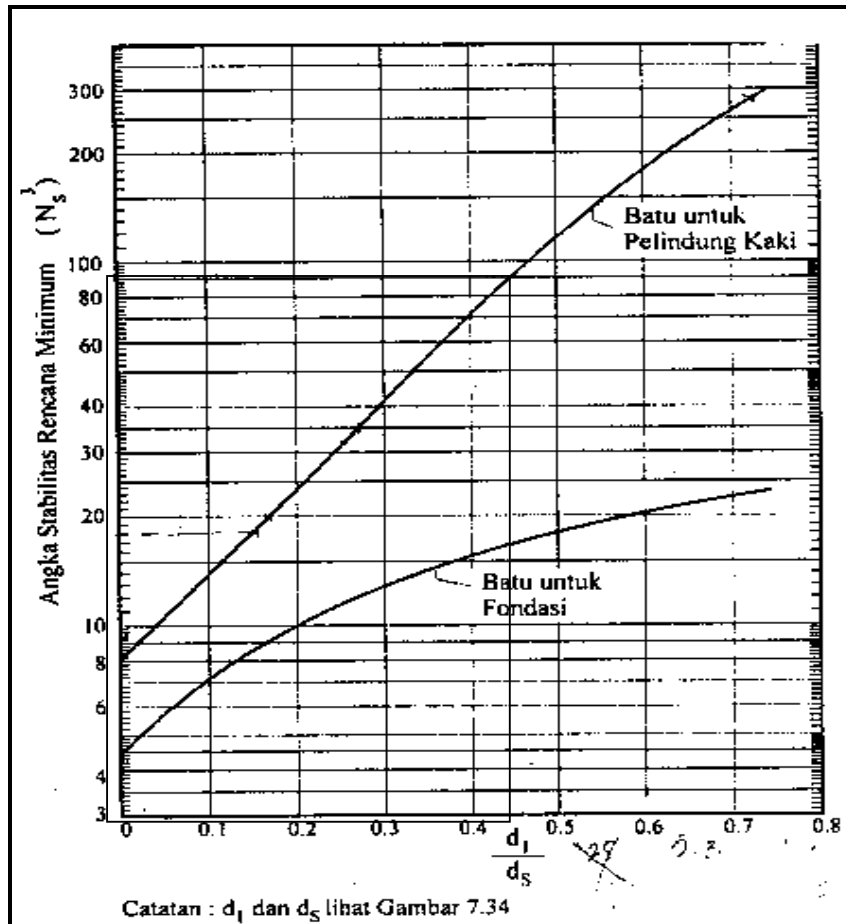
Maka perhitungan berat butir *toe protection* sebagai berikut:

$$d_s = 1,332 \text{ m}$$

$$d_1 = d_s - t_{toe} = 1,332 - 0,75 = 0,582 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{0,582}{1,332} = 0,44$$

Harga  $N_s^3$  dapat dicari dari gambar 7.4 sebagai berikut :



