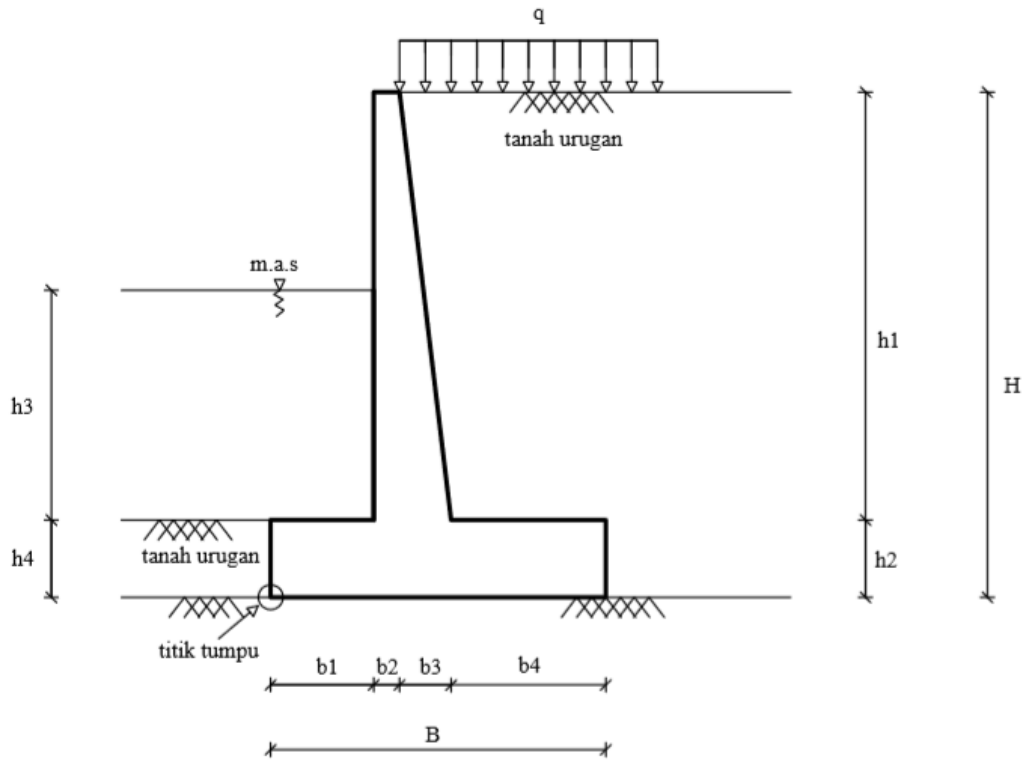
Lampiran 1 Analisis Perhitungan Dinding Penahan Tanah Bendung Kamijoro

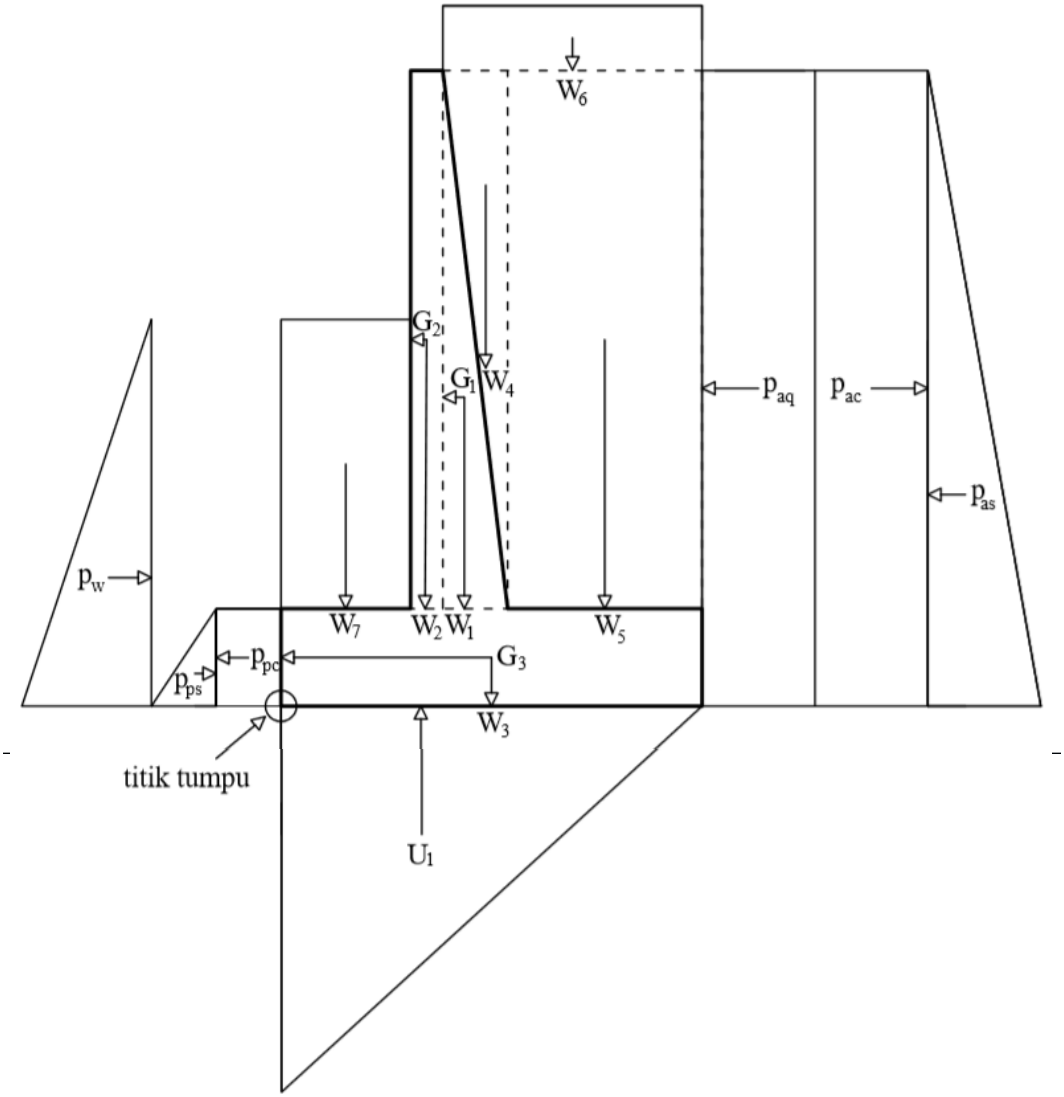
Dinding penahan tanah bagian hulu bendung



Gambar 1 Dinding penahan tanah bagian hulu bendung

Data-data yang diketahui:

γ_c = 23,52 kN/m^3	b1 = 2 m	h3 = 4,46 m
γ = 15,876 kN/m^3	b2 = 0,5 m	h4 = 1,5 m
γ_w = 9,8 kN/m^3	b3 = 1 m	H = 9,8 m
$\emptyset$ = 43,15°	b4 = 3 m	B = 6,5 m
kh = 0,1	h1 = 8,3 m	c = 19,88 kN/m^2
q = 10 kN/m^3	h2 = 1,5 m	



Gambar 2 Diagram arah gaya dinding penahan tanah bagian hulu bendung

Tinjauan 1 meter tegak lurus bidang gambar

Perhitungan gaya tekan berat sendiri dinding penahan tanah

- Beton $W_1 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c$

  $= \frac{1}{2} \times 1 \times 8{,}3 \times 23{,}52$

  $= 97{,}608$ kN

- Beton $W_2 = b_2 \times h_1 \times \gamma_c$

  $= 0{,}5 \times 8{,}3 \times 23{,}52$

  $= 97{,}608$ kN

- Beton $W_3 = h_2 \times B \times \gamma_c$

  $= 1{,}5 \times 6{,}5 \times 23{,}52$

  $= 229{,}32$ kN

- Tanah $W_4 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma$

  $= \frac{1}{2} \times 1 \times 8{,}3 \times 15{,}876$

  $= 65{,}885$ kN

- Tanah $W_5 = h_1 \times b_4 \times \gamma$

  $= 8{,}3 \times 3 \times 15{,}876$

  $= 395{,}312$ kN

- Beban merata $W_6 = q \times l$

  $= 10 \times 4$

  $= 40$ kN

- Berat air $W_7 = b_1 \times h_3 \times \gamma_c$

  $= 2 \times 4{,}46 \times 9{,}8$

  $= 87{,}416$ kN

Perhitungan jarak lengan beban

$X_1 = (\frac{1}{2} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{3} \times 1) + 0{,}5 + 2 = 2{,}83$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times b_2) + b_1 = (\frac{1}{2} \times 0{,}5) + 2 = 2{,}25$ m

$X_3 = \frac{1}{2} \times B = \frac{1}{2} \times 6{,}5 = 3{,}25$ m

$X_4 = (\frac{2}{3} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{2}{3} \times 1) + 0{,}5 + 2 = 3{,}167$ m

$X_5 = (\frac{1}{2} \times b_4) + b_3 + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 3) + 1 + 0{,}5 + 2 = 5$ m

$X_6 = (\frac{1}{2} \times (b_4 + b_3)) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 4) + 0{,}5 + 2 = 4{,}5$ m

$X_7 = \frac{1}{2} \times b_1 = \frac{1}{2} \times 2 = 1$ m

Perhitungan momen berat sendiri dinding penahan tanah

- $M_1 = W_1 \times X_1$

= 97,608 × 2,83

= 276,23 kNm

- $M_2 = W_2 \times X_2$

= 97,608 × 2,25

= 219,62 kNm

- $M_3 = W_3 \times X_3$

= 229,32 × 3,25

= 745,29 kNm

- $M_4 = W_4 \times X_4$

= 65,885 × 3,167

= 208,658 kNm

- $M_5 = W_5 \times X_5$

= 395,312 x 5

= 1976,56 kNm

- $M_6 = W_6 \times X_6$

= 40 × 4,5

= 180 kNm

- $M_7 = W_7 \times X_7$

= 87,416 × 1

= 87,416 kNm

Tabel 1 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

No	Bagian	Berat (W) kN	Lengan beban (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W_1	97,608	2,83	276,23
2	Beton W_2	97,608	2,25	219,62
3	Beton W_3	229,32	3,25	745,29
4	Tanah W_4	65,885	3,167	208,658
5	Tanah W_5	395,312	5	1976,56
6	Beban merata W_6	40	4,5	180
7	Air W_7	87,416	1	87,416
		ΣWv = 1008,139		ΣMv = 3693,774

Perhitungan gaya *uplift* (angkat)

Gaya tekan akibat gaya angkat

- $U_1 = \frac{1}{2} \times B \times (h_3 + h_4) \times \gamma_w$

$= \frac{1}{2} \times 6{,}5 \times (4{,}46 + 1{,}5) \times 9{,}8$

$= 189{,}826$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xu_1 = \frac{1}{3} \times B$

  $= \frac{1}{3} \times 6.5$

  $= 2{,}167$ m

Momen akibat gaya angkat

- $Mu_1 = U_1 \times Xu_1$

  $= 189{,}826 \times 2{,}167$

  $= 411{,}289$ kNm

Tabel 2 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN)	Lengan beban (m)	Mu (kNm)
1	*Uplift* U_1	189,826	2,167	411,289
		ΣU = 189,826		ΣMu = 411,289

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif

$Ka = tg^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 - \frac{43{,}15}{2})$

$= 0{,}188$

$Kp = tg^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 + \frac{43{,}15}{2})$

$= 5{,}32$

Perhitungan pada tanah aktif

Gaya tekan akibat tanah aktif

- Akibat beban merata (p_{aq}) $= q \times Ka \times H$

  $= 10 \times 0{,}188 \times 9{,}8$

  $= 18{,}424$ kN

- Akibat tanah (p_{as}) $= \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma \times Ka$

$= \frac{1}{2} \times 9{,}8^2 \times 15{,}876 \times 0{,}188$

$= 143{,}324$ kN

- Akibat kohesi (p_{ac}) $= -2c \times \sqrt{Ka} \times H$

$= -2 \times 19{,}88 \times \sqrt{0{,}188} \times 9{,}8$

$= -168{,}952$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $X_1 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 9{,}8$

$= 4{,}9$ m

- $X_2 = \frac{1}{3} \times H$

$= \frac{1}{3} \times 9{,}8$

$= 3{,}26$ m

- $X_3 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 9{,}8$

$= 4{,}9$ m

Momen akibat tanah aktif

- $M_{aq} = P_{aq} \times X_1$

$= 18{,}424 \times 4{,}9$

$= 90{,}27$ kNm

- $M_{as} = P_{as} \times X_2$

$= 143{,}324 \times 3{,}26$

$= 467{,}236$ kNm

- $M_{ac} = -P_{aq} \times X_1$

$= -168{,}952 \times 4{,}9$

$= -827{,}86$ kNm

Tabel 3 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Lengan beban (m)	Ma (kNm)
1	p_{aq}	18,424	4,9	90,27
2	p_{as}	143,324	3,26	467,236
3	p_{ac}	-168,952	4,9	-827,86
		ΣPa = -7,204		ΣMa = -270,354

