

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Dinding Penahan Tanah Bagian Hulu Bendung

4.1.1. Data Dinding Penahan Tanah

1. Data tanah urugan

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

2. Data tanah dasar

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

3. Data beton

$$\gamma_c = 23,52 \text{ kN/m}^3$$

4. Data air

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

5. Data beban merata

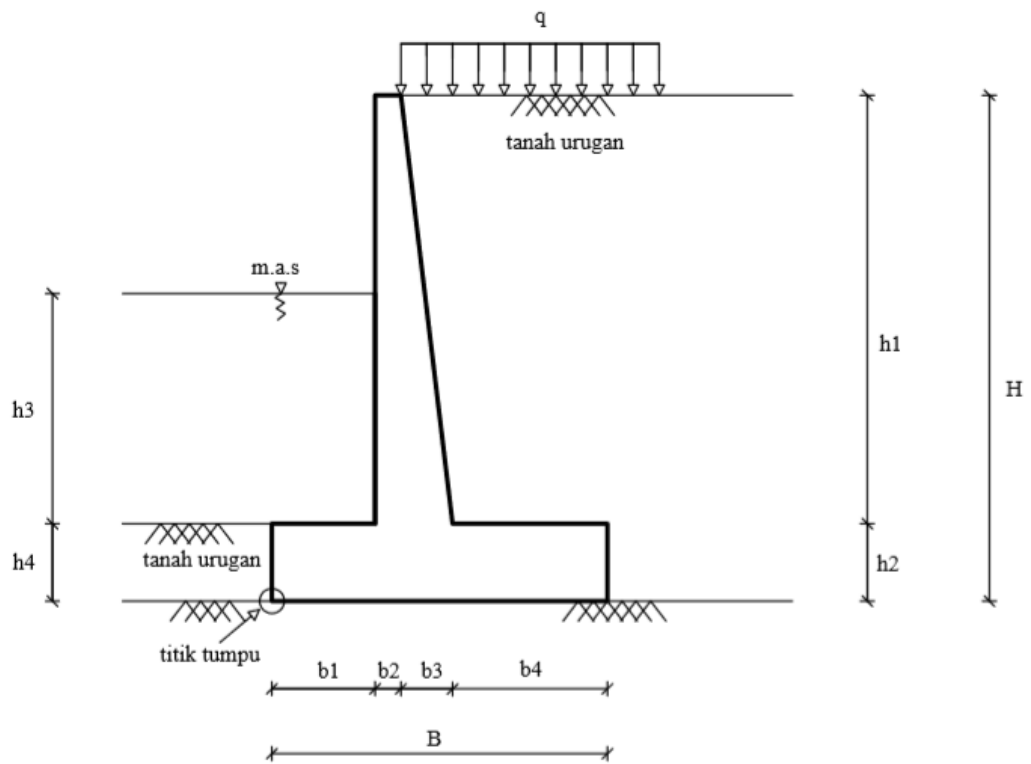
$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

6. Data gempa

$$K_h = 0,1$$

7. Data dinding penahan tanah

- Jenis dinding penahan tanah pada Bendung Kamijoro adalah tipe *counterfort*
- Ukuran (dimensi) dinding penahan tanah



Gambar 4.1 Dinding penahan tanah bagian hulu bendung

Diketahui:

