

BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN PANTAI

6.1. Perhitungan Struktur Revetment dengan Tumpukan Batu

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

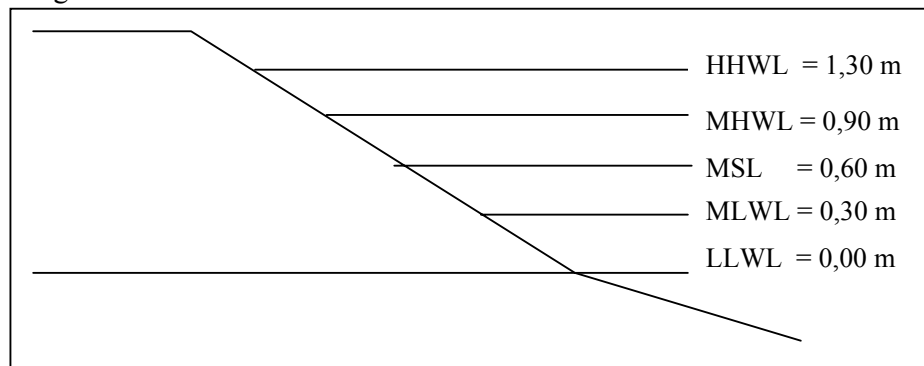
- Arah datang gelombang dominan dari arah barat laut.
- Sudut datang gelombang 30°
- Tinggi dan periode gelombang signifikan

$$H_{33} = 1,77 \text{ m}$$

$$T_{33} = 5,14 \text{ detik}$$

6.1.1 Penentuan Elevasi Revetment

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



Gambar 6.1. Gambar Pasang Surut

Elevasi dasar revetment direncanakan pada LLWL yaitu 0,00 m. Ketinggian muka air pada ujung bangunan revetment yang menghadap ke laut direncanakan sebesar HHWL = +1,30 m dari dasar laut.

6.1.1.1 Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

Dimana :

DWL : Elevasi muka air rencana

S_w : *Wave set-up*

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

- *Wave set-up*

Untuk perhitungan *Wave set-up* diambil data dari perhitungan gelombang rencana di bab IV, $H_b = 1,6$ m, $T = 5,25$ detik.

Maka besar *wave set-up* adalah :

$$\begin{aligned} S_w &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \\ &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{1,6}{9,81 \times 5,25^2}} \right] 1,6 \\ &= 0,24 \text{ m} \end{aligned}$$

- *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 pada Gambar 2.10. Dari gambar didapatkan kenaikan muka air laut yang terjadi tahun 2017 dengan perkiraan terbaik adalah 12 cm = 0,12 m (direncanakan umur bangunan = 10 tahun).

Sehingga didapatkan elevasi muka air rencana adalah sebagai berikut:

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

$$DWL = 0,9 + 0,24 + 0,12$$

$$DWL = +1,26 \text{ m}$$

6.1.1.2 Perhitungan gelombang rencana dan gelombang pecah untuk revetment

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 di lokasi pekerjaan harus ditinjau terhadap proses ini. Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di lokasi 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 di lokasi bangunan (m)

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

$$H_D = H_b$$

Elevasi dasar *revetment* direncanakan 0,00 m. Ketinggian muka air pada ujung bangunan *revetment* yang menghadap ke laut direncanakan sebesar HHWL = +1,30 m dari dasar laut, sehingga didapatkan $d_s = 1,30$ m. Dari penjelasan di atas, maka untuk perhitungan gelombang rencana pada *revetment* Pantai Tambak Mulyo adalah sebagai berikut:

$$d_s = \text{HHWL} = 1,3 \text{ m}$$

$$H_b = 0,78.d_s$$

$$H_b = 0,78 \cdot 1,3 = 1,014 \text{ m}$$

$$H_D = H_b = 1,014 \text{ m}$$

6.1.1.3 Perhitungan Elevasi Mercu Revetment

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Elevasi mercu} = \text{DWL} + \text{Ru} + \text{Fb}$$

Dimana:

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

Ru : *Run-up* gelombang

Fb : Tinggi jagaan (0,5 – 1,5 m)

❖ *Run-up* gelombang

Direncanakan:

Jenis bangunan = *revetment*

Lapis lindung = batu alam kasar

Tinggi gelombang (H_D) = 1,014 m

Kemiringan bangunan = 1 : 2

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 5,25^2 = 42,99 \text{ m}$$

$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} = \frac{0,5}{\left(\frac{1,014}{42,99}\right)^{0,5}} = 3,25$$

Run up gelombang didapat dari Gambar 2.26 berdasar Bilangan Irrabaren di atas, maka didapat

$$\frac{Ru}{H} = 2,25$$

$$Ru = 2,25 \times 1,014 = 2,28 \text{ m}$$

❖ Elevasi Mercu = DWL + Ru + tinggi jagaan

$$= 1,26 + 2,28 + 0,5$$

$$= 4,04 \text{ m} \approx 4,10 \text{ m}$$

6.1.2 Perhitungan Lapis Lindung

6.1.2.1 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 K_D lengan bangunan = 2. Perhitungannya sebagai berikut:

- Lapis pelindung luar (*armour stone*)

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

γ_r : berat jenis batu (2,65 t/m²)