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan pada tanah pasif

Gaya tekan akibat tanah pasif

- p_{ps} (akibat tanah) $= 0,5 \times H^2 \times Kp \times \gamma$

  $= 0,5 \times 1,5^2 \times 5,32 \times 15,876$

  $= 95,02$ kN

- p_{pc} (akibat kohesi) $= -2c\sqrt{Kp} \times H$

  $= -2 \times 19,88 \sqrt{5,32} \times 1,5$

  $= -137,56$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xp_{ps} = \frac{1}{3} \times h_4$

  $= \frac{1}{3} \times 1,5$

  $= 0,5$ m

- $Xp_{pc} = \frac{1}{2} \times h_4$

  $= \frac{1}{2} \times 1,5$

  $= 0,75$ m

Momen tanah pasif

- $Mp_{ps} = p_{ps} \times Xp_{ps}$

  $= 95,02 \times 0,5$

  $= 47,51$ kNm

- $Mp_{pc} = -p_{pc} \times Xp_{pc}$

  $= -137,56 \times 0,75$

  $= -103,17$ kNm

Tabel 4 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN)	Lengan beban (m)	Mp (kNm)
1	Tanah pasif p_{ps}	95,02	0,5	47,51
2	Tanah pasif p_{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		ΣPp = -42,54		ΣMp = -55,66

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan akibat tekanan air

Gaya tekan akibat air

- $P_w = 0,5 \times (h_3 + h_4)^2 \times \gamma_w$

  $= 0,5 \times 5,96^2 \times 9,8$

  $= 174,055$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $X_w = \frac{1}{3} \times (h_3 + h_4)$

  $= \frac{1}{3} \times (4,46 + 1,5)$

  $= 1,99$ m

Momen akibat air

- $M_w = P_w \times X_w$

  $= 174,055 \times 1,99$

  $= 346,369$ kNm

Tabel 5 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada air

No	Bagian	P_w (kN)	Lengan beban (m)	M_w (kNm)
1	P_w (air)	174,055	1,99	346,369
		$\Sigma P_w = 174,055$		$\Sigma M_w = 346,369$

Perhitungan akibat beban gempa

Gaya tekan akibat beban gempa

- Beton $G_1 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= \frac{1}{2}$ x $1 \times 8,3 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 9,76$ kN

- Beton $G_2 = b_2 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= 0,5 \times 8,3 \times 23,52 \times 0,1$

= 9,76 kN

- Beton $G_3 = h_2 \times B \times \gamma_c \times kh$

  = 1,5 × 6,5 × 23,52 × 0,1

  = 22,93 kN

Lengan beban titik tumpu

$X_1 = (\frac{1}{3} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{3} \times 8,3) + 1,5 = 4,27$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{2} \times 8,3) + 1,5 = 5,65$ m

$X_3 = \frac{1}{2} \times h_2 = \frac{1}{2} \times 1,5 = 0,75$ m

Perhitungan momen akibat beban gempa

- $MG_1 = G_1 \times X_1$

  = 9,76 × 4,27

  = 41,675 kNm

- $MG_2 = G_2 \times X_2$

  = 9,76 × 5,65

  = 55,144 kNm

- $MG_3 = G_3 \times X_3$

  = 22,93 × 0,75

  = 17,19 kNm

Tabel 6 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G) kN	Lengan beban (X) m	Momen (Mg) kNm
1	Beton G_1	9,76	4,27	41,675
2	Beton G_2	9,76	5,65	55,144
3	Beton G_3	22,93	0,75	17,19
		ΣG = 42,45		ΣMg = 114,009

Perhitungan stabilitas konstruksi dinding penahan tanah

- Stabilitas terhadap guling

  ΣMt = ΣMv + ΣMp + ΣMw

  = 3693,774 + 0 + 346,369

  = 4040,143 kNm

  ΣMgl = ΣMu + ΣMa + ΣMg

  = 411,289 + 0 + 114,009

= 525,298 kNm

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mgl}$$

$$= \frac{4040,143}{525,298}$$

= 7,691 ≥ 2 (aman)

- Stabilitas terhadap geser

ΣRh = c × B + ΣW × tanØ

= c × B + (ΣWv – ΣU) × tanØ

= 19,88 × 6,5 + (1008,139 – 189,826) × tan 43,15°

= 896,32 kN

ΣPh = -ΣPa + ΣPp + ΣPair + -ΣG

= 0 + 0 + 174,055 + -42,45

= 131,605 kN

$$SF = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph}$$

$$= \frac{896,32}{131,605}$$

= 6,81 ≥ 1,5 (aman)

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Diketahui:

D_F = 1,5 m

B = 6,5 m

γ = 15,876 kN/m^3

c = 19,88 kN/m^2

Ø = 43,15°

Nc = 143,732

N_q = 37,928

Nγ = 38,28

q_{ult} = C × Nc + γ × D_F × N_q + 0,5 × γ × B × Nγ

= 19,88 × 143,732 + 15,876 × 1,5 × 37,928 + 0,5 × 15,876 × 6,5 × 38,28

= 5735,74 kN/m^2

q_{un} = q_u – γ × D_F

$= 5735,74 – (15,876 \times 1,5)$

$= 5711,926 \text{ kN/m}^2$

$q_n = q - \gamma \times D_F$

$= (\Sigma Wv – \Sigma U) – \gamma \times D_F$

$= (1008,139 – 189,826) – (15,876 \times 1,5)$

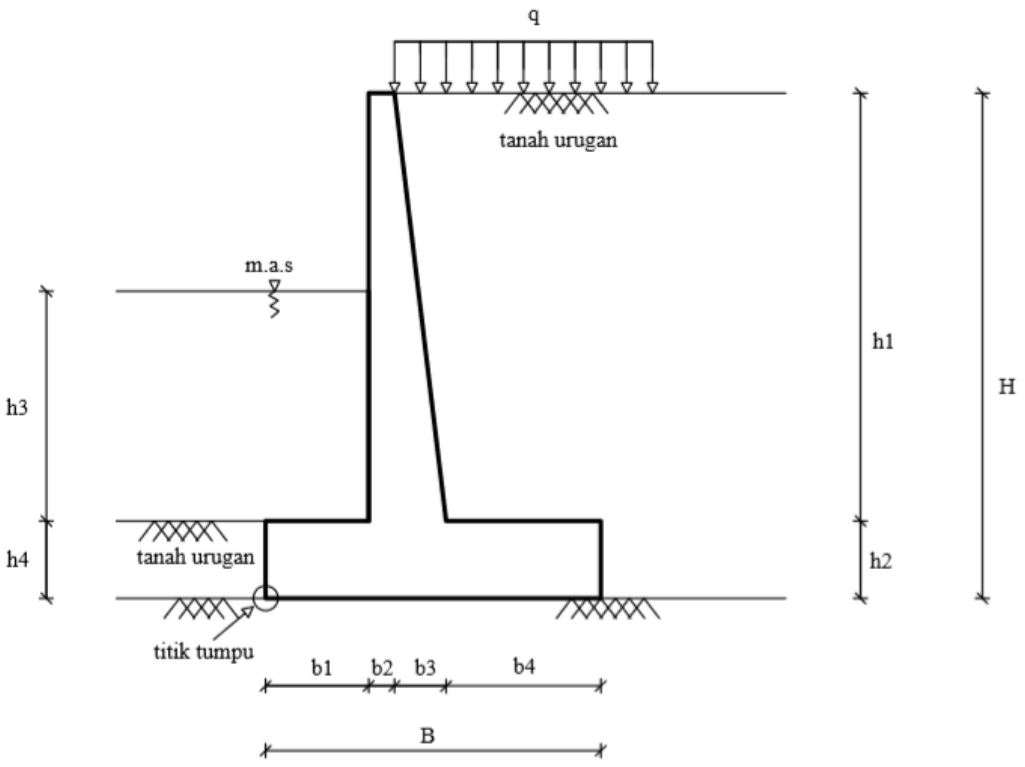
$= 794,499 \text{ kN/m}^2$

$SF = \frac{q_{un}}{q_n}$

$= \frac{5711,926}{794,499}$

$= 7,819 \geq 3$ (aman)

Dinding penahan tanah bagian kolam olak

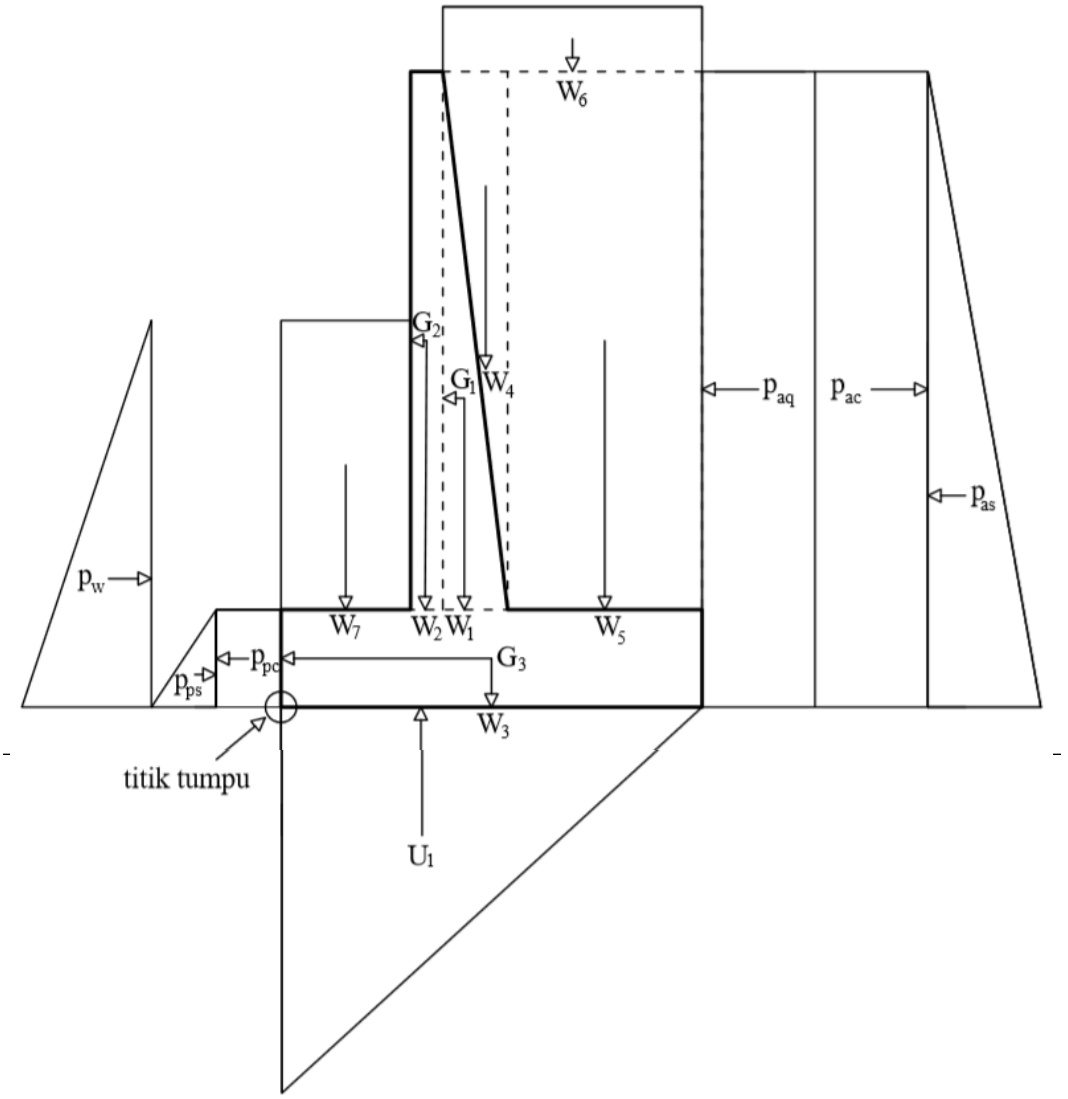


Gambar 3 Dinding penahan tanah bagian kolam olak

Data-data yang diketahui:

$\gamma_c = 23,52 \text{ kN/m}^3$	b1 = 2,25 m	h3 = 6,46 m
$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}$	b2 = 0,5 m	h4 = 1,5 m

γ_w = 9,8 kN/m^3	b3 = 1 m	H = 11,44 m
∅ = 43,15°	b4 = 3,25 m	B = 7 m
kh = 0,1	h1 = 9,94 m	c = 19,88 kN/m^2
q = 10 kN/m^3	h2 = 1,5 m	



Gambar 4 Diagram arah gaya dinding penahan tanah bagian kolam olak

Tinjauan 1 meter tegak lurus bidang gambar

Perhitungan gaya tekan dan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

- Beton $W_1 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c$

$= \frac{1}{2} \times 1 \times 9{,}94 \times 23{,}52$

= 116,89 kN

- Beton W_2 = $b_2 \times h_1 \times \gamma_c$

  = 0,5 × 9,94 × 23,52

  = 116,89 kN

- Beton W_3 = $h_2 \times B \times \gamma_c$

  = 1,5 × 7 × 23,52

  = 246,96 kN

- Tanah W_4 = $\frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma$

  = $\frac{1}{2}$ × 1 × 9,94 × 15,876

  = 78,9 kN

- Tanah W_5 = $h_1 \times b_4 \times \gamma$

  = 9,94 × 3,25 × 15,876

  = 512,87 kN

- Beban merata W_6 = q × l

  = 10 × 4,75

  = 42,5 kN

- Berat air W_7 = $b_1 \times h_3 \times \gamma_c$

  = 2,25 × 6,46 × 9,8

  = 142,443 kN

Perhitungan jarak lengan beban

$X_1 = (\frac{1}{2} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{3} \times 1) + 0,5 + 2,25 = 3,03$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times b_2) + b_1 = (\frac{1}{2} \times 0,5) + 2,25 = 2,5$ m