$$b1 = 2 \text{ m}$$

$$h1 = 8,3 \text{ m}$$

$$B = 6,5 \text{ m}$$

$$b2 = 0,5 \text{ m}$$

$$h2 = 1,5 \text{ m}$$

$$H = 9,8 \text{ m}$$

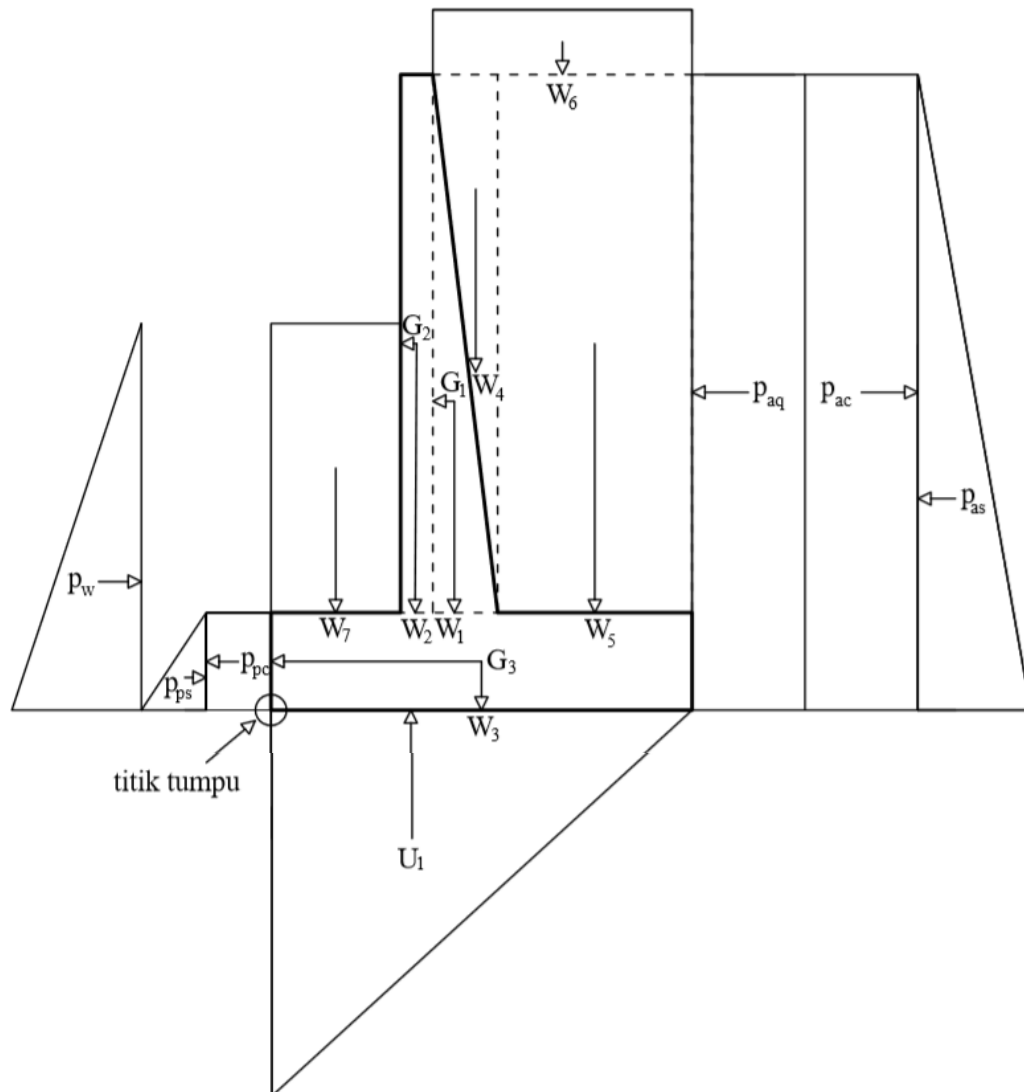
$$b3 = 1 \text{ m}$$

$$h3 = 4,46 \text{ m}$$

$$b4 = 3 \text{ m}$$

$$h4 = 1,5 \text{ m}$$

4.1.2. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Vertikal



Gambar 4.2 Diagram arah gaya pada dinding penahan tanah

Untuk memperoleh nilai gaya tekan dan momen yang terjadi akibat beban arah vertikal, diperhitungkan semua berat beban pada dinding penahan tanah yang memiliki arah vertikal ke bawah dan beban akibat gaya angkat (*uplift*). Pembagian perhitungan tiap bagian dilakukan untuk mempermudah dalam menganalisisnya. Pembagian tiap bagiannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 untuk beban akibat berat sendiri dinding penahan tanah dan akibat gaya angkat (*uplift*).

Berdasarkan Gambar 4.2 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan gaya tekan dan momen akibat gaya arah vertikal pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Hasil

perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.1 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
$\Sigma W_v = 1008,139$			$\Sigma M_v = 3693,774$	

Tabel 4.2 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN)	Lengan beban (m)	Mu (kNm)
1	<i>Uplift</i> U_1	189,826	2,167	411,289
$\Sigma U = 189,826$		$\Sigma M_u = 411,289$		

4.1.3. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Horisontal

Pada perhitungan tekanan dan momen yang terjadi akibat adanya beban horisontal terdapat 4 perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif, perhitungan gaya tekan dan momen pada air, juga perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa.

Perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, tanah pasif, akibat air dan akibat beban gempa dilakukan akibat adanya beban arah horisontal yang memberikan gaya beban pada dinding penahan tanah. Pembagian perhitungan tiap bagian dilakukan untuk mempermudah dalam menganalisisnya. Pembagian tiap bagiannya dapat dilihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan Gambar 4.2 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya arah vertikal pada tanah aktif pada Tabel 4.3, tanah pasif pada Tabel 4.4, beban air pada Tabel 4.5, dan beban gempa pada Tabel 4.6. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.3 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
		$\Sigma Pa = -7,204$		$\Sigma Ma = -270,354$

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.

Tabel 4.4 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
		$\Sigma Pp = -42,54$		$\Sigma Mp = -55,66$

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.

Tabel 4.5 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
		$\Sigma P_w = 174,055$		$\Sigma M_w = 346,369$

Tabel 4.6 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
		$\Sigma G = 42,45$		$\Sigma Mg = 114,009$

4.1.4. Perhitungan Stabilitas Konstruksi

Perhitungan stabilitas terhadap konstruksi dibagi menjadi 3 bagian yaitu stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek bangunan tersebut aman atau tidaknya. Perhitungan stabilitas akibat momen guling dengan cara membagi momen tahan dengan momen gulingnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 2 sebagai faktor amannya. Sedangkan akibat gaya geser dilakukan dengan membagi total gaya vertikal dibagi dengan total gaya horisontalnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 1,5 sebagai faktor keamanannya. Sedangkan untuk mengecek stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah dilakukan dengan membagi daya dukung tanah ultimit neto dengan tekanan pondasi neto. Hasil dari

stabilitas daya dukung tanah harus lebih atau sama dengan 3 agar dapat dikatakan aman terhadap keruntuhan daya dukung tanah. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

- Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}\Sigma M_t &= \Sigma M_v + \Sigma M_p + \Sigma M_w \\ &= 3693,774 + 0 + 346,369 \\ &= 4040,143 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{gl} &= \Sigma M_u + \Sigma M_a + \Sigma M_g \\ &= 411,289 + 0 + 114,009 \\ &= 525,298 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SF &= \frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_{gl}} \\ &= \frac{4040,143}{525,298} \\ &= 7,691 \geq 2 \text{ (aman)}\end{aligned}$$

- Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned}\Sigma R_h &= c \times B + \Sigma W \times \tan \emptyset \\ &= c \times B + (\Sigma W_v - \Sigma U) \times \tan \emptyset \\ &= 19,88 \times 6,5 + (1008,139 - 189,826) \times \tan 43,15^\circ \\ &= 896,32 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_h &= -\Sigma P_a + \Sigma P_p + \Sigma P_{air} + -\Sigma G \\ &= 0 + 0 + 174,055 + -42,45 \\ &= 131,605 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SF &= \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h} \\ &= \frac{896,32}{131,605} \\ &= 6,81 \geq 1,5 \text{ (aman)}\end{aligned}$$