γ_a : berat jenis air laut (1,03 t/m²)

$$W_l = \frac{2,65 \times 1,014^3}{2 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 0,178 \text{ ton} \approx 180 \text{ kg}$$

Tebal lapis pelindung (t_1)

$$t_1 = n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left[\frac{0,178}{2,65} \right]^{1/3} = 0,94 \text{ m} \approx 1,00 \text{ m}$$

- Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$\frac{W}{10} = \frac{0,178}{10} = 0,0178 \text{ ton} \approx 18 \text{ kg}$$

Tebal lapis pelindung (t_2)

$$t_2 = n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left[\frac{0,0178}{2,65} \right]^{1/3} = 0,44 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

- Lapis *core layer*

$$\frac{W}{200} = \frac{0,178}{200} = 0,0009 \text{ ton} \approx 1 \text{ kg}$$

6.1.2.2 Lebar Puncak Revetment

Lebar puncak *Revetment* untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_{Δ}) = 1,15 adalah sebagai berikut:

$$B = nK_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 3 \times 1,15 \times \left[\frac{0,178}{2,65} \right]^{1/3}$$

$$B = 1,40 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

6.1.2.3 Jumlah Batu Pelindung

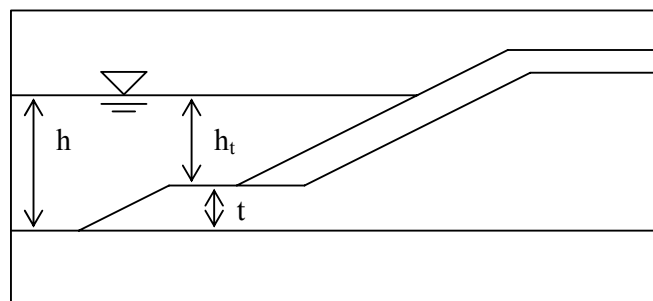
Jumlah butir batu pelindung tiap satu satuan luas (10 m^2) dan porositas = 37 dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \times \left[1 - \frac{37}{100} \right] x \left[\frac{2,65}{0,178} \right]^{2/3}$$

$$N = 87,69 \text{ buah} \approx 88 \text{ buah}$$

6.1.2.4 Toe Protection



Gambar 6.2. Sket Penentuan Tinggi *Toe Protection*

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis rerata) = 0,75 m, tinggi gelombang rencana $H_D = 1,014 \text{ m}$ adalah sebagai berikut:

- Tinggi *toe protection* (t)

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

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

- Lebar *toe protection*

$$B = 2H - 3H$$

$$\text{diambil } B = 2H = 2 \times 1,014 = 2,03 \text{ m}$$

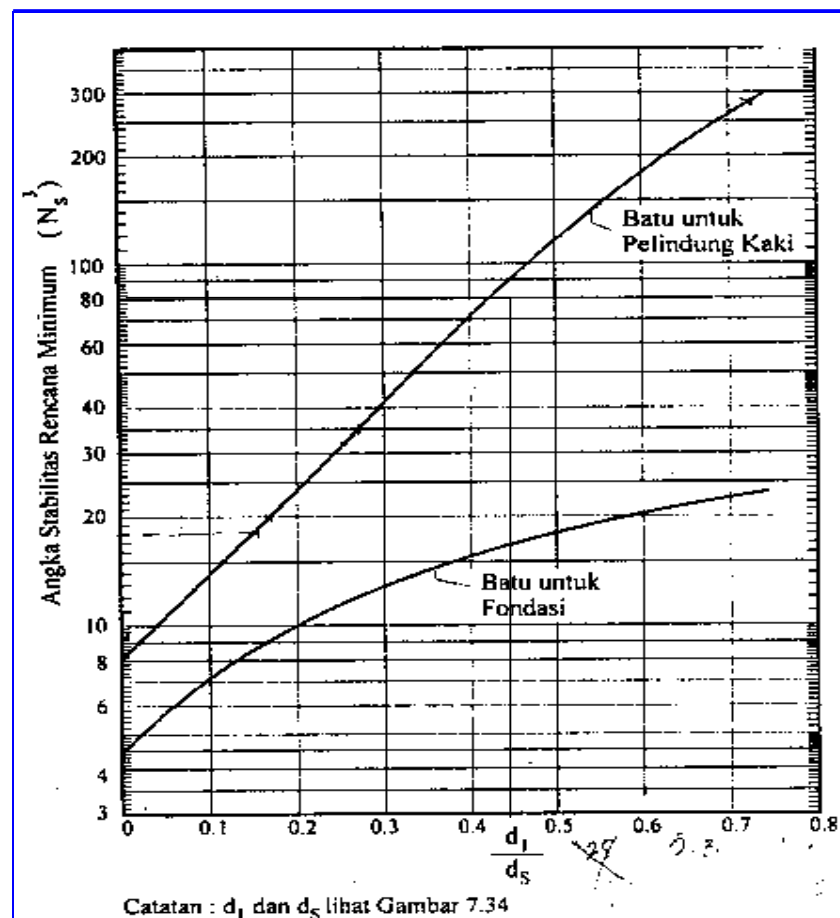
- Berat butir *toe protection*

$$d_s = 1,3 \text{ m}$$

$$d_1 = d_s - t_{toe} = 1,3 - 0,75 = 0,55 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{0,55}{1,3} = 0,42$$