$X_3 = \frac{1}{2} \times B = \frac{1}{2} \times 7 = 3,5$ m

$X_4 = (\frac{2}{3} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{2}{3} \times 1) + 0,5 + 2,25 = 3,42$ m

$X_5 = (\frac{1}{2} \times b_4) + b_3 + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 3,25) + 1 + 0,5 + 2,25 = 5,375$ m

$X_6 = (\frac{1}{2} \times (b_4 + b_3)) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 4,25) + 0,5 + 2,25 = 4,875$ m

$X_7 = \frac{1}{2} \times b_1 = \frac{1}{2} \times 2,25 = 1,125$ m

Perhitungan momen berat sendiri dinding penahan tanah

- $M_1 = W_1 \times X_1$
  $= 116,89 \times 3,08$
  $= 360,02$ kNm
- $M_2 = W_2 \times X_2$
  $= 116,89 \times 2,5$
  $= 292,23$ kNm
- $M_3 = W_3 \times X_3$
  $= 246,96 \times 3,5$
  $= 846,36$ kNm
- $M_4 = W_4 \times X_4$
  $= 78,9 \times 3,42$
  $= 269,84$ kNm
- $M_5 = W_5 \times X_5$
  $= 512,87 \times 5,375$
  $= 2756,68$ kNm
- $M_6 = W_6 \times X_6$
  $= 42,5 \times 4,875$
  $= 207,19$ kNm
- $M_7 = W_7 \times X_7$
  $= 142,443 \times 1,125$
  $= 160,248$ kNm

Tabel 7 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

No	Bagian	Berat (W) kN	Lengan beban (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W_1	116,89	3,08	360,02
2	Beton W_2	116,89	2,5	292,23
3	Beton W_3	246,96	3,5	846,36
4	Tanah W_4	78,9	3,42	269,84
5	Tanah W_5	512,87	5,375	2756,68
6	Beban merata W_6	42,5	4,875	207,19
7	Air W_7	142,443	1,125	160,248
		$\Sigma Wv = 1257,453$		$\Sigma Mv = 4892,568$

Perhitungan gaya *uplift* (angkat)

Gaya tekan akibat gaya angkat

- $U_1 = \frac{1}{2} \times B \times (h_3 + h_4) \times \gamma_w$

  $= \frac{1}{2} \times 7 \times 7{,}96 \times 9{,}8$

  $= 273{,}028$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xu_1 = \frac{1}{3} \times B$

  $= \frac{1}{3} \times 7$

  $= 2{,}33$ m

Momen akibat gaya angkat

- $Mu_1 = U_1 \times Xu_1$

  $= 273{,}028 \times 2{,}33$

  $= 637{,}065$ kNm

Tabel 8 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN/m)	Lengan beban (m)	Mu (kN/m)
1	*Uplift* U_1	273,028	2,33	637,065
		ΣU = 273,028		ΣMu = 637,065

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif

$Ka = tg^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 - \frac{43{,}15}{2})$

$= 0{,}188$

$Kp = tg^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 + \frac{43{,}15}{2})$

$= 5{,}32$

Perhitungan pada tanah aktif

Gaya tekan akibat tanah aktif

- Akibat beban merata (p_{aq}) = $q \times Ka \times H$

$= 10 \times 0{,}188 \times 11{,}44$

$= 21{,}5$ kN

- Akibat tanah (p_{as}) $= \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma \times Ka$

$= \frac{1}{2} \times 11{,}44^2 \times 15{,}876 \times 0{,}188$

$= 195{,}308$ kN

- Akibat kohesi (p_{ac}) $= -2c\sqrt{Ka} \times H$

$= -2 \times 19{,}88 \times \sqrt{0{,}188} \times 11{,}44$

$= -197{,}23$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $X_1 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 11{,}44$

$= 5{,}72$ m

- $X_2 = \frac{1}{3} \times H$

$= \frac{1}{3} \times 11{,}44$

$= 3{,}81$ m

- $X_3 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 11{,}44$

$= 5{,}72$ m

Momen tanah aktif

- $M_{aq} = P_{aq} \times X_1$

$= 21{,}5 \times 5{,}72$

$= 122{,}98$ kNm

- $M_{as} = P_{as} \times X_2$

$= 195{,}308 \times 3{,}81$

$= 744{,}12$ kNm

- $M_{ac} = -P_{aq} \times X_1$

$= -197{,}23 \times 5{,}72$

$= -1128{,}15$ kNm

Tabel 9 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Lengan beban (m)	Ma (kNm)
1	p_{aq}	21,5	5,72	122,98
2	p_{as}	195,308	3,81	744,12
3	p_{ac}	-197,23	5,72	-1128,15
		ΣPa = 19,578		ΣMa = -261,05

note: karena total hasil pada momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan pada tanah pasif

Gaya tekan akibat tanah pasif

- $p_{ps} = 0,5 \times H^2 \times Kp \times \gamma$

  $= 0,5 \times 1,5^2 \times 5,32 \times 15,876$

  $= 95,02$ kN

- $p_{pc} = -2c \times \sqrt{kp} \times H$

  $= -2 \times 19,88 \sqrt{5,32} \times 1,5$

  $= -137,56$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xp_s = \frac{1}{3} \times h_4$

  $= \frac{1}{3} \times 1,5$

  $= 0,5$ m

- $Xp_c = \frac{1}{2} \times h_4$

  $= \frac{1}{2} \times 1,5$

  $= 0,75$ m

Momen akibat tanah pasif

- $Mp_s = Pp_s \times Xp_s$

  $= 95,02 \times 0,5$

  $= 47,51$ kN

- $Mp_c = -Pp_c \times Xp_c$

  $= -137,56 \times 0,75$

  $= -103,17$ kN

Tabel 10 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN/m)	Lengan beban (m)	Mp (kN/m)
1	Tanah pasif p_{ps}	95,02	0,5	47,51
2	Tanah pasif p_{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		ΣPp = -42,54		ΣMp = -55,66

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan akibat tekanan air

Gaya tekan akibat air

- P_w (air) = $0,5 \times (h_3 + h_4)^2 \times \gamma_w$

  $= 0,5 \times 7,96^2 \times 9,8$

  $= 310,47$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- X_w (air) = $\frac{1}{3} \times (h_3 + h_4)$

  $= \frac{1}{3} \times (6,46 + 1,5)$

  $= 2,653$ m

Momen akibat air

M_w air = P_w (air) × X_w (air)

$= 310,47 \times 2,653$

$= 823,976$ kNm

Tabel 11 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada air

No	Bagian	P_w air (kN)	Lengan beban (m)	M_w air (kNm)
1	P_w (Air)	310,47	2,653	823,676
		ΣP_w air = 310,47		ΣM_w air = 823,676

Perhitungan akibat beban gempa

Gaya tekan akibat beban gempa

- Beton G_1 = $\frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= \frac{1}{2} \times 1 \times 9,94 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 11,69$ kN

- Beton G_2 = $b_2 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= 0,5 \times 9,94 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 11,69$ kN

- Beton G_3 $= h_2 \times B \times \gamma_c \times kh$

  $= 1,5 \times 7 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 24,7$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

$X_1 = (\frac{1}{3} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{3} \times 9,94) + 1,5 = 4,813$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{2} \times 9,94) + 1,5 = 6,47$ m

$X_3 = (\frac{1}{2} \times h_2) = \frac{1}{2} \times 1,5 = 0,75$ m

Perhitungan momen akibat beban gempa

- $MG_1 = G_1 \times X_1$

  $= 11,69 \times 4,813$

  $= 56,26$ kN

- $MG_2 = G_2 \times X_2$

  $= 11,69 \times 6,47$

  $= 75,63$ kN

- $MG_3 = G_3 \times X_3$

  $= 24,7 \times 0,75$

  $= 18,53$ kN

Tabel 12 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G) kN	Lengan beban (X) m	Momen (Mg) kNm
1	Beton G_1	11,69	4,813	56,26
2	Beton G_2	11,69	6,47	75,63
3	Beton G_3	24,7	0,75	18,53
		ΣG = 48,08		ΣMg = 150,42

Perhitungan stabilitas konstruksi

- Stabilitas terhadap guling

  $\Sigma Mt = \Sigma Mv + \Sigma Mp + \Sigma Mair$

  $= 4892,568 + 0 + 823,676$

  $= 5716,244$ kNm

  $Mg = \Sigma Mu + \Sigma Ma + \Sigma Mg$

  $= 637,065 + 0 + 150,42$

= 787,485 kNm

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg}$$

$$= \frac{5716,244}{787,485}$$

= 7,258 ≥ 2 (aman)

- Stabilitas terhadap geser

ΣRh = c × B + ΣW × tanØ

= c × B + (ΣWv – ΣU) × tanØ

= 19,88 x 7 + (1257,453 – 273,028) × tan 43,15°

= 1061,98 kN

ΣPh = -ΣPa + ΣPp + ΣPair + -ΣG

= -19,578 + 0 + 310,47 + -48,08

= 242,812 kN

$$SF = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph}$$

$$= \frac{1061,98}{242,812}$$

= 4,373 ≥ 1,5 (aman)

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Diketahui:

D_F = 1,5 m

B = 7 m

γ = 15,876 kN/m^3

C = 19,88 kN/m^2

Ø = 43,15°

Nc = 143,732

N_q = 37,928

Nγ = 38,28

q_{ult} = C × Nc + γ × D_F × N_q + 0,5 × γ × B × Nγ

= 19,88 × 143,732 + 15,876 × 1,5 × 37,928 + 0,5 × 15,876 × 7 × 38,28

= 5887,68 kN/m^2

q_{un} = q_u – r × D_F

= 5507,84 – (15,876 × 1,5)

$= 5484{,}026\ kN/m^2$

$q_n = q - \gamma D_F$

$= (\Sigma Wv - \Sigma U) - \gamma \times D_F$

$= (1257{,}453 - 273{,}028) - (15{,}876 \times 1{,}5)$

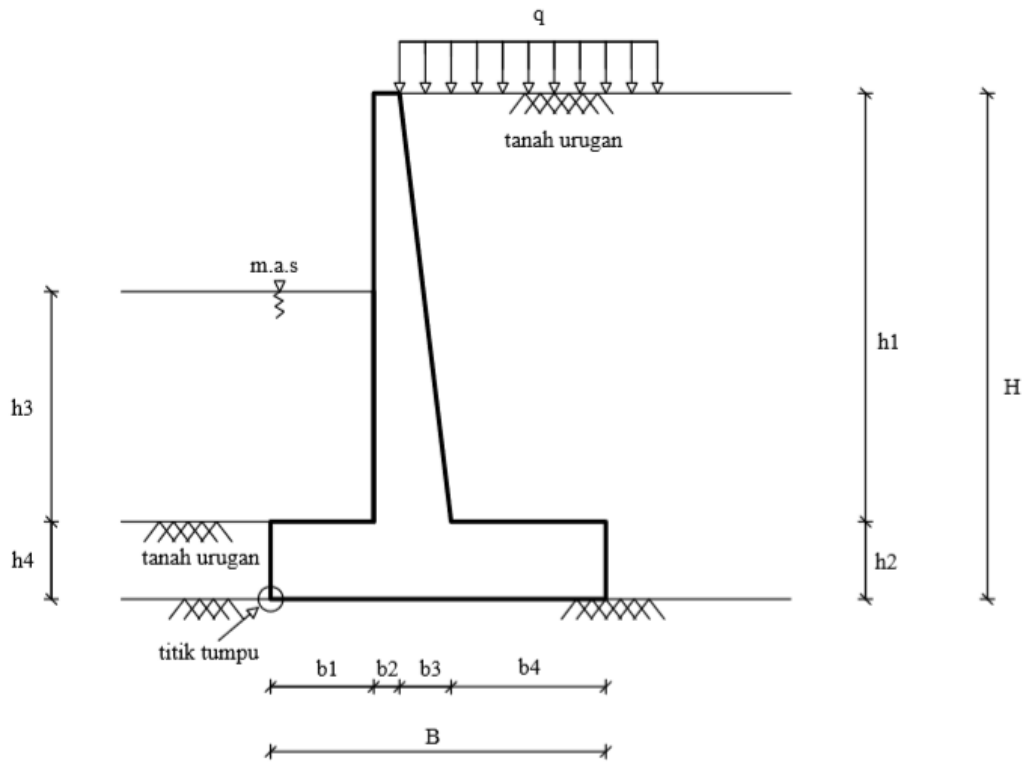
$= 984{,}425\ kN/m^2$

$SF = \frac{q_{un}}{q_n}$

$= \frac{5484{,}026}{984{,}425}$

$= 5{,}57 \geq 3$ (aman)