Gambar 7.4. Angka stabilitas  $N_s$  untuk pondasi pelindung kaki

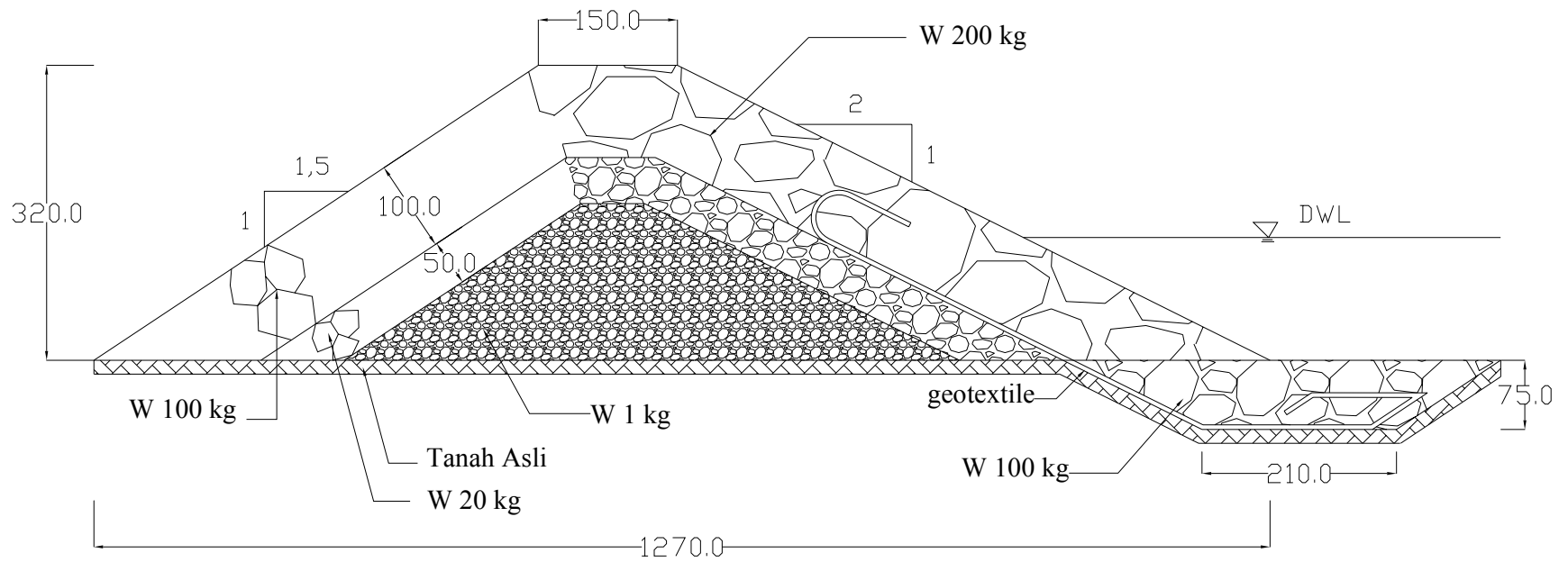
Harga  $N_s^3$  diperoleh = 90

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} = \frac{2,65 \times 1,04^3}{90 \left( \frac{2,65}{1,03} - 1 \right)^3} = 0,009 \text{ ton} = 9 \text{ kg}$$

Berat batu lapis lindung *toe protection* dipergunakan kira-kira setengah dari yang dipergunakan di dinding tembok (0,5W). (Yuwono, 2004)

$$\begin{aligned} W &= 0,5 \times 0,192 \text{ ton} \\ &= 0,096 \text{ ton} \\ &= 96 \text{ kg} \approx 100 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka berat butir *toe protection* (W) diambil terbesar yaitu  $W = 100 \text{ kg}$ .



Gambar 7.5. Dimensi Seawall Hasil Perhitungan (dalam cm).

### 7.3. Stabilitas Struktur

Desain *seawall* hasil perhitungan diatas adalah sebagai berikut:

Tinggi <i>seawall</i>	: 3,2 m
Lebar <i>seawall</i>	: 12,7 m
Tinggi <i>toe protection</i>	: 0,75 m
Lebar <i>toe protection</i>	: 2,1 m
Data timbunan tanah	: $\emptyset = 10^0$ , $\gamma_a = 1,6867 \text{ t/m}^3$

#### 7.3.1 Perhitungan gaya gelombang dinamis

$$hb = 1,04 \text{ m}$$

$$ds = 1,332 \text{ m}$$

$$R_m = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air}} \times ds \times hb = 0,5 \times 1,03 \times 1,332 \times 1,04$$

$$R_m = 0,71 \text{ ton}$$

Momen gaya gelombang dinamis

$$M_m = R_m \times \left( ds + \frac{hb}{2} \right) = 0,713 \times \left( 1,332 + \frac{1,04}{2} \right)$$

$$M_m = 1,32 \text{ tm}$$

#### 7.3.2 Perhitungan gaya hidrostatik

$$R_s = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air}} \times (ds + hb)^2 = 0,5 \times 1,03 \times (1,332 + 1,04)^2$$