Harga N_s^3 dapat dicari dari Gambar 6.3 sebagai berikut :



Gambar 6.3. Angka stabilitas N_s untuk pondasi pelindung kaki

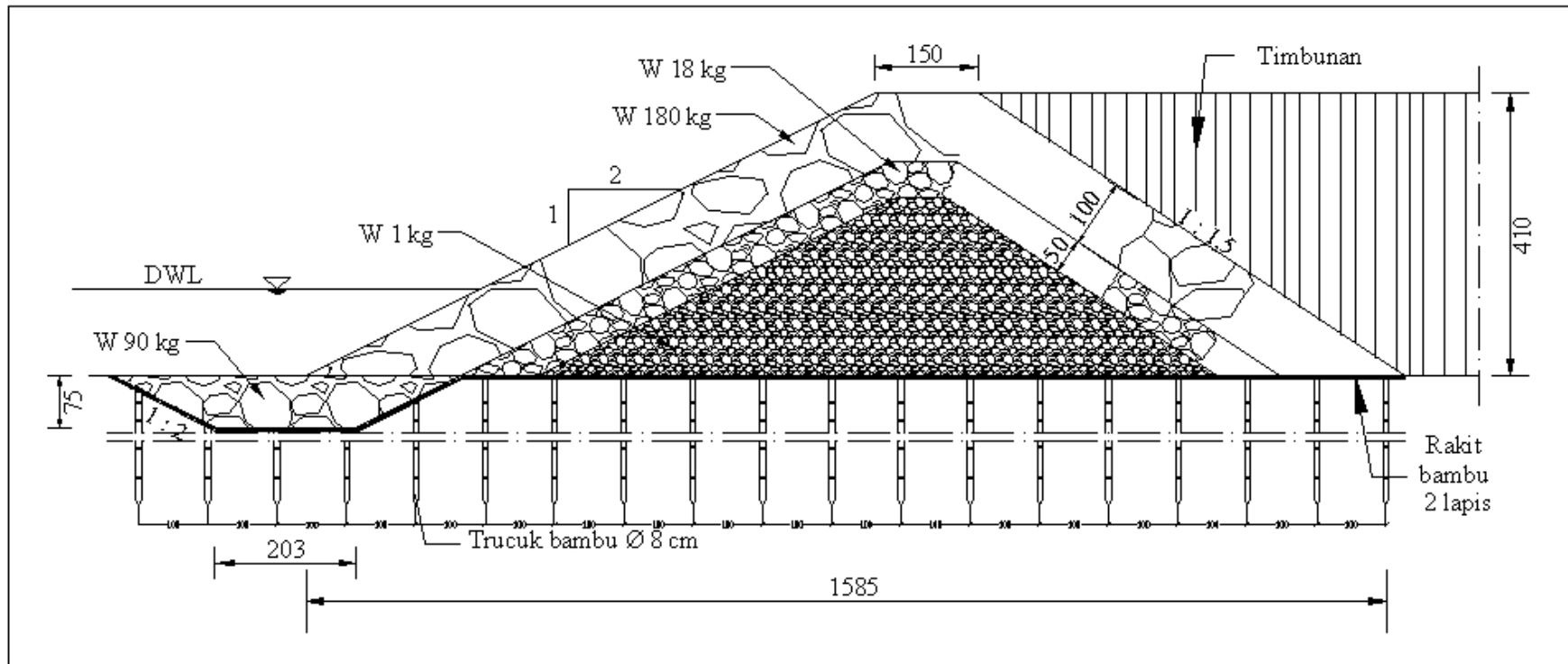
Harga N_s^3 (Angka stabilitas rencana untuk pelindung kaki) diperoleh $N_s^3 = 80$

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} = \frac{2,65 \times 1,014^3}{80 \left(\frac{2,65}{1,03} - 1 \right)^3} = 0,009 \text{ ton} = 9 \text{ kg}$$

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

$$\begin{aligned} W &= 0,5 \times 0,178 \text{ ton} \\ &= 0,089 \text{ ton} \\ &= 89 \text{ kg} \approx 90 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka berat butir *toe protection* (W) diambil terbesar yaitu $W = 90 \text{ kg}$.



Gambar 6.4. Dimensi revetment dengan tumpukan batu berdasarkan perhitungan (dalam cm).

6.1.3 Stabilitas Struktur

Desain revetment hasil perhitungan diatas adalah sebagai berikut:

Tinggi revetment	: 4,10 m
Lebar revetment	: 15,85 m
Tinggi <i>toe protection</i>	: 0,75 m
Lebar <i>toe protection</i>	: 2,03 m
Data timbunan tanah	: $\phi = 3,375^0$, $\gamma_a = 1,196 \text{ t/m}^3$

6.1.3.1 Perhitungan gaya gelombang dinamis

$$hb = 1,014 \text{ m}$$

$$ds = 1,3 \text{ m}$$

$$R_m = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air}} \times ds \times hb = 0,5 \times 1,03 \times 1,3 \times 1,014 = 0,679 \text{ ton}$$

Momen gaya gelombang dinamis

$$M_m = R_m \times \left(ds + \frac{hb}{2} \right) = 0,678 \times \left(1,3 + \frac{1,014}{2} \right)$$

$$M_m = 1,23 \text{ tm}$$

6.1.3.2 Perhitungan gaya hidrostatik

$$R_s = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air}} \times (ds + hb)^2 = 0,5 \times 1,03 \times (1,3 + 1,014)^2$$