Dinding penahan tanah bagian hilir bendung

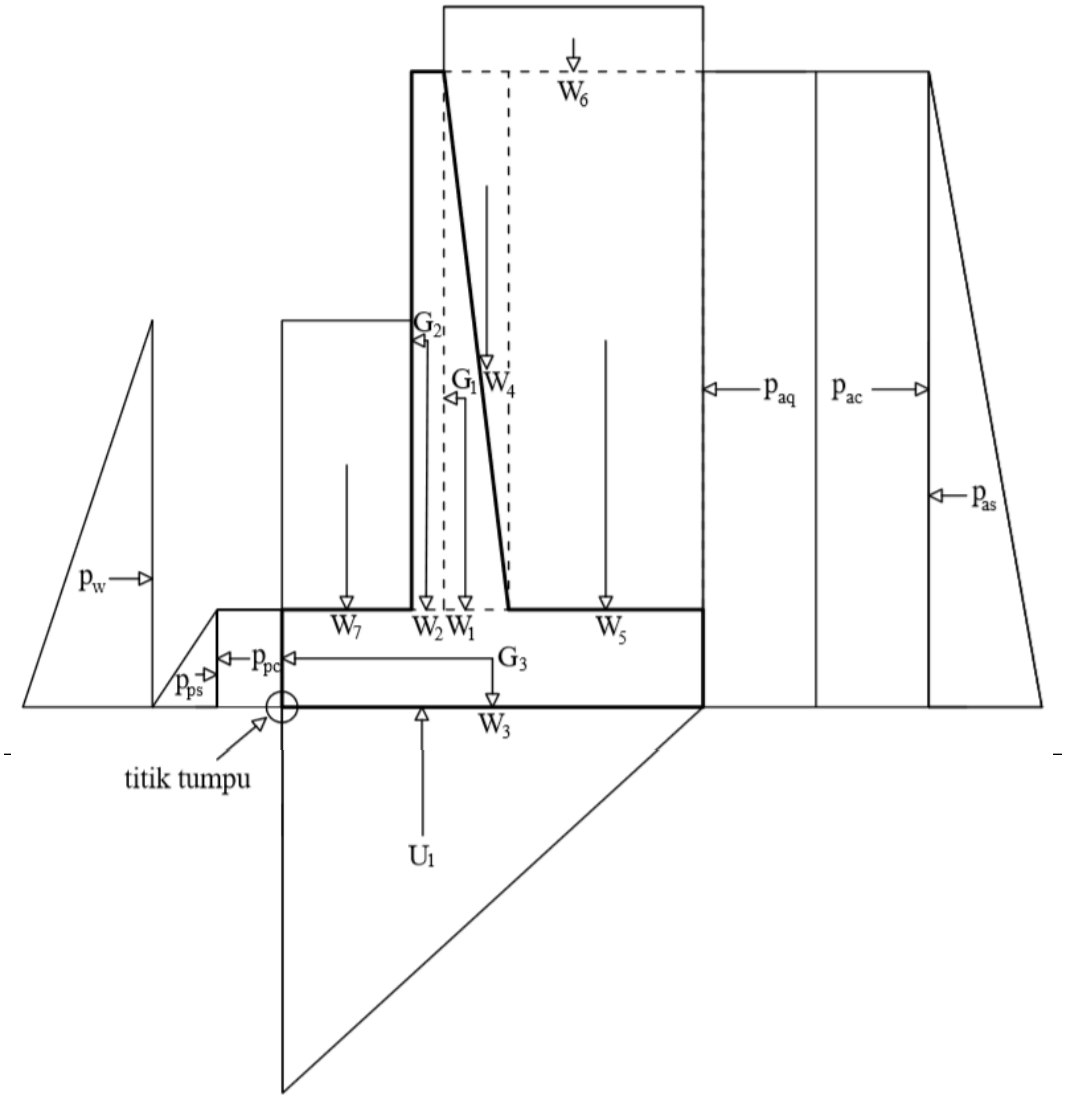


Gambar 5 Dinding penahan tanah bagian hilir bendung

Data-data yang diketahui:

$\gamma_c = 23{,}52\ kN/m^3$	b1 = 1,75 m	h3 = 4,42 m
$\gamma = 15{,}876\ kN/m^3$	b2 = 0,5 m	h4 = 1,5 m
$\gamma_w = 9{,}8\ kN/m^3$	b3 = 1 m	H = 9,69 m

∅ = 43,15 °	b4 = 2,5 m	B = 5,75 m
kh = 0,12	h1 = 8,19 m	c = 19,88 kN/m^2
q = 10 kN/m^3	h2 = 1,5 m	



Gambar 6 Diagram arah gaya dinding penahan tanah bagian kolam olak

Tinjauan 1 meter tegak lurus bidang gambar

Perhitungan gaya tekan dan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

- Beton $W_1 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c$

$= \frac{1}{2} \times 1 \times 8{,}19 \times 23{,}52$

$= 96{,}31$ kN

- Beton $W_2 = b_2 \times h_1 \times \gamma_c$

  $= 0{,}5 \times 8{,}19 \times 23{,}52$

  $= 96{,}31$ kN

- Beton $W_3 = h_2 \times B \times \gamma_c$

  $= 1{,}5 \times 5{,}75 \times 23{,}52$

  $= 202{,}86$ kN

- Tanah $W_4 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma$

  $= \frac{1}{2} \times 1 \times 8{,}19 \times 15{,}876$

  $= 65{,}01$ kN

- Tanah $W_5 = h_1 \times b_4 \times \gamma$

  $= 8{,}19 \times 2{,}5 \times 15{,}876$

  $= 325{,}06$ kN

- Beban merata $W_6 = q \times l$

  $= 10 \times 3{,}5$

  $= 35$ kN

- Berat air $W_7 = b_1 \times h_3 \times \gamma_c$

  $= 2{,}25 \times 6{,}46 \times 9{,}8$

  $= 142{,}443$ kN

Perhitungan lengan beban dari titik tumpu

$X_1 = (\frac{1}{2} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{3} \times 1) + 0{,}5 + 1{,}75 = 2{,}58$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times b_2) + b_1 = (\frac{1}{2} \times 0{,}5) + 1{,}75 = 2$ m

$X_3 = \frac{1}{2} \times B = \frac{1}{2} \times 5{,}75 = 2{,}875$ m

$X_4 = (\frac{2}{3} \times b_3) + b_2 + b_1 = (\frac{2}{3} \times 1) + 0{,}5 + 1{,}75 = 2{,}92$ m

$X_5 = (\frac{1}{2} \times b_4) + b_3 + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 2{,}5) + 1 + 0{,}5 + 1{,}75 = 4{,}5$ m

$X_6 = (\frac{1}{2} \times (b_4 + b_3)) + b_2 + b_1 = (\frac{1}{2} \times 3{,}5) + 0{,}5 + 1{,}75 = 4$ m

$X_7 = \frac{1}{2} \times b_1 = \frac{1}{2} \times 1{,}75 = 0{,}875$ m

Perhitungan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

- $M_1 = W_1 \times X_1$
  $= 96,31 \times 2,58$
  $= 248,48$ kNm
- $M_2 = W_2 \times X_2$
  $= 96,31 \times 2$
  $= 192,62$ kNm
- $M_3 = W_3 \times X_3$
  $= 202,86 \times 2,875$
  $= 583,22$ kNm
- $M_4 = W_4 \times X_4$
  $= 65,01 \times 2,92$
  $= 189,83$ kNm
- $M_5 = W_5 \times X_5$
  $= 325,06 \times 4,5$
  $= 1462,77$ kNm
- $M_6 = W_6 \times X_6$
  $= 35 \times 4$
  $= 140$ kNm
- $M_7 = W_7 \times X_7$
  $= 75,8 \times 0,875$
  $= 66,32$ kNm

Tabel 13 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah

No	Bagian	Berat (W) kN	Lengan beban (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W_1	96,31	2,58	248,48
2	Beton W_2	96,31	2	192,62
3	Beton W_3	202,86	2,875	583,22
4	Tanah W_4	65,01	2,92	189,83
5	Tanah W_5	325,06	4,5	1462,77
6	Beton merata W_6	35	4	140
7	Air W_7	75,8	0,875	66,32
		$\Sigma Wv = 896,35$		$\Sigma Mv = 2883,24$

Perhitungan gaya *uplift* (angkat)

Gaya tekan akibat gaya angkat

- $U_1 = \frac{1}{2} \times B \times (h_3 + h_4) \times \gamma_w$

  $= \frac{1}{2} \times 5{,}75 \times (4{,}42 + 1{,}5) \times 9{,}8$

  $= 166{,}796$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xu_1 = \frac{1}{3} \times B$

  $= \frac{1}{3} \times 5{,}75$

  $= 1{,}92$ m

Momen akibat gaya angkat

- $Mu_1 = U_1 \times Xu_1$

  $= 166{,}796 \times 1{,}92$

  $= 319{,}69$ kNm

Tabel 14 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN)	Lengan beban (m)	Mu (kNm)
1	*Uplift* U_1	166,796	1,92	319,69
		ΣU = 166,796		ΣMu = 319,69

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif

$Ka = tg^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 - \frac{43{,}15}{2})$

$= 0{,}188$

$Kp = tg^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

$= tg^2 (45 + \frac{43{,}15}{2})$

$= 5{,}32$

Perhitungan pada tanah aktif

- Akibat beban merata (p_{aq}) $= q \times Ka \times H$

  $= 10 \times 0{,}188 \times 9{,}69$

$= 18,22$ kN

- Akibat tanah (p_{as}) $= \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma \times Ka$

$= \frac{1}{2} \times 9,69^2 \times 15,876 \times 0,188$

$= 140,12$ kN

- Akibat kohesi (p_{ac}) $= -2c \times \sqrt{Ka} \times H$

$= -2 \times 19,88 \times \sqrt{0,188} \times 9,69$

$= -167,05$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $X_1 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 9,69$

$= 4,845$ m

- $X_2 = \frac{1}{3} \times H$

$= \frac{1}{3} \times 9,69$

$= 3,23$ m

- $X_3 = \frac{1}{2} \times H$

$= \frac{1}{2} \times 9,69$

$= 4,845$ m

Momen akibat tanah aktif

- $M_{aq} = P_{aq} \times X_1$

$= 18,22 \times 4,845$

$= 88,27$ kNm

- $M_{as} = P_{as} \times X_2$

$= 140,12 \times 3,23$

$= 452,58$ kNm

- $M_{ac} = -P_{aq} \times X_1$

$= -167,05 \times 4,845$

$= -809,35$ kNm

Tabel 15 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Lengan beban (m)	Ma (kNm)
1	p_{aq}	18,22	4,845	88,27
2	p_{as}	140,12	3,23	452,58
3	p_{ac}	-167,05	4,845	-809,35
		ΣPa = -8,71		ΣMa = -268,5

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan pada tanah pasif

Gaya tekan akibat tanah pasif

- $p_{ps} = 0,5 \times H^2 \times Kp \times \gamma$

  $= 0,5 \times 1,5^2 \times 5,32 \times 15,876$

  $= 95,02$ kN

- $p_{pc} = -2c \times \sqrt{kp} \times H$

  $= -2 \times 19,88 \sqrt{5,32} \times 1,5$

  $= -137,56$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- $Xp_s = \frac{1}{3} \times h_4$

  $= \frac{1}{3} \times 1,5$

  $= 0,5$ m

- $Xp_c = \frac{1}{2} \times h_4$

  $= \frac{1}{2} \times 1,5$

  $= 0,75$ m

Momen akibat tanah pasif

- $Mp_s = Pp_s \times Xp_s$

  $= 95,02 \times 0,5$

  $= 47,51$ kN

- $Mp_c = -Pp_c \times Xp_c$

  $= -137,56 \times 0,75$

  $= -103,17$ kN

Tabel 16 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN/m)	Lengan beban (m)	Mp (kN/m)
1	Tanah pasif p_{ps}	95,02	0,5	47,51
2	Tanah pasif p_{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		ΣPp = -42,54		ΣMp = -55,66

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Perhitungan akibat tekanan air

Gaya tekan akibat tekanan air

- P_w (air) = $0,5 \times (h_3 + h_4)^2 \times \gamma_w$

  $= 0,5 \times 5,92^2 \times 9,8$

  $= 171,73$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

- X_w air = $\frac{1}{3} \times (h_3 + h_4)$

  $= \frac{1}{3} \times (4,42 + 1,5)$

  $= 1,973$ m

Momen akibat tekanan air

M_w air = P_w air × X_w air

$= 171,73 \times 1,973$

$= 338,82$ kNm

Tabel 17 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tekanan air

No	Bagian	P_w air (kN)	Lengan beban (m)	M_w air (kNm)
1	P_w air	171,73	1,973	338,82
		ΣP_w air = 171,73		ΣM_w air = 338,82

Perhitungan akibat beban gempa

Gaya tekan akibat beban gempa

- Beton G_1 = $\frac{1}{2} \times b_3 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= \frac{1}{2} \times 1 \times 8,19 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 9,63$ kN

- Beton G_2 = $b_2 \times h_1 \times \gamma_c \times kh$

  $= 0,5 \times 8,19 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 9,63$ kN

- Beton G_3 $= h_2 \times B \times \gamma_c \times kh$

  $= 1,5 \times 5,75 \times 23,52 \times 0,1$

  $= 20,286$ kN

Lengan beban dari titik tumpu

$X_1 = (\frac{1}{3} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{3} \times 8,19) + 1,5 = 4,23$ m