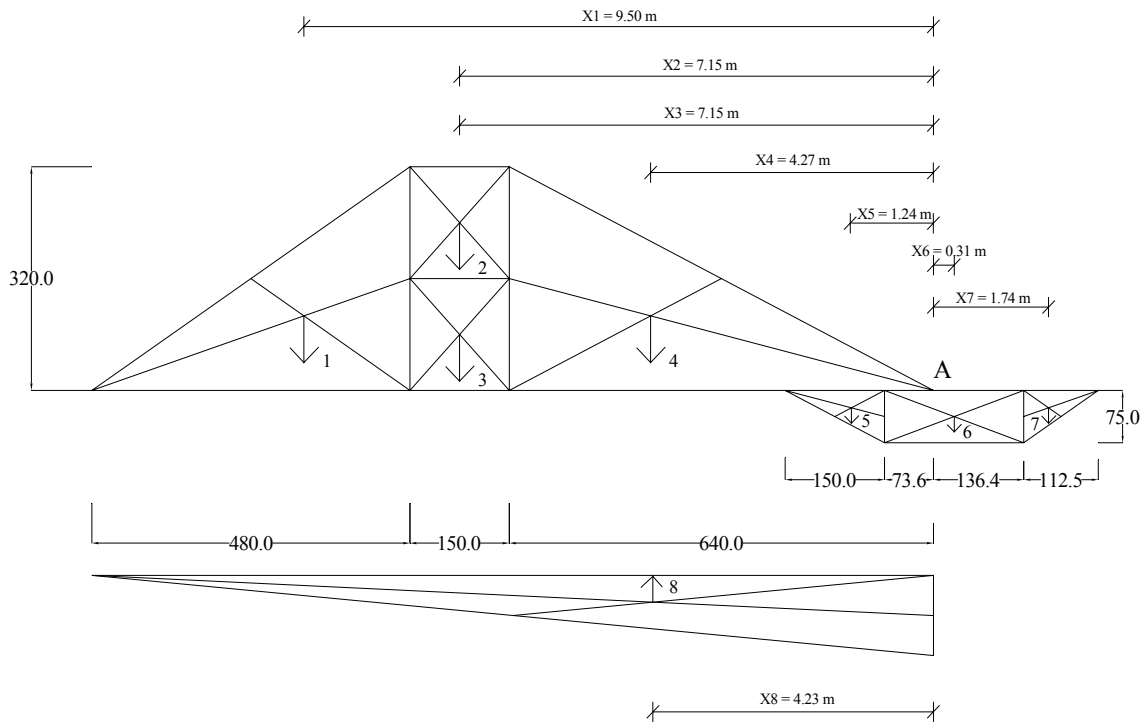
$$R_s = 2,89 \text{ ton}$$

Momen gaya hidrostatik

$$M_s = \frac{1}{6} \times \gamma_{\text{air}} \times (ds + hb)^3 = \frac{1}{6} \times 1,03 \times (1,332 + 1,04)^3$$

$$M_s = 2,29 \text{ tm}$$

### 7.3.3 Perhitungan gaya dan momen



Gambar 7.6. Sket Gaya Yang Bekerja Pada Seawall

Tabel 7.1. Perhitungan gaya dan momen yang terjadi

Gaya	Luas (m <sup>2</sup> )	V (ton)	H (ton)	Lengan (m)	MV (ton m)	MH (ton m)
1	7,68	20,35		9,50	193,33	
2	2,40	6,36		7,15	45,47	
3	2,40	6,36		7,15	45,47	
4	10,24	27,14		4,27	115,89	
5	0,56	1,48		1,24	1,84	
6	1,58	-4,19		0,31	-1,30	
7	0,84	-2,23		1,74	-3,88	
8	4,76	-4,91		4,23	-20,77	
Rs			2,89			2,29
Rm			0,71			1,32
Jumlah		50,36	3,6		376,05	3,61

Keterangan :

V : gaya vertikal akibat berat sendiri ( $V = \text{luas} \times \gamma_{\text{batu}}$ )

H : gaya horizontal

Lengan: jarak titik berat terhadap titik A,

MV : momen vertikal ( $MV = V \times \text{Lengan}$ )

MH : momen horizontal

#### 7.3.4 Kontrol stabilitas keseluruhan konstruksi

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas guling} &= \frac{\Sigma MV}{\Sigma MH} > 2 \\ &= \frac{376,05}{3,61} = 104,17 > 2 && \text{OK,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas geser} &= \frac{\Sigma Vx\mu_s}{\Sigma H} \\ &= \frac{50,36 \times 0,3}{3,60} = 4,20 > 1,5 && \text{OK,} \end{aligned}$$

#### 7.3.5 Kontrol kapasitas daya dukung tanah

Dari perhitungan daya dukung tanah seperti pada Bab IV, didapatkan nilai  $Q_{ult} = 17,086 \text{ t/m}^2$ , Perhitungannya adalah sebagai berikut:

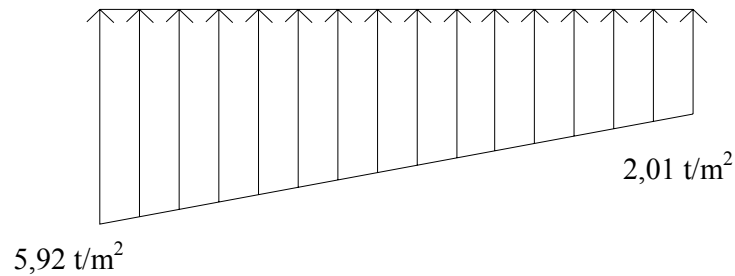
$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \left( \frac{\Sigma MV - \Sigma MH}{\Sigma V} \right) < \frac{B}{6} \\ &= \frac{12,70}{2} - \left( \frac{376,05 - 3,61}{50,36} \right) < \frac{12,70}{6} \\ &= -1,05 < 2,12 && \text{OK,} \end{aligned}$$

$$q_a = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{17,086}{2} = 8,543 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \times \left( 1 - \left( \frac{6e}{B} \right) \right) \\ &= \frac{50,36}{12,70} \times \left( 1 - \left( \frac{6 \times -1,05}{12,70} \right) \right) = 5,92 \text{ t/m}^2 < 8,543 \text{ t/m}^2 && \text{OK,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\min} &= \frac{\sum V}{B} x \left( 1 + \left( \frac{6e}{B} \right) \right) \\
 &= \frac{50,36}{12,70} x \left( 1 + \left( \frac{6x - 1,05}{12,70} \right) \right) = 2,01 \text{ t/m}^2 < 8,543 \text{ t/m}^2 \quad \text{OK,}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat digambarkan diagram tegangan tanah dasar dibawah konstruksi *seawall*, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 7,7, Diagram tekanan tanah dasar yang terjadi