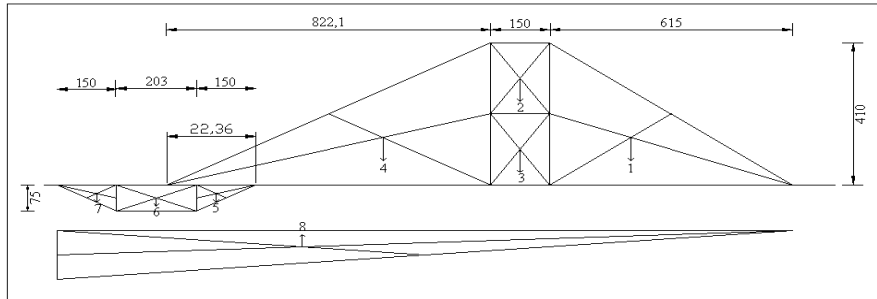
$$R_s = 2,76 \text{ ton}$$

Momen gaya hidrostatik

$$M_s = \frac{1}{6} \times \gamma_{\text{air}} \times (ds + hb)^3 = \frac{1}{6} \times 1,03 \times (1,3 + 1,014)^3$$

$$M_s = 2,13 \text{ tm}$$

6.1.3.3 Perhitungan gaya dan momen



Gambar 6.5. Sket gaya yang bekerja pada revetment (dalam cm)

Tabel 6.1. Perhitungan gaya dan Momen yang terjadi

Gaya	Luas (m ²)	V (ton)	H (ton)	Lengan (m)	MV (ton m)	MH (ton m)
1	12,61	33,42		14,54	485,93	
2	3,10	8,22		11,74	96,50	
3	3,10	8,22		11,74	96,50	
4	16,85	44,65		8,26	368,81	
5	0,56	1,48		4,03	5,96	
6	1,52	4,03		2,52	10,16	
7	0,56	1,48		1	1,48	
8	16,25	-16,74		5,28	-88,39	
Rs			2,76			2,13
Rm			0,679			1,23
Jumlah		84,76	3,439		976,95	3,36

Keterangan :

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

H : gaya horizontal

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

MH : momen horizontal

6.1.3.4 Kontrol stabilitas keseluruhan konstruksi

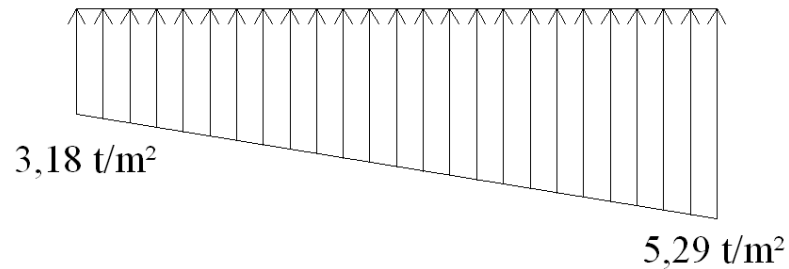
$$\begin{aligned}
 \text{Stabilitas guling} &= \frac{\Sigma MV}{\Sigma MH} > 2 \\
 &= \frac{976,95}{3,36} = 290,76 > 2 && \text{OK !!} \\
 \\
 \text{Stabilitas geser} &= \frac{\Sigma Vx\mu_s}{\Sigma H} \\
 &= \frac{84,76x0,4}{3,349} = 9,86 > 1,5 && \text{OK !!}
 \end{aligned}$$

6.1.3.5 Kontrol kapasitas daya dukung tanah

Dari perhitungan daya dukung tanah seperti pada Bab IV, didapatkan nilai $Q_{ult} = 13,25 \text{ t/m}^2$. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma MV - \Sigma MH}{\Sigma V} \right) < \frac{B}{6} \\
 &= \frac{18,64}{2} - \left(\frac{976,95 - 3,36}{84,76} \right) < \frac{18,64}{6} \\
 &= -2,17 < 3,107 \\
 e &= 3,107 - 2,17 = 0,937 \\
 q_a &= \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{13,25}{2} = 6,63 \text{ t/m}^2 \\
 Q_{min} &= \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 - \left(\frac{6e}{B} \right) \right) \\
 &= \frac{84,76}{18,64} \times \left(1 - \left(\frac{6x0,937}{18,64} \right) \right) = 3,18 \text{ t/m}^2 < 6,63 \text{ t/m}^2 && \text{OK !!} \\
 Q_{max} &= \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \left(\frac{6e}{B} \right) \right) \\
 &= \frac{84,76}{18,64} \times \left(1 + \left(\frac{6x0,937}{18,64} \right) \right) = 5,92 \text{ t/m}^2 < 6,63 \text{ t/m}^2 && \text{OK !!}
 \end{aligned}$$