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

$$\begin{aligned}q_{ult} &= C \times N_c + \gamma \times D_F \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \\ &= 19,88 \times 143,732 + 15,876 \times 1,5 \times 37,928 + 0,5 \times 15,876 \times 6,5 \times 38,28 \\ &= 5735,74 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_{un} &= q_u - \gamma \times D_F \\ &= 5735,74 - (15,876 \times 1,5)\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} q_n &= q - \gamma \times D_F \\ &= (\Sigma W_V - \Sigma U) - \gamma \times D_F \\ &= (1008,139 - 189,826) - (15,876 \times 1,5) \\ &= 794,499 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{q_{un}}{q_n} \\ &= \frac{5711,926}{794,499} \\ &= 7,19 \geq 3 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

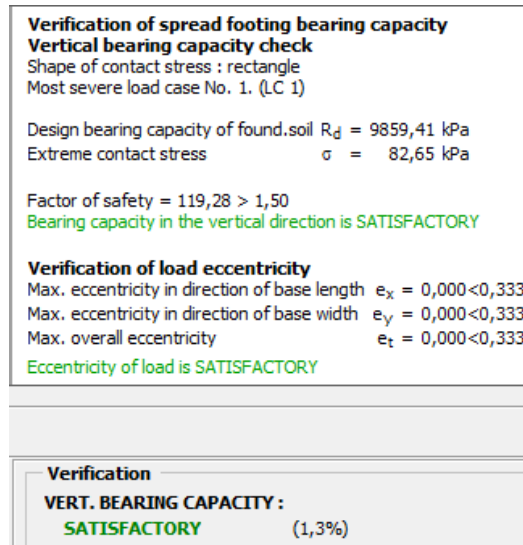
Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

4.1.5. Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan program *software Geo 5* dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih tepat dan akurat. Dengan program ini perancangan dinding penahan tanah dapat lebih mudah dan cepat. Faktor keamanan dalam program ini sama dengan perhitungan secara manual. Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 4.3, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 4.4 di bawah ini.

Verification	Verification
OVERTURNING: SATISFACTORY (40,2%)	Posouzení celé zdi
SLIP: SATISFACTORY (0,1%)	Posouzení na překlopení
	Moment vzdorující $M_{res} = 2496,33 \text{ kNm/m}$
	Moment klopicí $M_{ovr} = 502,16 \text{ kNm/m}$
	Stupeň bezpečnosti = 4,97 > 2,00
	Zed' na překlopení VYHOVUJE
	Posouzení na posunutí
	Vodorovná síla vzdorující $H_{res} = 632,85 \text{ kN/m}$
	Vodorovná síla posunující $H_{act} = -217,89 \text{ kN/m}$
	Stupeň bezpečnosti = 1000,00 > 1,50
	Zed' na posunutí VYHOVUJE
	Celkové posouzení - ZED' VYHOVUJE
	Varování - byl překročen rozsah vstupních dat při výpočtu tlaků!
	Výpočet je proveden s upravenou hodnotou sklonu konstrukce α .

Gambar 4.3 Hasil analisis *overturning* dan *slip*

Gambar 4.4 Hasil analisis *bearing capacity*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar $SF = 4,97$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar $SF = 2,904$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar $SF = 119,28$ yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 4.7 Perbandingan hasil analisis perhitungan secara manual dengan *software Geo 5*

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,691	4,97
2	Geser	6,81	2,904
3	Daya Dukung Tanah	7,819	119,28

Perbedaan hasil yang terjadi antara perhitungan secara manual dengan menggunakan *software Geo 5* terjadi karena faktor ketelitian yang berbeda antara analisis dengan perhitungan secara manual dengan program *software Geo 5*. Juga karena kurang lengkapnya data yang dipakai dalam *software Geo 5* yang mengakibatkan perbedaan hasilnya. Perbedaan hasil yang besar pada stabilitas daya dukung tanah terjadi karena pada perhitungan secara manual menggunakan metode yang disederhanakan, sedangkan pada *software Geo 5* menggunakan metode yang lebih rinci seperti memperhitungkan nilai eksentrisitasnya. Sehingga didapatkan

perbedaan hasil yang berbeda jauh dalam analisis stabilitas daya dukung tanahnya. Namun, berdasarkan hasil analisis menggunakan perhitungan secara manual dan *software Geo 5* dinding penahan tanah Bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan daya dukung tanah.