### 7.3.6 Perhitungan Penurunan (*Settlement*)

Dari data-data mekanika tanah (lihat lampiran) diketahui:

Berat volume tanah ( $\gamma_a$ )	= 1,6867 t/m <sup>3</sup>
Kadar air (w)	= 43,82%
Berat jenis tanah (Gs)	= 2,6389
Porositas (n)	= 55,56%
Angka pori (e)	= 1,2501
Liquid limit (LL)	= 76,10%

- Penurunan Seketika (Si)

$$\begin{aligned}
 P_{seawall} &= \gamma_{\text{batu}} \times L \times B \\
 &= 2,65 \times 22,72 \times 1 = 60,208 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{toe} &= \gamma_{\text{batu}} \times L \times B \\
 &= 2,65 \times 2,98 \times 1 = 7,897 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= P_{seawall} + P_{toe} \\
 &= 60,208 + 7,897 = 68,105 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$q = \frac{P_{total}}{L_{alas}} = \frac{68,105}{15,189 \times 1} = 4,484 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = qxBx \frac{1-\mu^2}{E_s} xI_w$$

Dimana :

$S_i$  : penurunan seketika (cm)

$q$  : tegangan kontak ( $\text{t/m}^2$ )

$B$  : lebar bangunan tiap 1 meter

$\mu$  : angka poisson (terlampir)

$E_s$  : modulus elastisitas (terlampir)

$I_w$  : faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk bangunan dan kekakuan bangunan (terlampir)

$$\begin{aligned} S_i &= qxBx \frac{1-\mu^2}{E_s} xI_w \\ &= 4,484 \times 1 \times \frac{1-0,3^2}{200} \times 0,95 = 0,019 \text{ m} = 1,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Penurunan Konsolidasi ( $S_{cp}$ )

$$S_{cp} = \frac{C_c x H}{1 + e_o} x \left( \text{Log} \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Dimana :

$S_{cp}$  : penurunan konsolidasi

$C_c$  : compression indeks

$e_o$  : angka pori tanah

$H$  : tinggi lapisan tanah

$P_o$  : muatan/tegangan tanah awal

$\Delta P$  : tambahan tegangan tanah

$$\begin{aligned} P_o &= (\gamma_{tanah} \times H) + (\gamma_{air} \times H) \\ &= (1,6867 \times 1) + (1,03 \times 1) = 2,7167 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{qxBxL}{(B+z)x(L+z)} \text{ dengan } Z = 2x(H/2) = 2x(1/2) = 1 \\ &= \frac{4,484 \times 1 \times 15,189}{(1+1)x(15,189+1)} \\ &= 2,1 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$C_c = 0,009 \times (LL - 10)$$

$$= 0,009 \times (76,1 - 10) = 0,595$$

$$S_{cp} = \frac{0,595 \times 1}{1 + 1,2501} \times \left( \text{Log} \frac{2,7167 + 2,1}{2,7167} \right)$$

$$= 0,066 \text{ m} = 6,6 \text{ cm}$$

- Penurunan Total (St)

$$St = S_i + S_{cp}$$

$$= 1,9 + 6,6 = 8,5 \text{ cm}$$

- Waktu Penurunan

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2}$$

Dimana  $T_v$  = Faktor waktu

$C_v$  = Koefisien Konsolidasi =  $0,002 \text{ cm}^2/\text{menit}$

$t$  = waktu

$H$  = tinggi lapisan tanah

$U$  = derajat konsolidasi (%)

$$T_v = \frac{0,002 \times 5 \times 365 \times 24 \times 60}{100^2} = 0,5256$$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U)$$

$$0,5256 = 1,781 - 0,933 \log(100 - U)$$

$$\text{Log}(100 - U) = \frac{1,781 - 0,5256}{0,933} = 1,346$$

$$100 - U = 10^{1,346}$$

$$U = 100 - 22,18 = 77,82\%$$

$$S_{\text{tahun}} = U \times St = 77,82\% \times 8,5 = 6,615 \text{ cm}$$

Mencapai derajat konsolidasi 90% ( $T_v = 0,848$ )

$$t = \frac{T_v \times H^2}{C_v} = \frac{0,848 \times 100^2}{0,002 \times 365 \times 24 \times 60}$$

$$t = 8,1 \text{ tahun}$$