$X_2 = (\frac{1}{2} \times h_1) + h_2 = (\frac{1}{2} \times 8,19) + 1,5 = 5,95$ m

$X_3 = (\frac{1}{2} \times h_2) = \frac{1}{2} \times 1,5 = 0,75$ m

Momen akibat beban gempa

- $MG_1 = W_1 \times X_1$

  $= 9,63 \times 4,23$

  $= 40,73$ kNm

- $MG_2 = W_2 \times X_2$

  $= 9,63 \times 5,595$

  $= 53,88$ kNm

- $MG_3 = W_3 \times X_3$

  $= 20,286 \times 0,75$

  $= 15,21$ kNm

Tabel 18 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G) kN	Lengan beban (X) m	Momen (MG) kNm
1	Beton G_1	9,63	4,23	40,73
2	Beton G_2	9,63	5,595	53,88
3	Beton G_3	20,286	0,75	15,21
		ΣG = 39,546		ΣMg = 109,82

Perhitungan stabilitas konstruksi

- Stabilitas terhadap guling

  $\Sigma Mt = \Sigma Mv + \Sigma Mp + \Sigma Mw$

  $= 2883,24 + 0 + 338,82$

  $= 3222,06$ kNm

  $\Sigma Mg = \Sigma Mu + \Sigma Ma + \Sigma Mg$

  $= 319,69 + 0 + 109,82$

  $= 429,51$ kNm

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg}$$

$$= \frac{3222,06}{429,51}$$

$= 7,501 \geq 2$ (aman)

- Stabilitas terhadap geser

$\Sigma Rh = c \times B + \Sigma W \times \tan\emptyset$

$= c \times B + (\Sigma Wv - \Sigma U) \times \tan\emptyset$

$= 19,88 \times 5,75 + (896,35 - 166,796) \times \tan 43,15°$

$= 798,209$ kN

$\Sigma Ph = -\Sigma Pa + \Sigma Pp + \Sigma Pair + -\Sigma G$

$= 0 + 0 + 171,73 + -39,546$

$= 132,184$ kN

$$SF = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph}$$

$$= \frac{798,209}{132,184}$$

$= 6,038 \geq 1,5$ (aman)

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Diketahui:

$D_F = 1,5$ m

$B = 5,75$ m

$\gamma = 15,876$ kN/m

$c = 19,88$ kN/m^2

$\emptyset = 43,15°$

$Nc = 143,732$

$N_q = 37,928$

$N\gamma = 38,28$

$q_{ult} = C \times Nc + \gamma \times D_F \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N\gamma$

$= 19,88 \times 143,732 + 15,876 \times 1,5 \times 37,928 + 0,5 \times 15,876 \times 5,75 \times 38,28$

$= 5507,84$ kN/m^2

$q_{un} = q_u - r \times D_F$

$= 5507,84 - (15,876 \times 1,5)$

$= 5484{,}026\ kN/m^2$

$q_n = q - \gamma \times D_F$

$= (896{,}35 - 166{,}796) - (15{,}876 \times 1{,}5)$

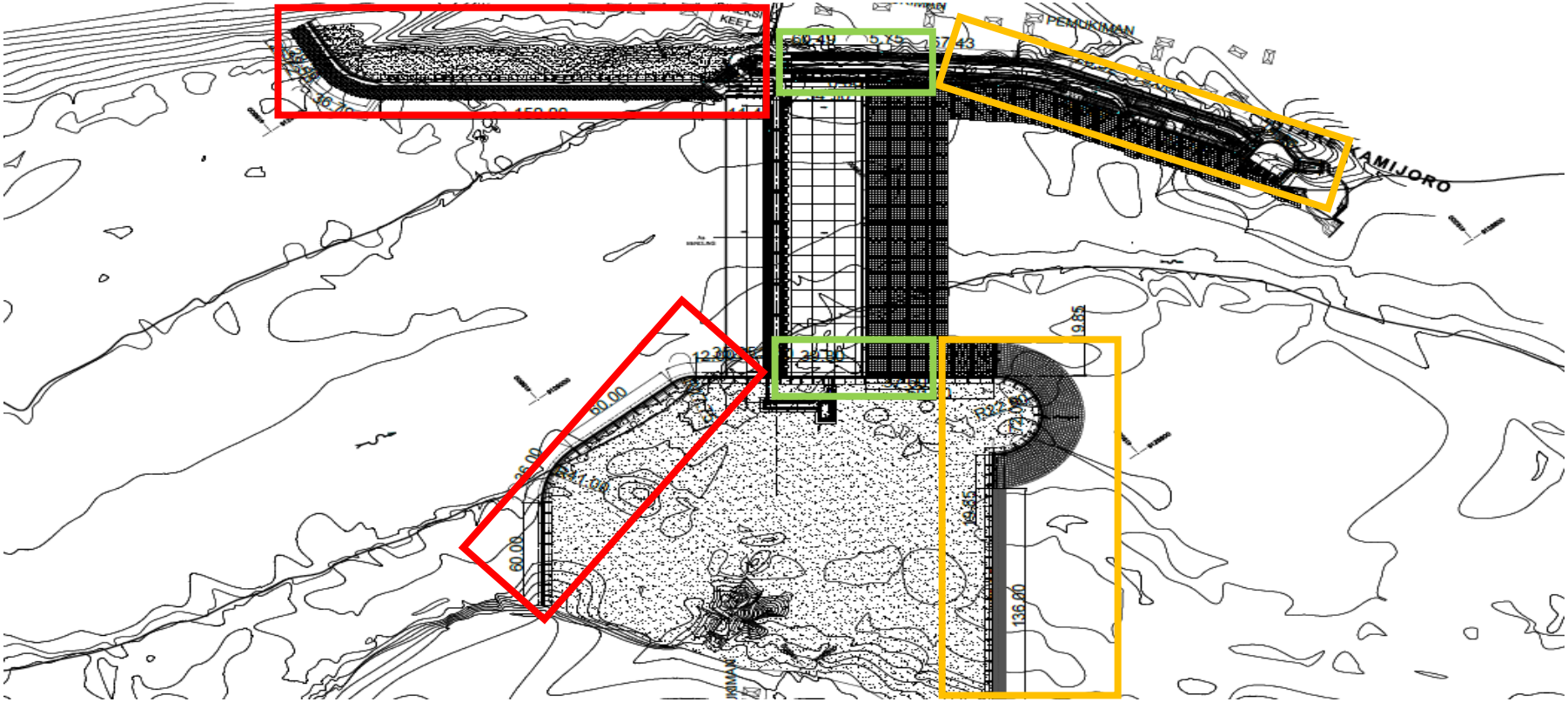
$= 705{,}74\ kN/m^2$

$SF = \frac{q_{un}}{q_n}$

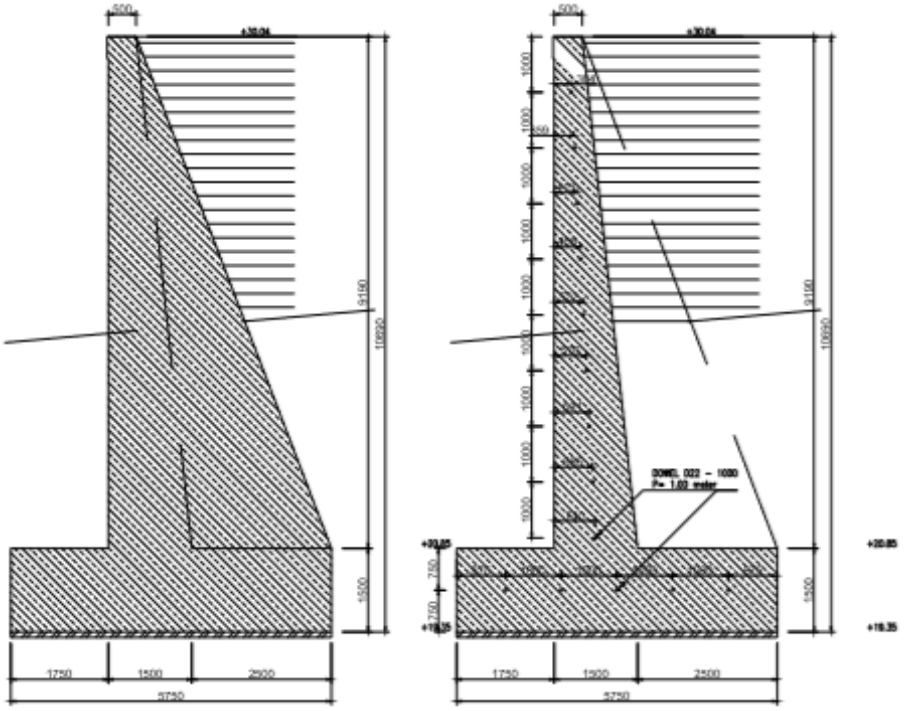
$= \frac{5484{,}026}{705{,}74}$

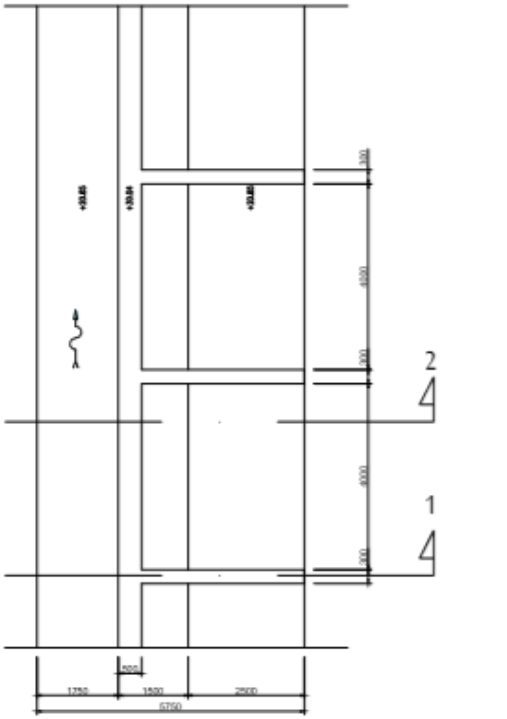
$= 7{,}77 \geq 3$ (aman)