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



Gambar 6.6. Diagram tekanan tanah dasar yang terjadi

6.1.4 Cek Settlement

Dari data-data lapangan diketahui:

$$\gamma_{sat} = \text{berat volume tanah basah} = 1,615 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{air} = 1,615 - 1,03 = 0,585 \text{ ton/m}^3$$

$$e_0 = \text{angka pori tanah} = 0,7169$$

$$C_c = \text{koefisien kompresi (Braja M. Das, 1995)}$$

$$= 0,3 \times (e_0 - 0,27) = 0,3 \times (0,7169 - 0,27) = 0,1341$$

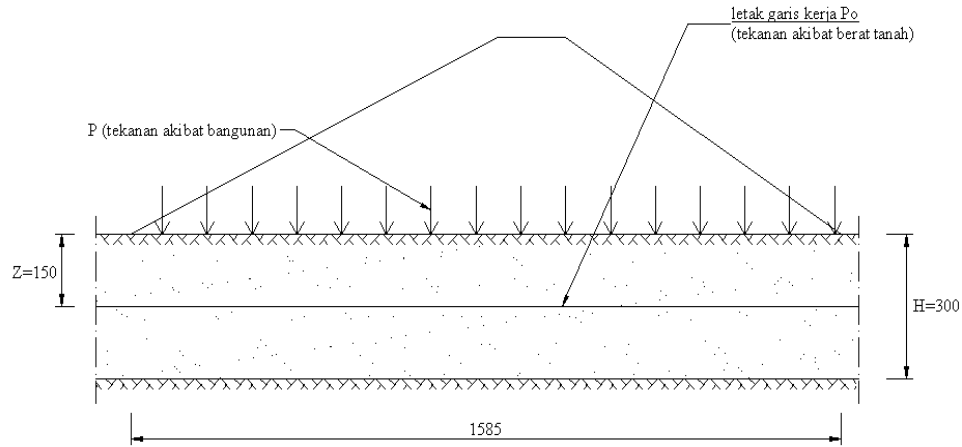
$$C_v = \text{koefisien konsolidasi} = 0,005 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$G_s = \text{berat jenis tanah} = 2,599$$

$$H = \text{tebal segmen tanah} = 3 \text{ m}$$

$$Z = H/2 = 3/2 = 1,5 \text{ m}$$

$$w = \text{kadar air} = 33 \%$$



Gambar 6.7. Lapisan tanah yang terkonsolidasi pada revetment

Perhitungan beban dapat dilihat pada perhitungan gaya vertikal Tabel 6.1.

Berat total bangunan = 84,76 ton/m²

Maka tekanan akibat berat bangunan pada tanah:

$$p = \frac{V_{total}}{B} = \frac{84,76}{15,85} = 5,35 \text{ ton / m}^2$$

tekanan akibat berat lapisan tanah bisa dihitung:

$$p_0 = H \times \gamma' = 3 \times 0,585 = 1,755 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{penambahan tekanan } (\Delta p) \text{ untuk } H/B = \frac{3}{15,85} = 0,19$$

Dari nilai Ossterberg (Braja M. Das, 1993) didapat : $\Delta p = 0,7 p$

$$\Delta p = 0,7 p = 0,7 \times 5,35 = 3,75 \text{ ton/m}^2$$

Maka penurunan (*settlement*) bisa dihitung

$$S = \frac{Cc \times H}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

Dimana : S = besarnya penurunan tanah dan bangunan (m)

Cc = koefisien kompresi

H = tebal segmen tanah (m)

e_0 = angka pori tanah

p_0 = tekanan akibat berat lapisan tanah (ton/m²)

Δp = penambahan tekanan pada tanah akibat bangunan (ton/m²)

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= \frac{0,1341 \times 3}{1 + 0,7169} \log \frac{1,755 + 3,75}{1,755} \\ &= 0,116 \text{ m} = 11,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk mencapai derajat konsolidasi 50% maka faktor waktu (T_v) = 0,197 (Casagrande, 1939)

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

Dimana : T = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan (tahun)

T_v = faktor waktu penurunan

C_v = koefisien konsolidasi (cm²/menit)

$$T = \frac{0,197 \times 300^2}{0,005(365 \times 24 \times 60)} = 6,75 \text{ tahun}$$

Untuk mencari penurunan tiap tahun, misal tahun pertama

$$T_v = \frac{T \times C_v}{H^2} = \frac{(1 \times 365 \times 24 \times 60) \times 0,005}{300^2} = 0,03$$

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

$$0,029 = 1,781 - 0,933 \log (100 - U)$$

$$\text{Log} (100 - U) = \frac{1,781 - 0,029}{0,933} = 1,88$$

$$100 - U = 10^{1,88}$$

$$U = 100 - 75,48\% = 24,56\%$$

$$S (1 \text{ tahun}) = U(1 \text{ tahun}) \times S_{\text{total}} = 24,56\% \times 11,6 = 2,85 \text{ cm}$$