4.2. Dinding Penahan Tanah Bagian Kolam Olak

4.2.1. Data Dinding Penahan Tanah

1. Data tanah urugan

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

2. Data tanah dasar

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

3. Data beton

$$\gamma_c = 23,52 \text{ kN/m}^3$$

4. Data air

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

5. Data beban merata

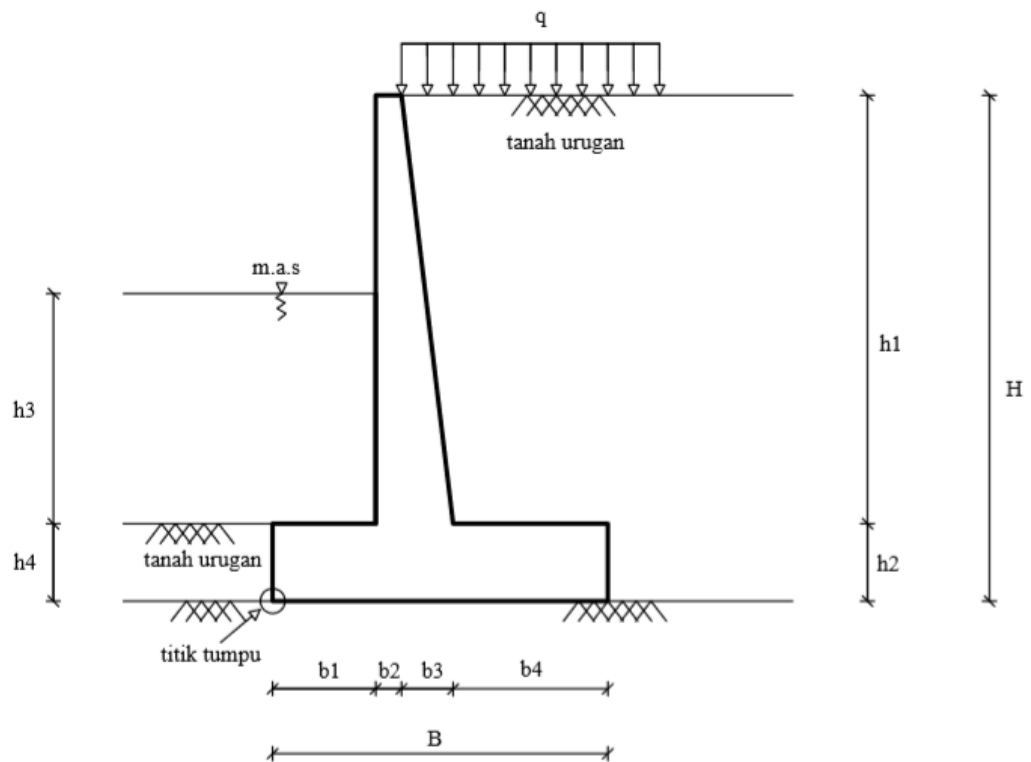
$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

6. Data gempa

$$K_h = 0,1$$

7. Data dinding penahan tanah

- Jenis dinding penahan tanah pada Bendung Kamijoro adalah tipe *couterfort*
- Ukuran (dimensi) dinding penahan tanah



Gambar 4.5 Dinding penahan tanah bagian kolam olak

Diketahui:

$$b_1 = 2,25 \text{ m}$$

$$h_1 = 9,94 \text{ m}$$

$$H = 11,44 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$B = 7 \text{ m}$$