Lampiran 2 Gambar Desain Dinding Penahan Tanah

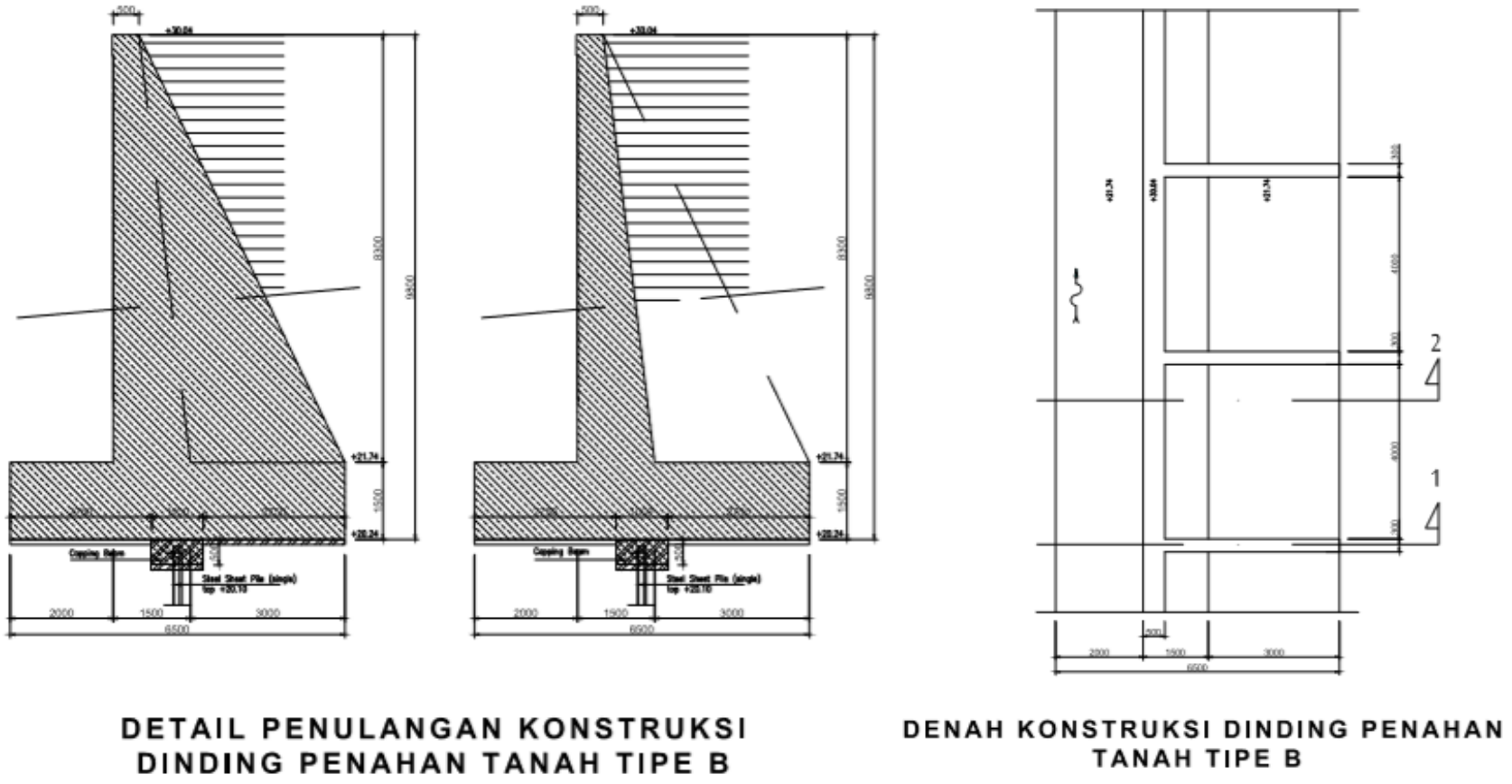


Gambar 7 Denah Tampak Atas Dinding Penahan Tanah Bendung Kamijoro

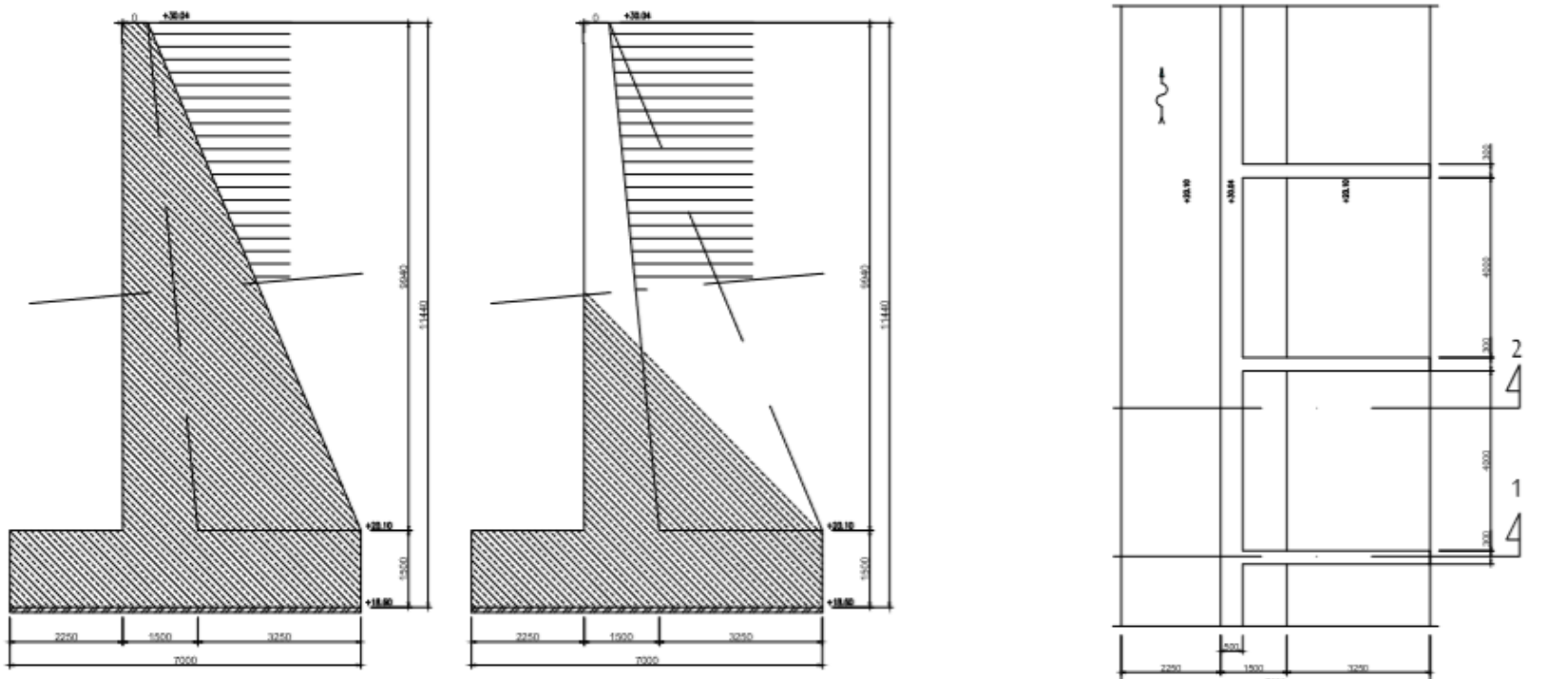




Gambar 8 Detail Penulangan dan Denah Tampak Atas Dinding Penahan Tanah Tipe A



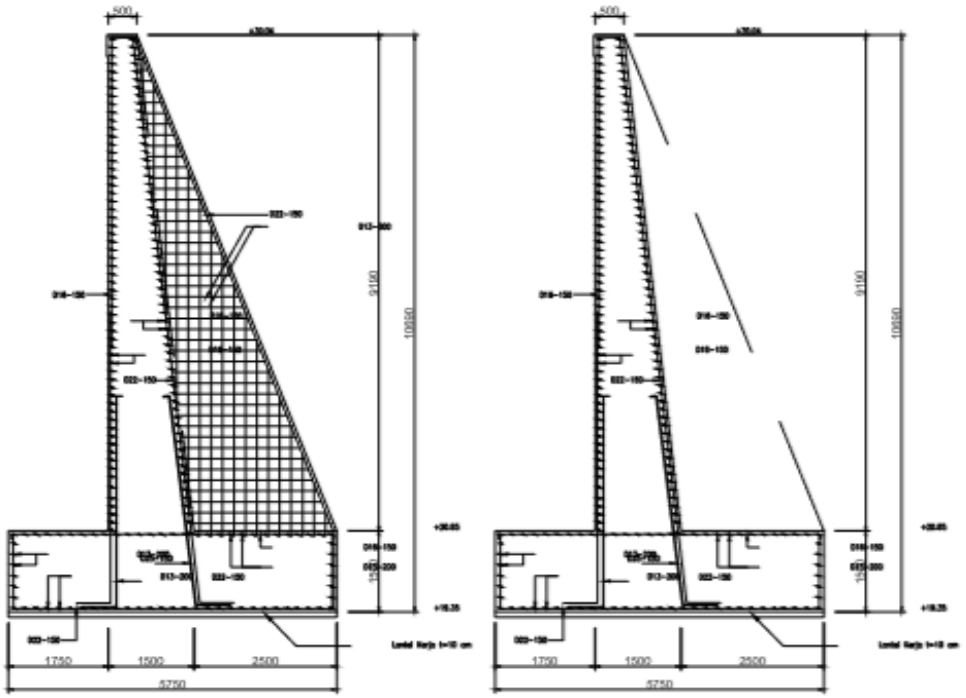
Gambar 9 Detail Penulangan dan Denah Tampak Atas Dinding Penahan Tanah Tipe B



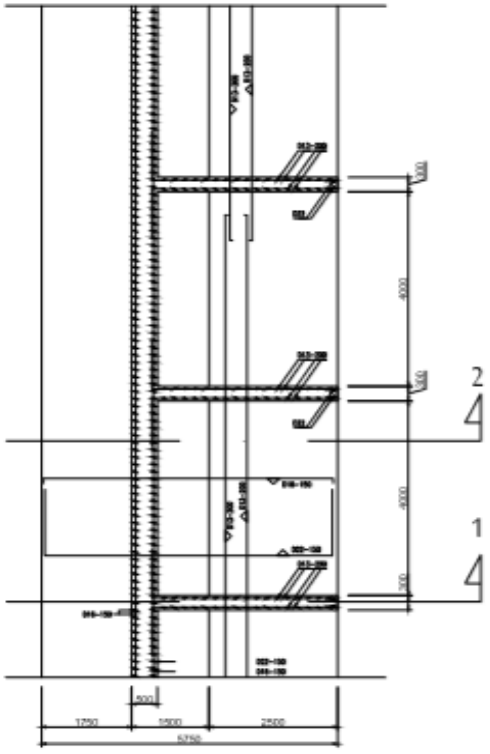
DETAIL KONSTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH TIPE C

DENAH KONSTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH TIPE C

Gambar 10 Detail Penulangan dan Denah Tampak Atas Dinding Penahan Tanah Tipe C

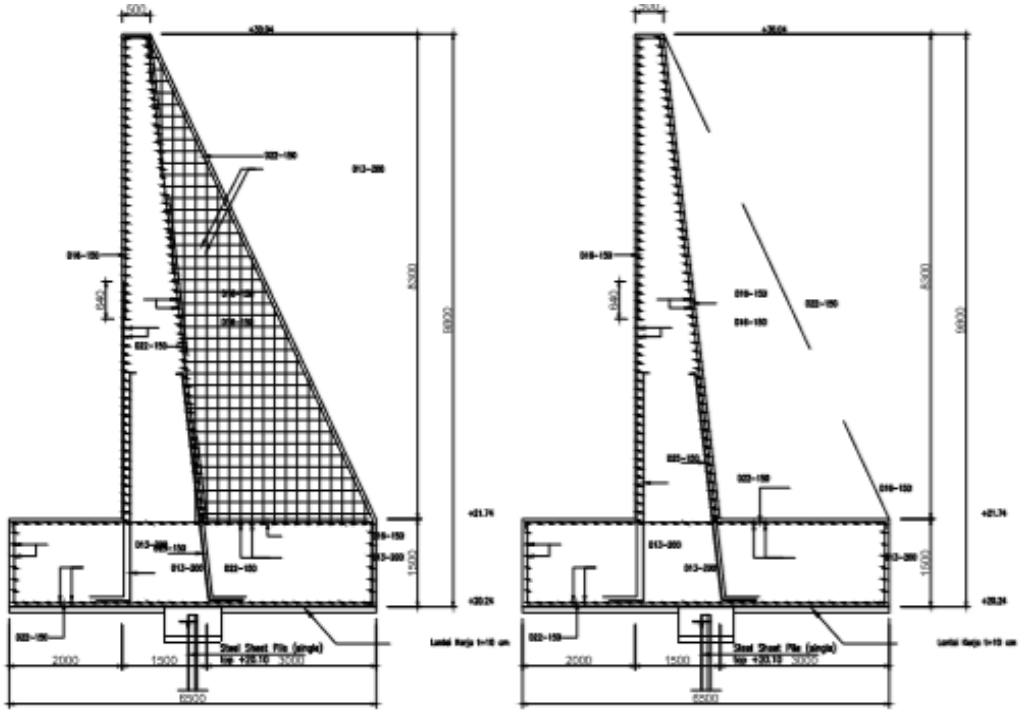


DETAIL PENULANGAN KONSTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH TIPE A

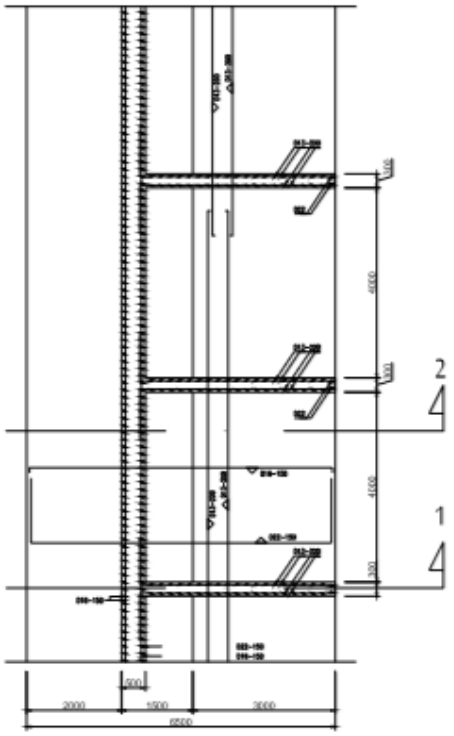


DENAH PENULANGAN KONSTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH TIPE A

Gambar 11 Potongan Detail dan Denah Tampak Atas Penulangan Dinding Penahan Tanah Tipe A