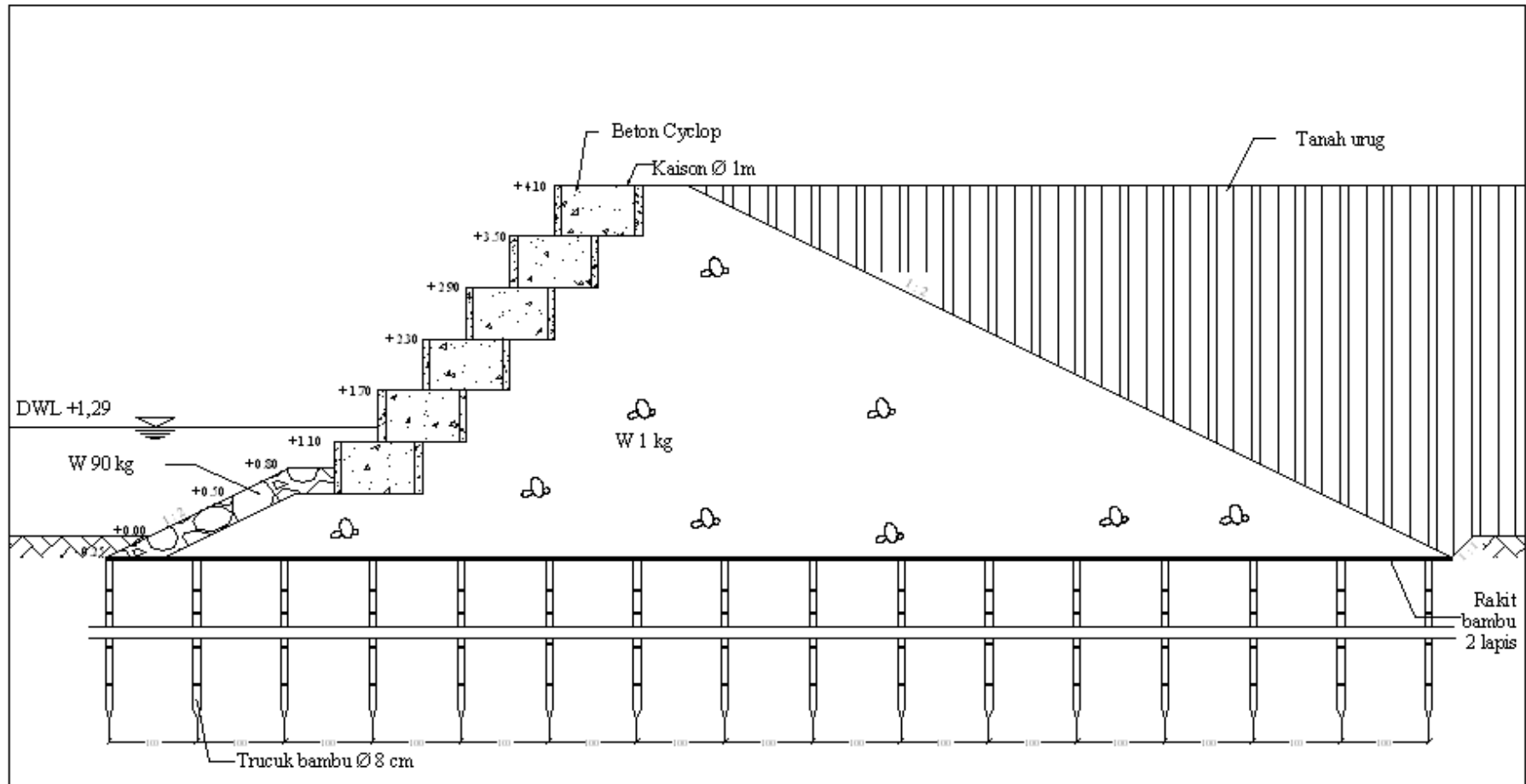
Tabel 6.2 Perhitungan *settlement* revetment

Tahun	Tv	log100-U	U(%)	Penurunan (cm)
1	0,03	1,88	24,56	2,85
2	0,06	1,85	29,81	3,46
3	0,09	1,82	34,69	4,02
4	0,12	1,78	39,23	4,55
5	0,15	1,75	43,45	5,04
6	0,18	1,72	47,38	5,50
7	0,20	1,69	51,04	5,92
8	0,23	1,66	54,45	6,32
9	0,26	1,63	57,61	6,68
10	0,29	1,60	60,56	7,03

6.2 Perhitungan Struktur Revetment dengan Kaison (Alternatif 2)

Pada prinsipnya perhitungan struktur revetment dengan kaison sama dengan perhitungan struktur revetment dengan tumpukan batu, perbedaannya hanya pada lapis lindung utama.

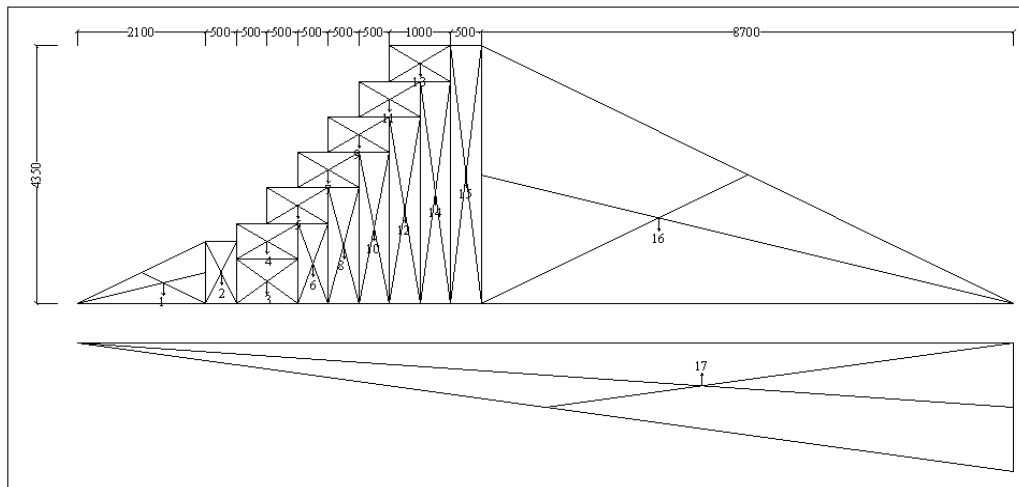
- Tinggi bangunan = 4,10 m.
- Lebar puncak = 1,50 m.
- Lebar dasar bangunan = 15,30 m
- Berat jenis bahan bangunan
 - Kaison dan beton *cyclop* = 2,20 t/m³.
 - Batu = 2,65 t/m³.
- Tinggi gelombang rencana (H_1) = +1,29 m
- Berat batu pelindung kaki (toe protection) = 90 kg
- Berat kaison dan beton *cyclop* = 414,5 kg
- Berat batu inti = 1 kg