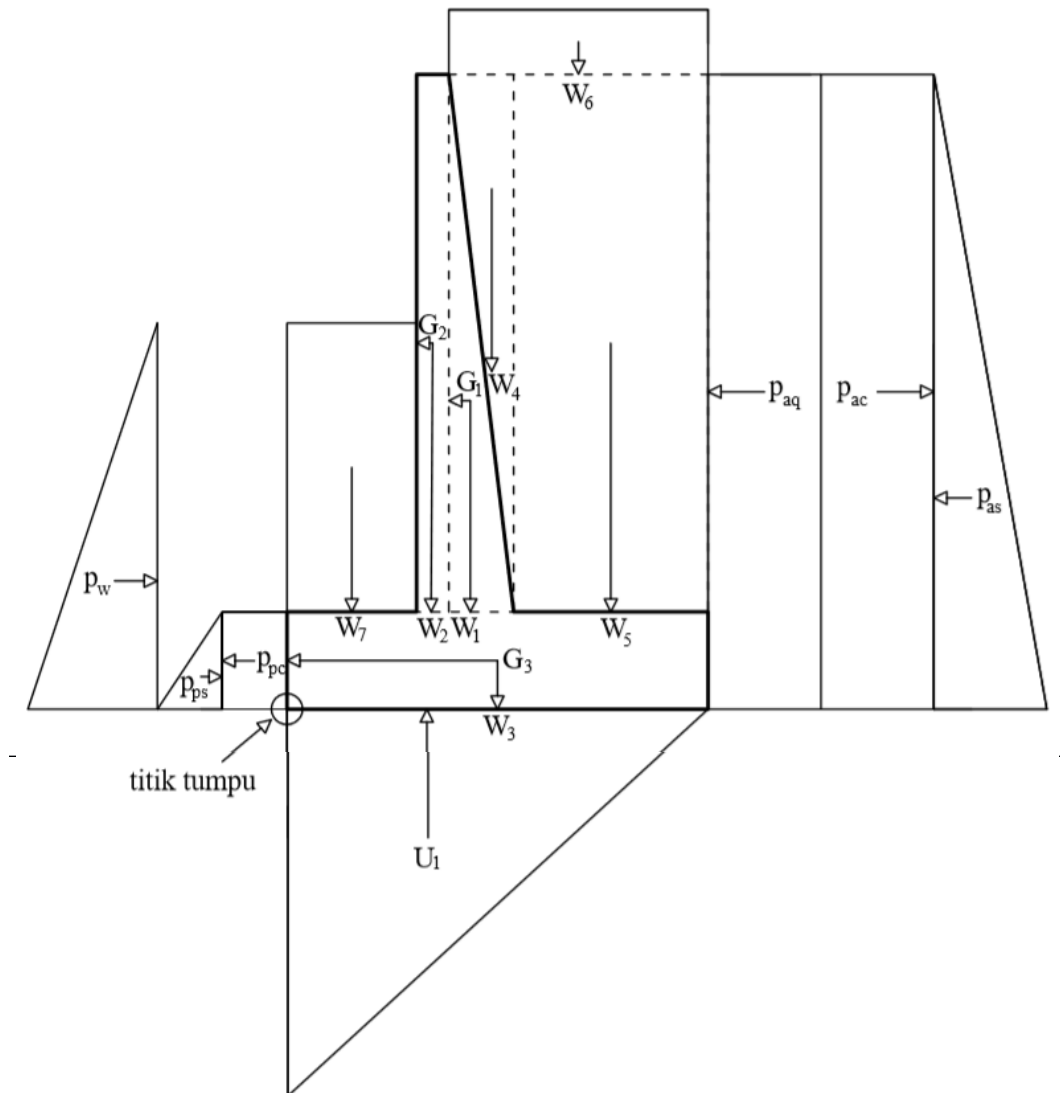
$$b_3 = 1 \text{ m}$$

$$h_3 = 6,46 \text{ m}$$

$$b_4 = 3,25 \text{ m}$$

$$h_4 = 1,5 \text{ m}$$

4.2.2. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Vertikal



Gambar 4.6 Diagram arah gaya pada dinding penahan tanah

Berdasarkan Gambar 4.6 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan gaya tekan dan momen akibat gaya arah vertikal pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.8 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
		$\Sigma W_v = 1257,453$		$\Sigma M_v = 4892,568$

Tabel 4.9 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN/m)	Lengan beban (m)	Mu (kNm)
1	<i>Uplift</i> U ₁	273,028	2,33	637,065
		$\Sigma U = 273,028$		$\Sigma Mu = 637,065$

4.2.3. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Horisontal

Pada perhitungan gaya tekan dan momen yang terjadi akibat adanya beban arah horisontal terdapat 4 perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif, perhitungan gaya tekan dan momen pada air, juga perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa.

Perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, tanah pasif, akibat beban air dan akibat beban gempa dilakukan akibat adanya gaya arah horisontal yang memberikan gaya beban pada dinding penahan tanah. Pembagian perhitungan tiap bagian dilakukan untuk mempermudah dalam menganalisisnya. Pembagian tiap bagiannya dapat dilihat pada Gambar 4.6. Berdasarkan Gambar 4.6 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya vertikal pada tanah aktif pada Tabel 4.10, tanah pasif pada Tabel 4.11, beban air pada Tabel 4.12 dan beban gempa pada Tabel 4.13. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.10 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
		$\Sigma Pa = 19,578$		$\Sigma Ma = -261,05$

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

Tabel 4.11 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
		$\Sigma Pp = -42,54$		$\Sigma Mp = -55,66$

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.

Tabel 4.12 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
		$\Sigma P_w \text{ air} = 310,47$		$\Sigma M_w \text{ air} = 823,676$

Tabel 4.13 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
		$\Sigma G = 48,08$		$\Sigma Mg = 150,42$

4.2.4. Perhitungan Stabilitas Konstruksi

Perhitungan stabilitas terhadap konstruksi dibagi menjadi 3 bagian yaitu stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek bangunan tersebut aman atau tidaknya. Perhitungan stabilitas akibat momen guling dengan cara membagi momen tahan dengan momen gulingnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 2 sebagai faktor amannya. Sedangkan akibat gaya geser dilakukan dengan membagi total gaya vertikal dibagi dengan total gaya horisontalnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 1,5 sebagai faktor keamanannya. Sedangkan untuk mengecek stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah dilakukan dengan membagi daya dukung tanah ultimit neto dengan tekanan pondasi neto. Hasil dari stabilitas daya dukung tanah harus lebih atau sama dengan 3 agar dapat dikatakan aman terhadap keruntuhan daya dukung tanah. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

- Stabilitas terhadap guling

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

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

$$= 5716,244 \text{ kNm}$$

$$M_g = \Sigma M_u + \Sigma M_a + \Sigma M_g$$

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

$$= 787,485 \text{ kNm}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_g}$$

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

$$= 7,258 \geq 2 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap geser

$$\Sigma R_h = c \times B + \Sigma W \times \tan \phi$$

$$= c \times B + (\Sigma W_v - \Sigma U) \times \tan \phi$$

$$= 19,88 \times 7 + (1257,453 - 273,028) \times \tan 43,15^\circ$$

$$= 1061,98 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_h = -\Sigma P_a + \Sigma P_p + \Sigma P_{air} + -\Sigma G$$

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

$$= 242,812 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h}$$

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

$$= 4,373 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

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

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

$$= 5887,68 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

$$q_n = q - \gamma D_F$$

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

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

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

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{q_{un}}{q_n} \\
 &= \frac{5484,026}{984,425} \\
 &= 5,57 \geq 3 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

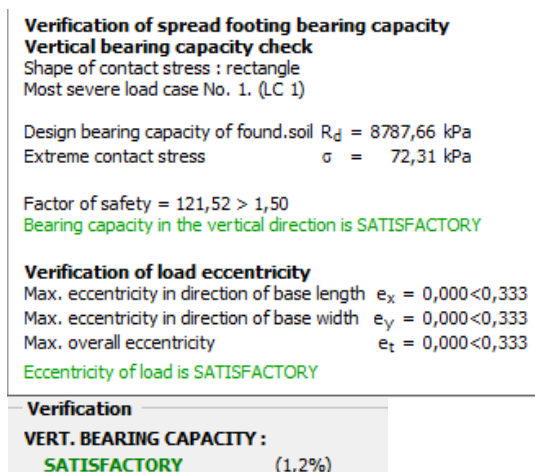
Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

4.2.5. Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan program *software Geo 5* dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih tepat dan akurat. Dengan program ini perancangan dinding penahan tanah dapat lebih mudah dan cepat. Faktor keamanan dalam program ini ialah lebih besar atau sama dengan perhitungan secara manual. Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 4.7, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 4.8 dibawah ini.