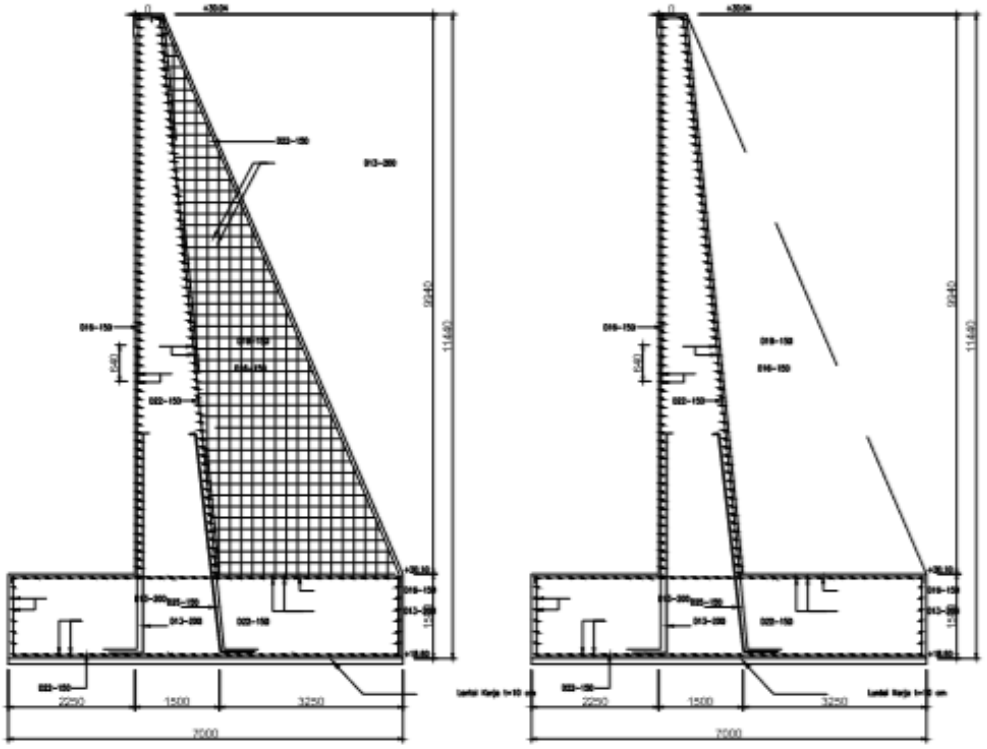


DETAIL PENULANGAN KONSTRUKSI
DINDING PENAHAN TANAH TIPE B

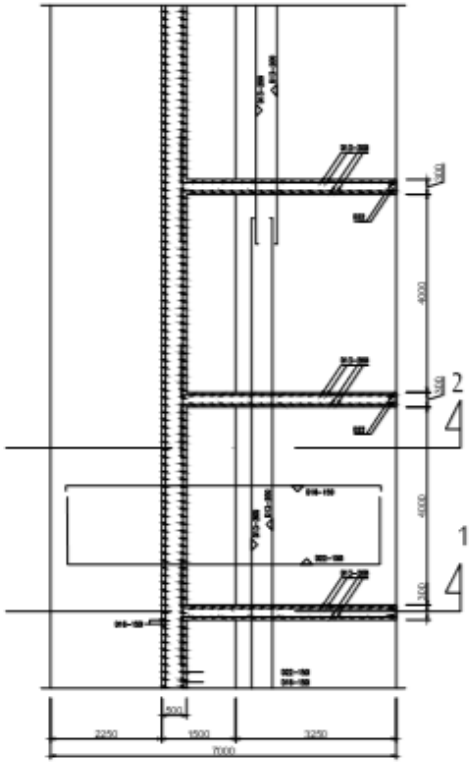


DENAH PENULANGAN KONSTRUKSI DINDING
PENAHAN TANAH TIPE B

Gambar 12 Potongan Detail dan Denah Tampak Atas Penulangan Dinding Penahan Tanah Tipe B



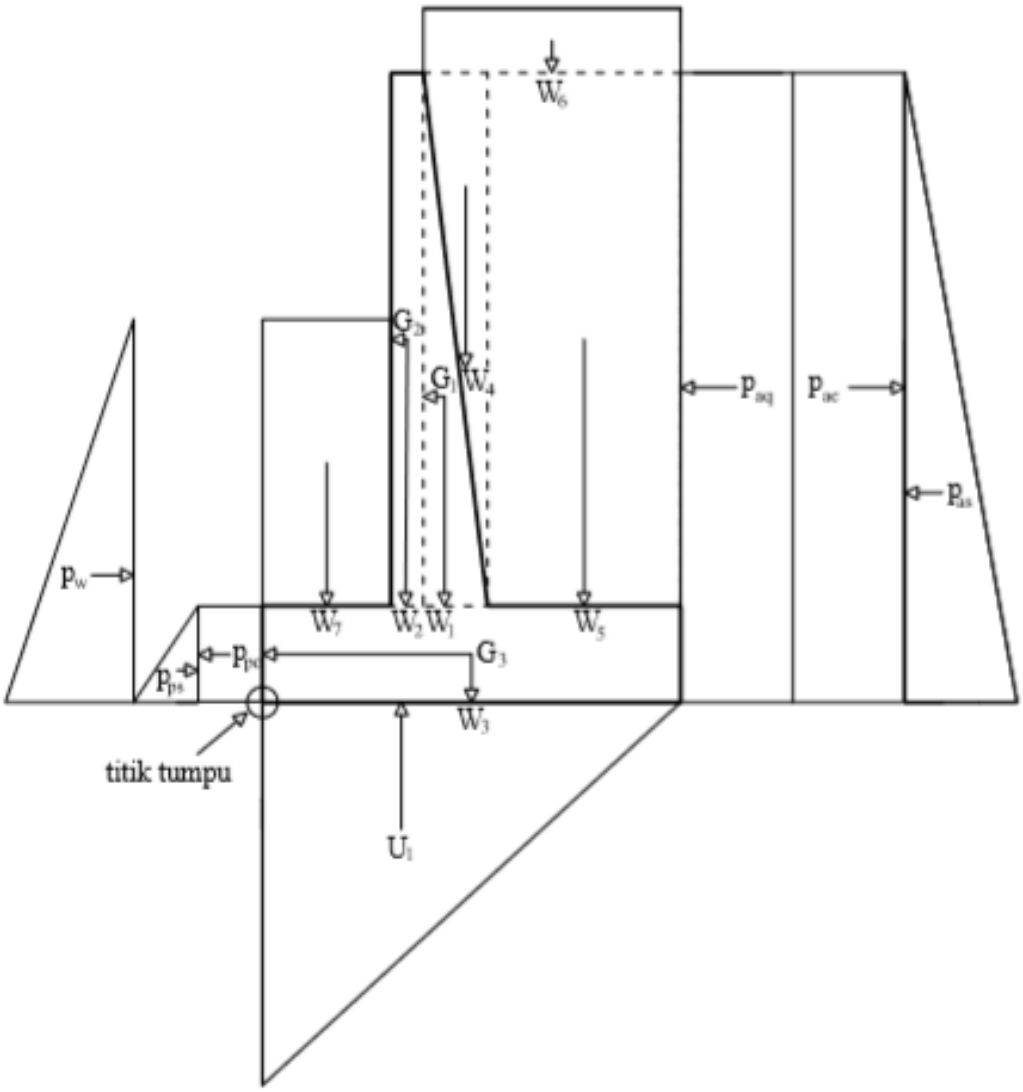
DETAIL PENULANGAN KONSTRUKSI
DINDING PENAHAN TANAH TIPE C



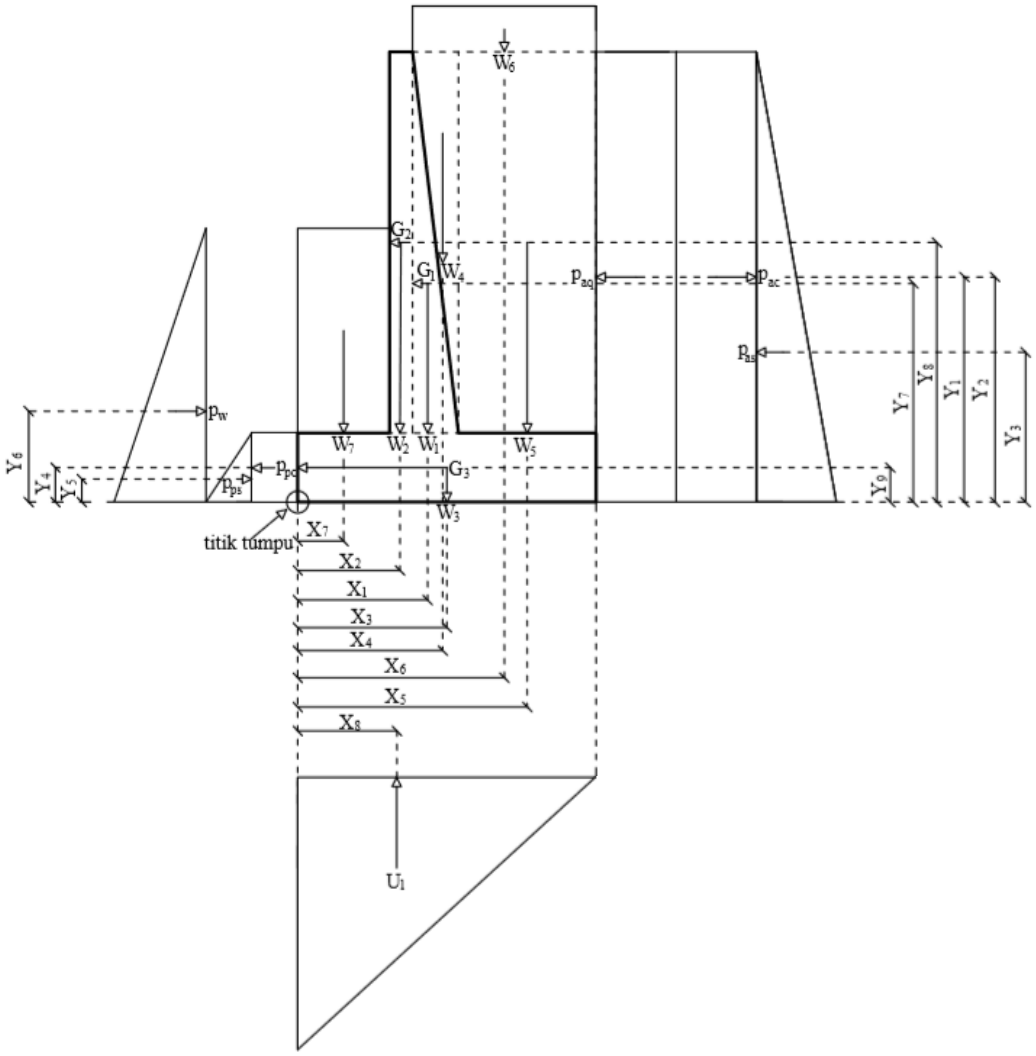
DENAH PENULANGAN KONSTRUKSI DINDING
PENAHAN TANAH TIPE C

Gambar 13 Potongan Detail dan Denah Tampak Atas Penulangan Dinding Penahan Tanah Tipe C

Lampiran 3 Diagram Arah Gaya Dinding Penahan Tanah



Gambar 14 Diagram Arah Gaya Dinding Penahan Tanah Bagian Hulu Bendung

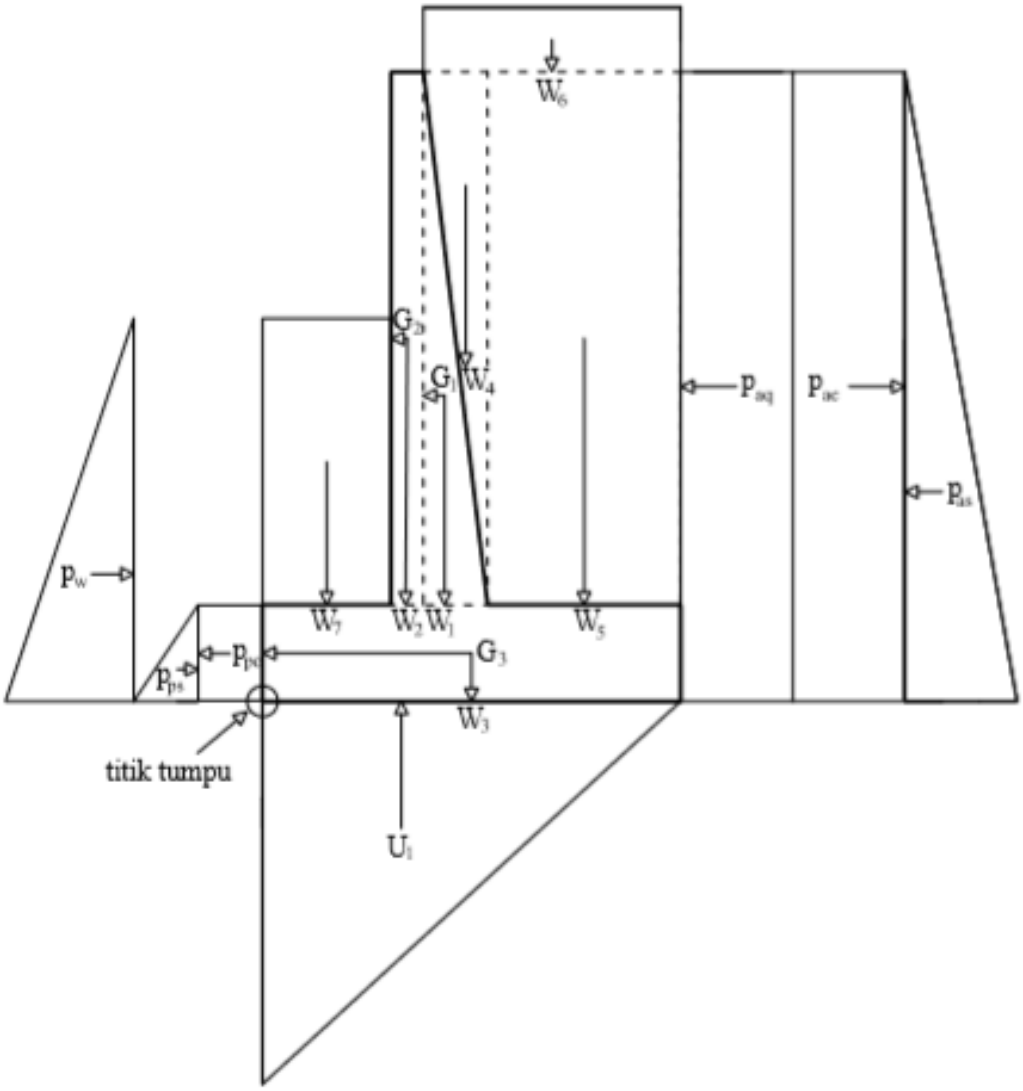


Keterangan :