Gambar 6.8. Dimensi revetment dengan kaisan

6.2.1. Stabilitas Struktur

6.2.1.1 Perhitungan gaya dan momen



Gambar 6.9. Sket gaya yang bekerja pada revetment (dalam cm)

Tabel 6.3. Perhitungan gaya dan Momen yang terjadi

Gaya	Luas (m ²)	V (ton)	H (ton)	Lengan (m)	MV (ton m)	MH (ton m)
1	1,10	2,92		1,40	4,09	
2	0,53	1,39		2,35	3,27	
3	0,75	1,99		3,10	6,16	
4	0,60	1,32		3,10	4,09	
5	0,60	1,32		3,60	4,75	
6	0,68	1,79		3,85	6,89	
7	0,60	1,32		4,10	5,41	
8	0,98	2,58		4,35	11,24	
9	0,60	1,32		4,60	6,07	
10	1,28	3,38		4,85	16,39	
11	0,60	1,32		5,10	6,73	
12	1,58	4,17		5,35	22,33	
13	0,60	1,32		5,60	7,39	
14	1,88	4,97		5,85	29,07	
15	2,18	5,76		6,35	36,60	
16	18,92	50,14		9,50	476,37	

17	16,64	-44,09		10,20	-449,75	
Rs			2,76			2,13
Rm			0,679			1,23
Jumlah		42,93	3,439		197,11	3,36

Keterangan :

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

H : gaya horizontal

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

MH : momen horizontal

6.2.1.2 Kontrol stabilitas keseluruhan konstruksi

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas guling} &= \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2 \\ &= \frac{197,11}{3,36} = 56,66 > 2 && \text{OK !!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas geser} &= \frac{\sum Vx\mu_s}{\sum H} \\ &= \frac{42,93 \times 0,4}{3,439} = 4,99 > 1,5 && \text{OK !!} \end{aligned}$$

6.2.1.3 Kontrol kapasitas daya dukung tanah

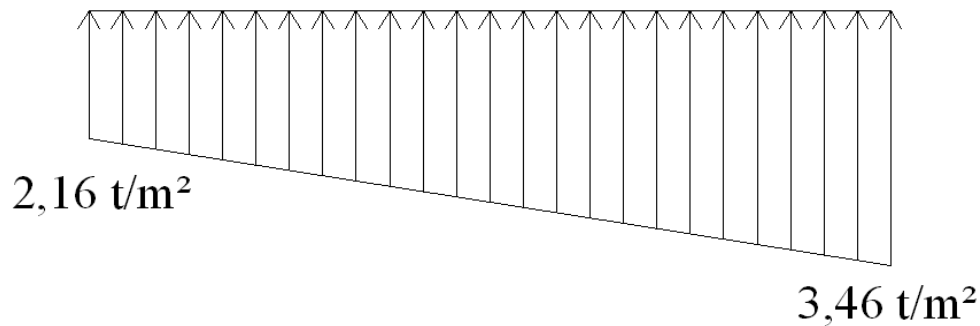
Dari perhitungan daya dukung tanah seperti pada Bab IV, didapatkan nilai $Q_{ult} = 13,25 \text{ t/m}^2$. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \left(\frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} \right) < \frac{B}{6} \\ &= \frac{15,3}{2} - \left(\frac{197,11 - 3,36}{42,93} \right) < \frac{15,3}{6} \\ &= 3,14 > 2,55 \\ e &= 3,14 - 2,55 = 0,59 \\ q_a &= \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{13,25}{2} = 6,63 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\min} &= \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 - \left(\frac{6e}{B} \right) \right) \\
 &= \frac{42,93}{15,3} \times \left(1 - \left(\frac{6 \times 0,59}{15,3} \right) \right) = 2,16 \text{ t/m}^2 < 6,63 \text{ t/m}^2 \quad \text{OK !!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \left(\frac{6e}{B} \right) \right) \\
 &= \frac{42,93}{15,3} \times \left(1 + \left(\frac{6 \times 0,59}{15,3} \right) \right) = 3,46 \text{ t/m}^2 < 6,63 \text{ t/m}^2 \quad \text{OK !!}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat digambarkan diagram tegangan tanah dasar di bawah konstruksi revetment, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 6.10. Diagram tekanan tanah dasar yang terjadi