Verification	Verification
OVERTURNING : SATISFACTORY (37,3%)	Posouzení celé zdi
SLIP : SATISFACTORY (0,1%)	Posouzení na překlpení Moment vzdorující $M_{res} = 2627,27 \text{ kNm/m}$ Moment klopcí $M_{ovr} = 490,19 \text{ kNm/m}$
	Stupeň bezpečnosti = $5,36 > 2,00$ Zed' na překlpení VYHOVUJE
	Posouzení na posunutí Vodorovná síla vzdorující $H_{res} = 614,02 \text{ kN/m}$ Vodorovná síla posunující $H_{act} = -260,23 \text{ kN/m}$
	Stupeň bezpečnosti = $1000,00 > 1,50$ Zed' na posunutí VYHOVUJE
	Celkové posouzení - ZED' VYHOVUJE Varování - byl překročen rozsah vstupních dat při výpočtu tlaků! Výpočet je proveden s upravenou hodnotou sklonu konstrukce α .

Gambar 4.7 Hasil analisis *overturning* dan *slip*

Gambar 4.8 Hasil analisis *bearing capacity*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar $SF = 5,36$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar $SF = 2,359$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar $SF = 121,52$ yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 4.14 Perbandingan hasil analisis perhitungan secara manual dengan *software Geo 5*

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,258	5,36
2	Geser	4,373	2,359
3	Daya Dukung Tanah	5,57	121,52

Perbedaan hasil yang terjadi antara perhitungan secara manual dengan menggunakan *software Geo 5* terjadi karena faktor ketelitian yang berbeda antara analisis dengan perhitungan secara manual dengan program *software Geo 5*. Juga karena kurang lengkapnya data yang dipakai dalam *software Geo 5* yang mengakibatkan perbedaan hasilnya. Perbedaan hasil yang besar pada stabilitas daya dukung tanah terjadi karena pada perhitungan secara manual menggunakan metode yang disederhanakan, sedangkan pada *software Geo 5* menggunakan metode yang lebih rinci seperti memperhitungkan nilai eksentrisitasnya. Sehingga didapatkan perbedaan hasil yang berbeda jauh dalam analisis stabilitas daya dukung tanahnya.

Namun, berdasarkan hasil analisis menggunakan perhitungan secara manual dan *software Geo 5* dinding penahan tanah Bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan daya dukung tanah.

4.3. Dinding Penahan Tanah Bagian Hilir Bendung

4.3.1. Data Dinding Penahan Tanah

1. Data tanah urugan

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

2. Data tanah dasar

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

3. Data beton

$$\gamma_c = 23,52 \text{ kN/m}^3$$

4. Data air

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

5. Data beban merata

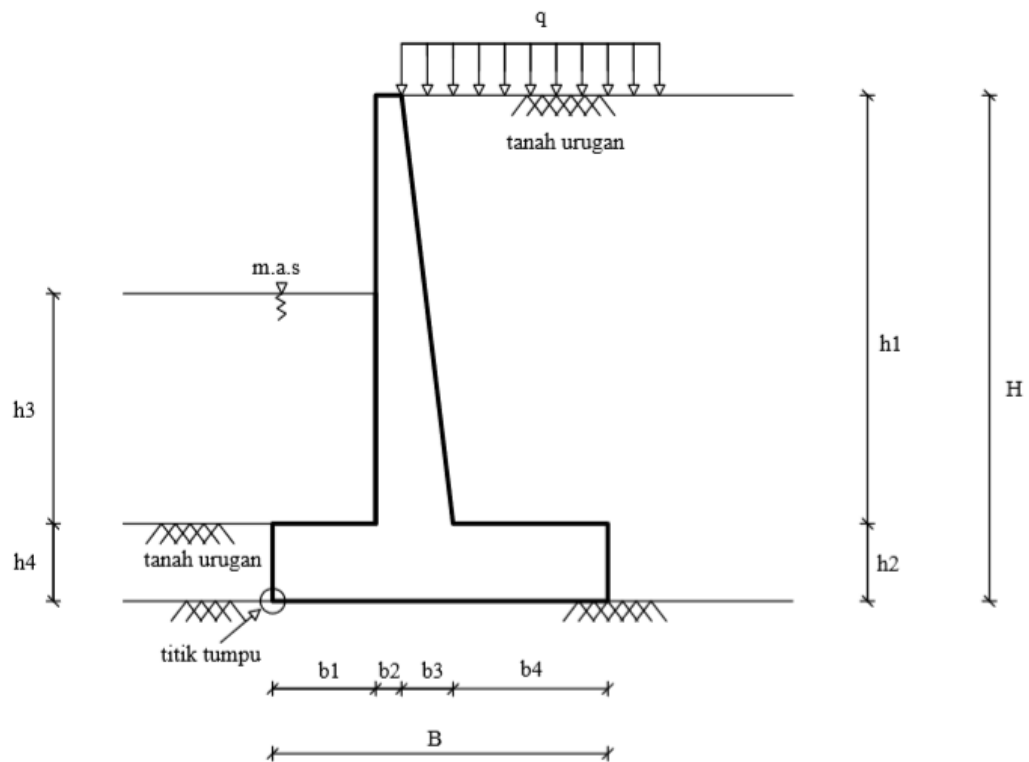
$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

6. Data gempa

$$K_h = 0,1$$

7. Data dinding penahan tanah

- Jenis dinding penahan tanah pada Bendung Kamijoro adalah tipe *counterfort*
- Ukuran (dimensi) dinding penahan tanah