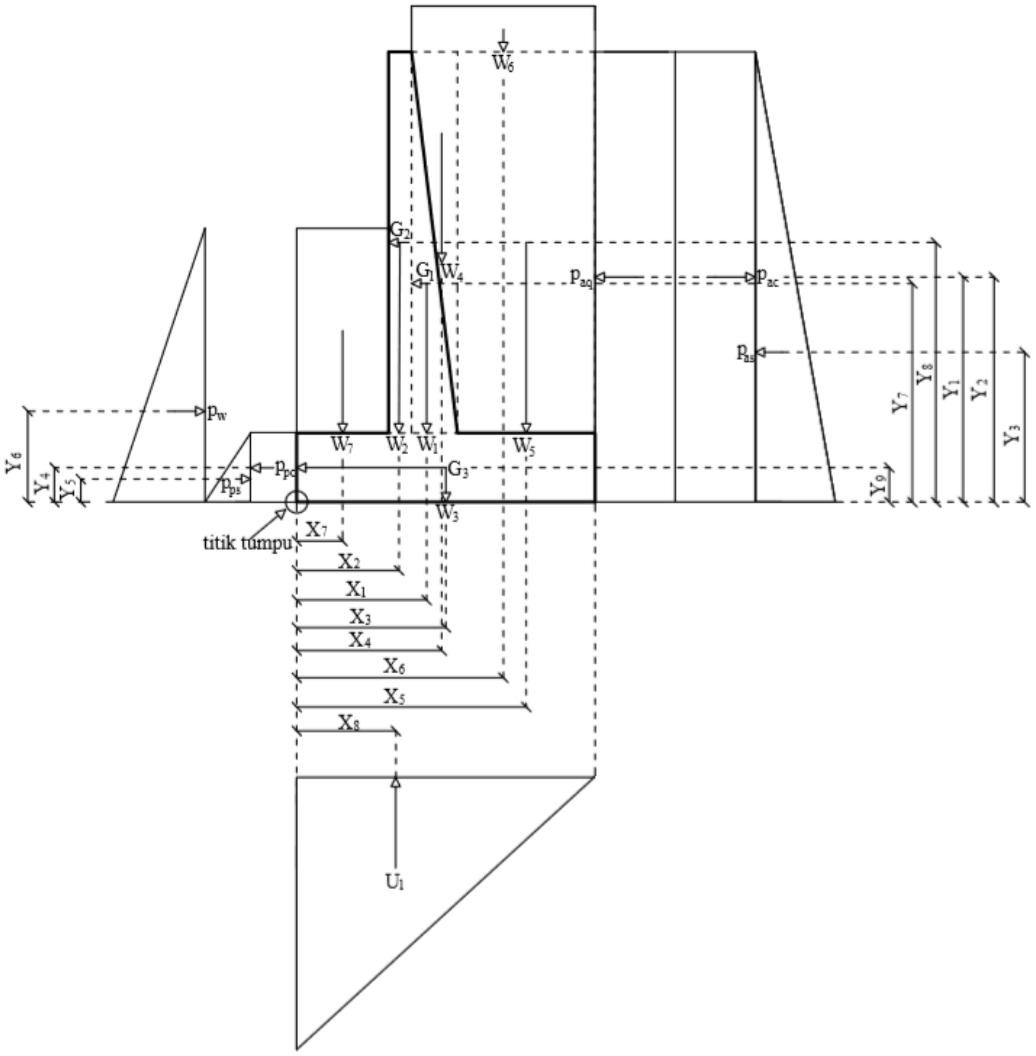
X_1 = lengan beban W_1
X_2 = lengan beban W_2
X_3 = lengan beban W_3
X_4 = lengan beban W_4
X_5 = lengan beban W_5
X_6 = lengan beban W_6
X_7 = lengan beban W_7
X_8 = lengan beban U_1

Y_1 = lengan beban p_{aq}
Y_2 = lengan beban p_{ac}
Y_3 = lengan beban p_{as}
Y_4 = lengan beban p_{pc}
Y_5 = lengan beban p_{ps}
Y_6 = lengan beban p_w
Y_7 = lengan beban G_1
Y_8 = lengan beban G_2
Y_9 = lengan beban G_3

Gambar 15 Lengan Beban Dinding Penahan Tanah Bagian Hulu Bendung



Gambar 16 Diagram Arah Gaya Dinding Penahan Tanah Bagian Kolam Olak

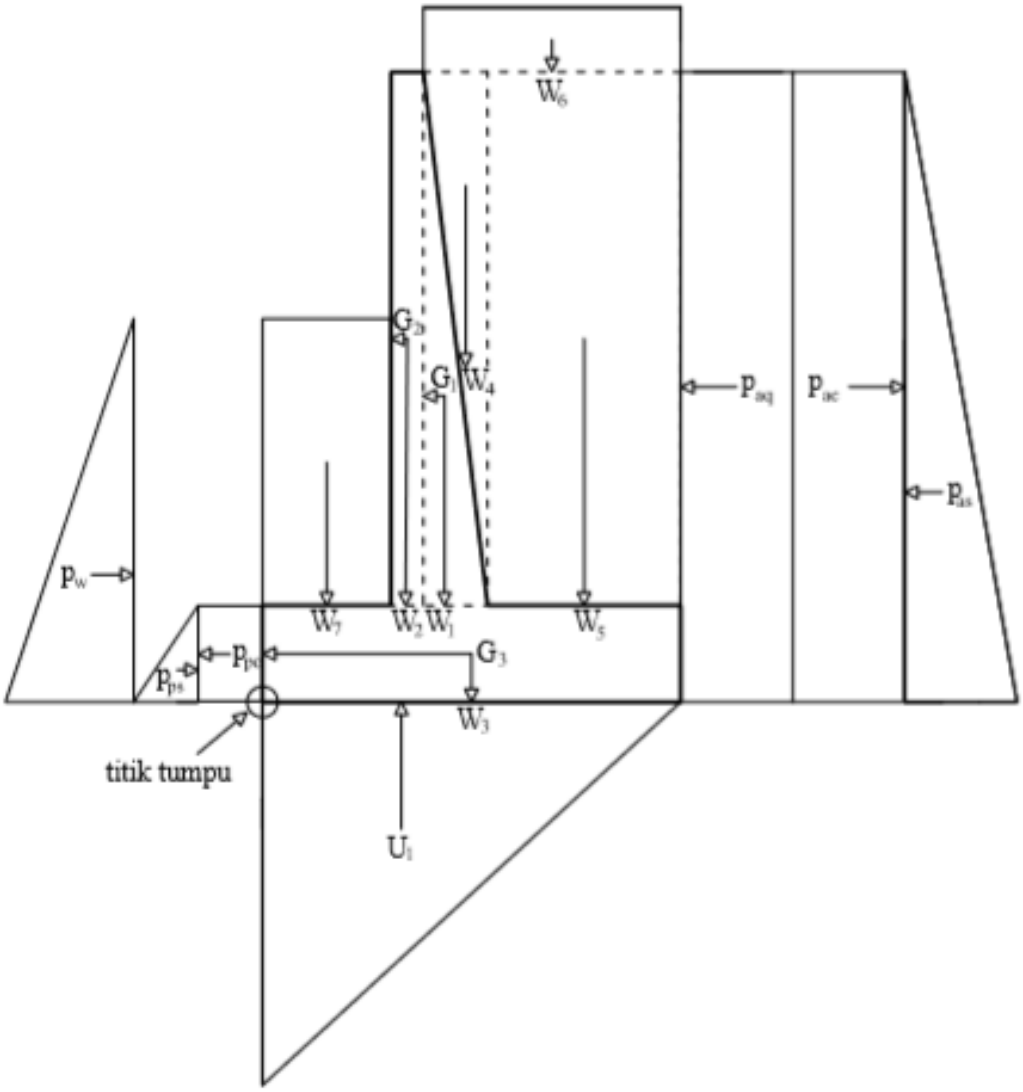


Keterangan :

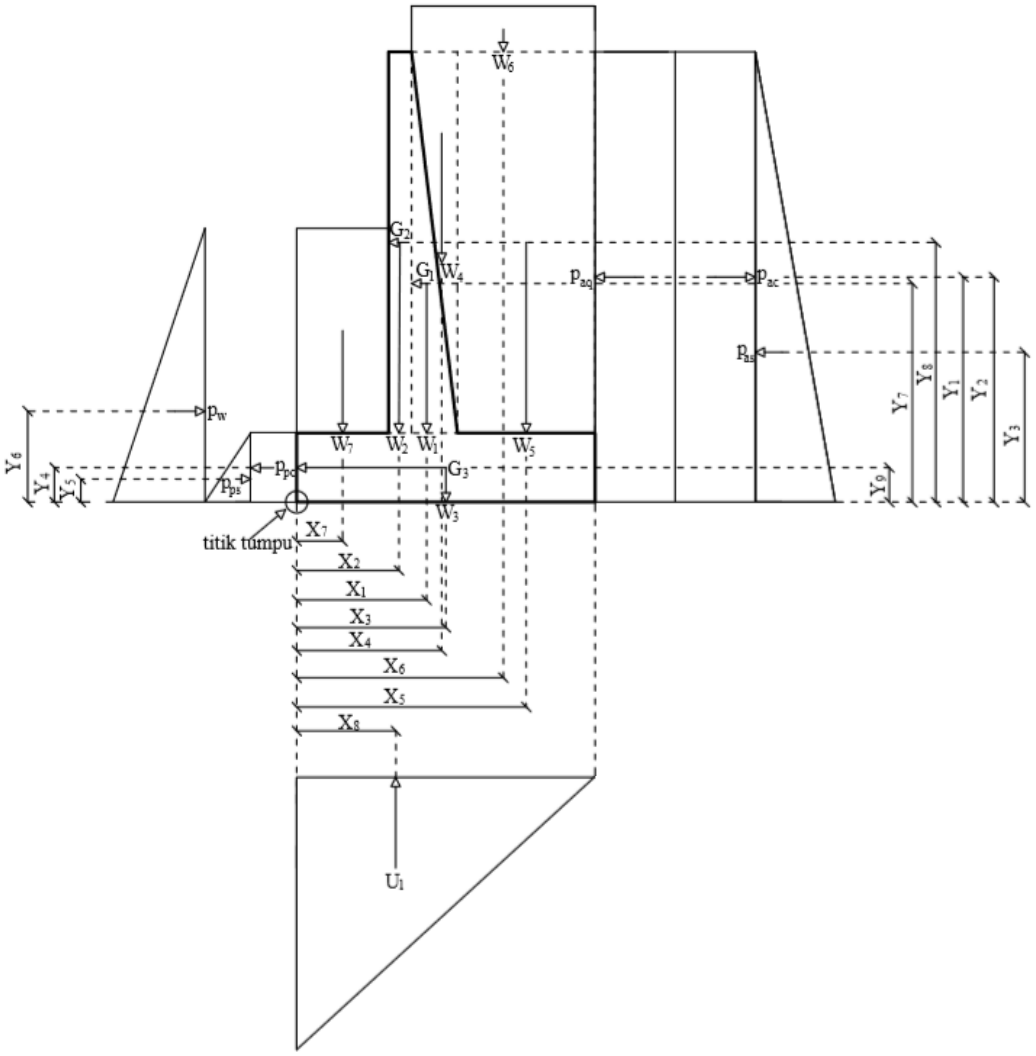
X_1 = lengan beban W_1
X_2 = lengan beban W_2
X_3 = lengan beban W_3
X_4 = lengan beban W_4
X_5 = lengan beban W_5
X_6 = lengan beban W_6
X_7 = lengan beban W_7
X_8 = lengan beban U_1

Y_1 = lengan beban p_{aq}
Y_2 = lengan beban p_{ac}
Y_3 = lengan beban p_{as}
Y_4 = lengan beban p_{pc}
Y_5 = lengan beban p_{ps}
Y_6 = lengan beban p_w
Y_7 = lengan beban G_1
Y_8 = lengan beban G_2
Y_9 = lengan beban G_3

Gambar 17 Lengan Beban Dinding Penahan Tanah Bagian Kolam Olak



Gambar 18 Diagram Arah Gaya Dinding Penahan Tanah Bagian Hilir Bendung



Keterangan :
X_1 = lengan beban W_1
X_2 = lengan beban W_2
X_3 = lengan beban W_3
X_4 = lengan beban W_4
X_5 = lengan beban W_5
X_6 = lengan beban W_6
X_7 = lengan beban W_7
X_8 = lengan beban U_1

Y_1 = lengan beban p_{aq}
Y_2 = lengan beban p_{ac}
Y_3 = lengan beban p_{as}
Y_4 = lengan beban p_{pc}
Y_5 = lengan beban p_{ps}
Y_6 = lengan beban p_w
Y_7 = lengan beban G_1
Y_8 = lengan beban G_2
Y_9 = lengan beban G_3

Gambar 19 Lengan Beban Dinding Penahan Tanah Bagian Hilir Bendung