6.2.2 Cek *Settlement*

Dari data-data lapangan diketahui:

$$\gamma_{sat} = \text{berat volume tanah basah} = 1,615 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{air} = 1,615 - 1,03 = 0,585 \text{ ton/m}^3$$

$$e_0 = \text{angka pori tanah} = 0,7169$$

$$Cc = \text{koefisien kompresi (Braja M. Das, 1995)}$$

$$= 0,3 \times (e_0 - 0,27) = 0,3 \times (0,7169 - 0,27) = 0,1341$$

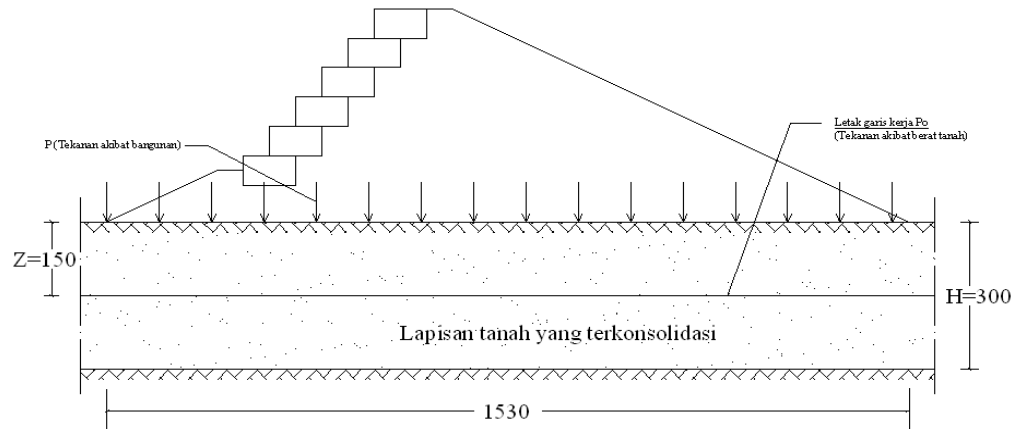
$$Cv = \text{koefisien konsolidasi} = 0,005 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$Gs = \text{berat jenis tanah} = 2,599$$

$$H = \text{tebal segmen tanah} = 3 \text{ m}$$

$$Z = H/2 = 3/2 = 1,5 \text{ m}$$

$$w = \text{kadar air} = 33 \%$$



Gambar 6.11. Lapisan tanah yang terkonsolidasi pada revetment

Perhitungan beban dapat dilihat pada perhitungan gaya vertikal Tabel 6.3.

Berat total bangunan = 42,93 ton/m²

Maka tekanan akibat berat bangunan pada tanah:

$$p = \frac{V_{total}}{B} = \frac{42,93}{15,3} = 2,81 \text{ ton/m}^2$$

tekanan akibat berat lapisan tanah bisa dihitung:

$$p_0 = H \times \gamma' = 3 \times 0,585 = 1,755 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{penambahan tekanan } (\Delta p) \text{ untuk } H/B = \frac{3}{15,3} = 0,20$$

Dari nilai Ossterberg (Braja M. Das, 1993) didapat : $\Delta p = 0,7 p$

$$\Delta p = 0,7 p = 0,7 \times 2,81 = 1,97 \text{ ton/m}^2$$

Maka penurunan (*settlement*) bisa dihitung

$$S = \frac{Cc \times H}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

Dimana : S = besarnya penurunan tanah dan bangunan (m)

Cc = koefisien kompresi

H = tebal segmen tanah (m)

e_0 = angka pori tanah

p_0 = tekanan akibat berat lapisan tanah (ton/m²)

Δp = penambahan tekanan pada tanah akibat bangunan (ton/m²)

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= \frac{0,1341 \times 3}{1 + 0,7169} \log \frac{1,755 + 2,97}{1,755} \\ &= 0,703 \text{ m} = 70,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk mencapai derajat konsolidasi 50% maka faktor waktu (T_v) = 0,197 (Casagrande, 1939)

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

Dimana : T = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan (tahun)

T_v = faktor waktu penurunan

C_v = koefisien konsolidasi (cm²/menit)

$$T = \frac{0,197 \times 300^2}{0,005(365 \times 24 \times 60)} = 6,75 \text{ tahun}$$

Untuk mencari penurunan tiap tahun, misal tahun pertama

$$T_v = \frac{T \times C_v}{H^2} = \frac{(1 \times 365 \times 24 \times 60) \times 0,005}{300^2} = 0,03$$

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

$$0,03 = 1,781 - 0,933 \log (100 - U)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(100 - U) &= \frac{1,781 - 0,029}{0,933} = 1,88 \\ 100 - U &= 10^{1,88} \\ U &= 100 - 75,48\% = 24,56\% \\ S(1 \text{ tahun}) &= U(1 \text{ tahun}) \times S \text{ total} = 24,56\% \times 70,3 = 17,27 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabel 6.4. Perhitungan *settlement* revetment dengan kaison

Tahun	Tv	log100-U	U(%)	Penurunan (cm)
1	0,03	1,88	24,56	17,27
2	0,06	1,85	29,81	20,95
3	0,09	1,82	34,69	24,38
4	0,12	1,78	39,23	27,58
5	0,15	1,75	43,45	30,55
6	0,18	1,72	47,38	33,31
7	0,20	1,69	51,04	35,88
8	0,23	1,66	54,45	38,28
9	0,26	1,63	57,61	40,50
10	0,29	1,60	60,56	42,57