Gambar 4.9 Dinding penahan tanah bagian hilir bendung

Diketahui:

$$b1 = 1,75 \text{ m}$$

$$h1 = 8,19 \text{ m}$$

$$H = 9,69 \text{ m}$$

$$b2 = 0,5 \text{ m}$$

$$h2 = 1,5 \text{ m}$$

$$B = 5,75 \text{ m}$$

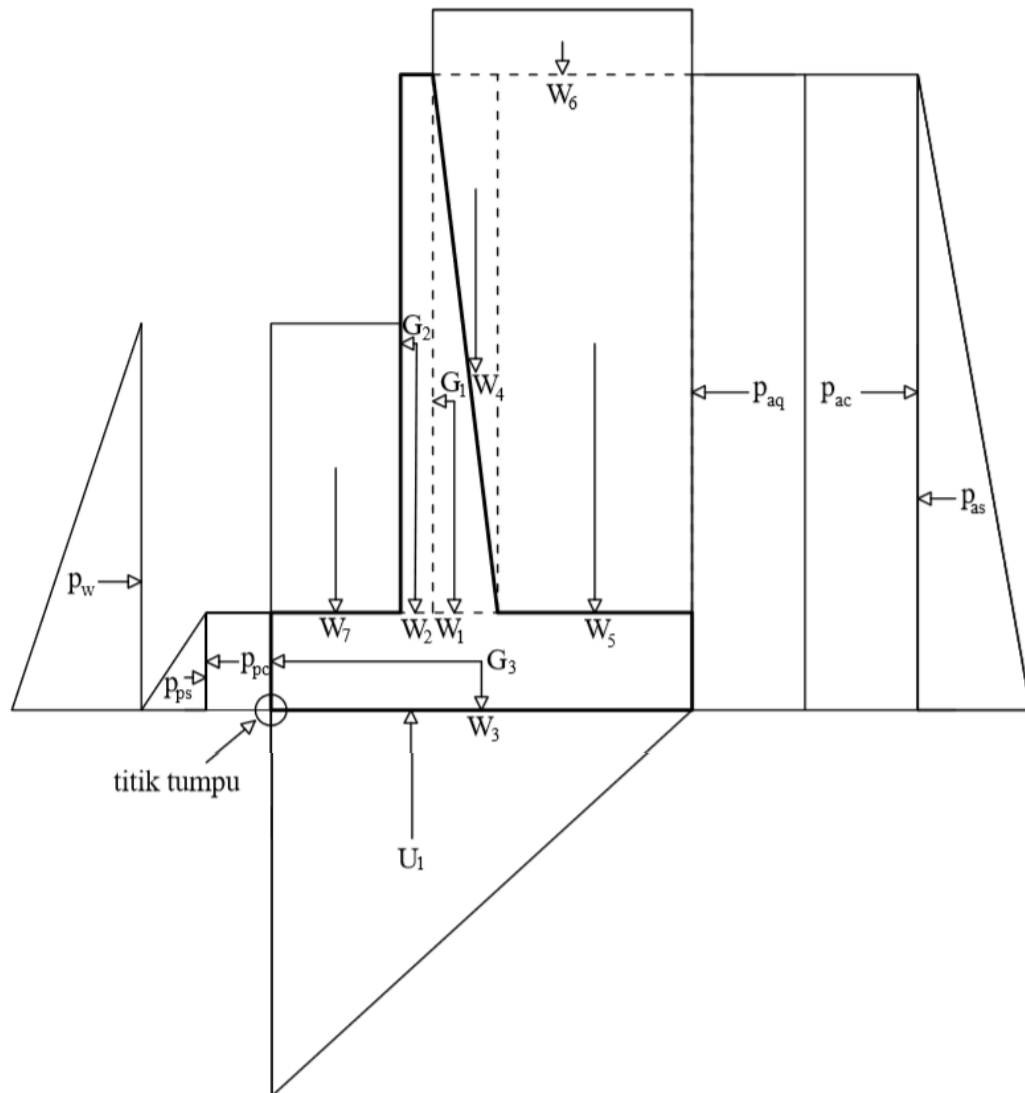
$$b3 = 1 \text{ m}$$

$$h3 = 4,42$$

$$b4 = 2,5 \text{ m}$$

$$h4 = 1,5 \text{ m}$$

4.3.2. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Vertikal



Gambar 4.10 Diagram arah gaya pada dinding penahan tanah

Berdasarkan Gambar 4.10 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya arah vertikal pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.15 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
		$\Sigma W_v = 896,35$		$\Sigma M_v = 2883,24$

Tabel 4.16 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya *uplift*

No	Bagian	U (kN)	Lengan beban (m)	Mu (kNm)
1	<i>Uplift</i> U ₁	166,796	1,92	319,69
		$\Sigma U = 166,796$		$\Sigma Mu = 319,69$

4.3.3. Perhitungan Gaya Tekan dan Momen Akibat Beban Arah Horisontal

Pada perhitungan gaya tekan dan momen yang terjadi akibat adanya beban arah horisontal terdapat 4 perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif, perhitungan gaya tekan dan momen pada air, juga perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa.

Perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif, tanah pasif, beban air dan beban akibat gempa dilakukan akibat adanya gaya arah horisontal yang memberikan gaya beban pada dinding penahan tanah. Pembagian perhitungan tiap bagian dilakukan untuk mempermudah dalam menganalisisnya. Pembagian tiap bagiannya dapat dilihat pada Gambar 4.10. Berdasarkan Gambar 4.10 perhitungan dilakukan tiap bagian dan dihasilkan hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat gaya vertikal pada tanah aktif pada Tabel 4.17, tanah pasif pada Tabel 4.18, beban air pada Tabel 4.19, dan beban gempa pada Tabel 4.20. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan secara Manual.

Tabel 4.17 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
		$\Sigma Pa = -8,71$		$\Sigma Ma = -268,5$

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.

Tabel 4.18 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
		$\Sigma Pp = -42,54$		$\Sigma Mp = -55,66$

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.

Tabel 4.19 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
		$\Sigma P_w \text{ air} = 171,73$		$\Sigma M_w \text{ air} = 338,82$

Tabel 4.20 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
		$\Sigma G = 39,546$		$\Sigma Mg = 109,82$

4.3.4. Perhitungan Stabilitas Konstruksi

Perhitungan stabilitas terhadap konstruksi dibagi menjadi 3 bagian yaitu stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek bangunan tersebut aman atau tidaknya. Perhitungan stabilitas akibat momen guling dengan cara membagi momen tahan dengan momen gulingnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 2 sebagai faktor amannya. Sedangkan akibat gaya geser dilakukan dengan membagi total gaya vertikal dibagi dengan total gaya horisontalnya yang mana hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 1,5 sebagai faktor keamanannya. Sedangkan untuk mengecek stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah dilakukan dengan membagi daya dukung tanah ultimit neto dengan tekanan pondasi neto. Hasil dari stabilitas daya dukung tanah harus lebih atau sama dengan 3 agar dapat dikatakan aman terhadap keruntuhan daya dukung tanah.

- Stabilitas terhadap guling

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

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

$$= 3222,06 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_g = \Sigma M_u + \Sigma M_a + \Sigma M_g$$

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

$$= 429,51 \text{ kNm}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_g}$$

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

$$= 7,501 \geq 2 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap geser

$$\Sigma R_h = c \times B + \Sigma W \times \tan \phi$$

$$= c \times B + (\Sigma W_v - \Sigma U) \times \tan \phi$$

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

$$= 798,209 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_h = -\Sigma P_a + \Sigma P_p + \Sigma P_{air} + -\Sigma G$$

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

$$= 132,184 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h}$$

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

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

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

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

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

$$38,28$$

$$= 5507,84 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

$$q_n = q - \gamma \times D_F$$

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

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

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{q_{un}}{q_n} \\
 &= \frac{5484,026}{705,74} \\
 &= 7,77 \geq 3 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

4.3.5. Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan program *software Geo 5* dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih tepat dan akurat. Dengan program ini perancangan dinding penahan tanah dapat lebih mudah dan cepat. Faktor keamanan dalam program ini ialah lebih besar atau sama dengan perhitungan secara manual. Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 4.11, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 4.12 dibawah ini.

The image shows a screenshot of the Geo 5 software interface displaying verification results. The left panel shows a summary table, and the right panel provides detailed technical data and safety checks.

Verification		
OVERTURNING :	SATISFACTORY	(39,3%)
SLIP :	SATISFACTORY	(0,1%)

Verification

Posouzení celé zdi

Posouzení na překlpení
Moment vzdorující $M_{res} = 1871,66 \text{ kNm/m}$
Moment klopící $M_{ovr} = 368,01 \text{ kNm/m}$

Stupeň bezpečnosti = 5,09 > 2,00
Zed' na překlpení **VYHOVUJE**

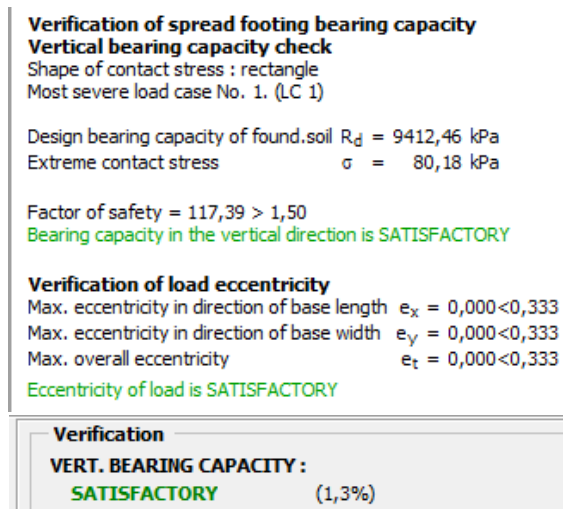
Posouzení na posunutí
Vodorovná síla vzdorující $H_{res} = 546,39 \text{ kN/m}$
Vodorovná síla posunující $H_{act} = -223,97 \text{ kN/m}$

Stupeň bezpečnosti = 1000,00 > 1,50
Zed' na posunutí **VYHOVUJE**

Celkové posouzení - ZED' VYHOVUJE

Varování - byl překročen rozsah vstupních dat při výpočtu tlaků!
Výpočet je proveden s upravenou hodnotou sklonu konstrukce α .

Gambar 4.11 Hasil analisis *overturning* dan *slip*



Gambar 4.12 Hasil analisis *bearing capacity*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar $SF = 5,09$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar $SF = 2,439$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar $SF = 117,39$ yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 4.21 Perbandingan hasil analisis perhitungan secara manual dengan *software Geo 5*

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,501	5,09
2	Geser	6,038	2,439
3	Daya Dukung Tanah	7,77	117,39

Perbedaan hasil yang terjadi antara perhitungan secara manual dengan menggunakan *software Geo 5* terjadi karena faktor ketelitian yang berbeda antara analisis dengan perhitungan secara manual dengan program *software Geo 5*. Juga karena kurang lengkapnya data yang dipakai dalam *software Geo 5* yang mengakibatkan perbedaan hasilnya. Perbedaan hasil yang besar pada stabilitas daya dukung tanah terjadi karena pada perhitungan secara manual menggunakan metode yang disederhanakan, sedangkan pada *software Geo 5* menggunakan metode yang lebih rinci seperti memperhitungkan nilai eksentrisitasnya. Sehingga didapatkan

perbedaan hasil yang berbeda jauh dalam analisis stabilitas daya dukung tanahnya. Namun, berdasarkan hasil analisis menggunakan perhitungan secara manual dan *software Geo 5* dinding penahan tanah Bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan daya dukung tanah.