

BAB V
PERENCANAAN KONSTRUKSI

5.1. Peil Utama Sebagai Dasar Perhitungan

Sebagai peil dasar pembuatan bendung Pegadis diambil dan diukur dari peil utama yang ada pada bendung Kaiti. Dari hasil pengukuran peil bendung Kaiti berkoordinat seperti yang telah diuraikan pada bagian hasil pengukuran topografi.

$$\begin{array}{lcl} \text{BM 2} & X & = 2128,79 \\ & Y & = - 776,973 \\ & Z & = + 79,555 \end{array}$$

Dari titik peil tersebut yang dipakai sebagai benchmark utama dalam pembangunan bendung Pegadis. Dasar pengambilan benchmark di bendung kaiti sebagai dasar utama kerana air dari bendung tersebut atau air dalam saluran suplesi kaiti-Samo ada hubungan ketinggian dengan muka air bendung Pegadis.

5.2. Perencanaan Hidrolis Bendung

5.2.1. Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung untuk perencanaan bangunan bendung Pegadis menggunakan dasar dari data elevasi dari saluran suplesi Kaiti-Samo yaitu puncak dinding beton +78,705, dengan tinggi air maksimum diijinkan dalam saluran suplesi kaiti samo adalah 30 cm dibawah dinding cor beton berarti air paling tinggi dalam saluran adalah +78.405. sedangkan elevasi dasar sungai didapat +75.

Perhitungan elevasi bendung Pegadis:

- | | |
|--|-----------|
| a. Elevasi saluran suplesi Kaiti-Samo | = +78,705 |
| b. Kehilangan pada pintu inlet | = 0,10 m |
| c. Kehilangan pada bangunan ukur | = 0,10 m |
| d. Kehilangan pada pintu pengambilan | = 0,10 m |
| e. Kehilangan oleh slope saluran | = 0,10 m |
| f. Bertambah tinggi air pada saluran suplesi | = 0,10 m |

$$g. \text{ Keamanan} = \underline{0,095 \text{ m}}$$

$$h. \text{ Elevasi mercu bendung} = +79,3$$

Dari data dan perhitungan di atas maka didapat data perencanaan :

$$1. \text{ Elevasi mercu bendung} = +79,3$$

$$2. \text{ Elevasi dasar sungai} = +75$$

$$3. \text{ Tinggi mercu bendung} = 4,3 \text{ m}$$

5.2.2. Lebar Efektif Bendung

Karena adanya pilar dan bangunan pembilas, maka lebar total bendung tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk melewatkan debit yang ada. Jadi lebar efektif bendung lebih pendek dari lebar bendung yang sebenarnya.

Persamaan lebar efektif bendung :

$$B_e = B - 2 (n.K_p + K_a).H_1$$

Dimana :

B_e = lebar efektif bendung (m)

$$B = \text{lebar bendung (m)} = 33 \text{ m}$$

$$n = \text{jumlah pilar} = 3$$

$$K_p = \text{koefisien kontraksi pilar} = 0,01$$

$$K_a = \text{koefisien kontraksi pangkal bendung} = 0,2$$

H_1 = tinggi energi (m)

Perhitungan :

$$B_1 = B_2 = 10,17 \text{ m}$$

$$B_3 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_{e1} &= B_1 - 2 (n.K_p + K_a).H_1 \\ &= 10,17 - 2 (1 * 0,01 + 0,2) H_1 \\ &= 10,17 - 0,42H_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{e2} &= B_2 - 2 (n.K_p + K_a).H_1 \\ &= 10,17 - 2 (2 * 0,01) H_1 \\ &= 10,17 - 0,04 H_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{e3} &= B_2 - 2 (n.K_p + K_a).H_1 \\ &= 10,17 - 2 (2 * 0,01) H_1 \\ &= 10,17 - 0,04 H_1 \end{aligned}$$

$$B_s = 0,80 * 1 = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_e &= B_{e1} + B_{e2} + B_s \\ &= (10,17 - 0,42H_1) + 2 * (10,17 - 0,04 H_1) + 0,8 \\ &= 31,31 - 0,5 H_1 \end{aligned}$$

5.2.3. Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Perhitungan tinggi muka air banjir di atas mercu menggunakan persamaan debit bendung dengan mercu bulat :

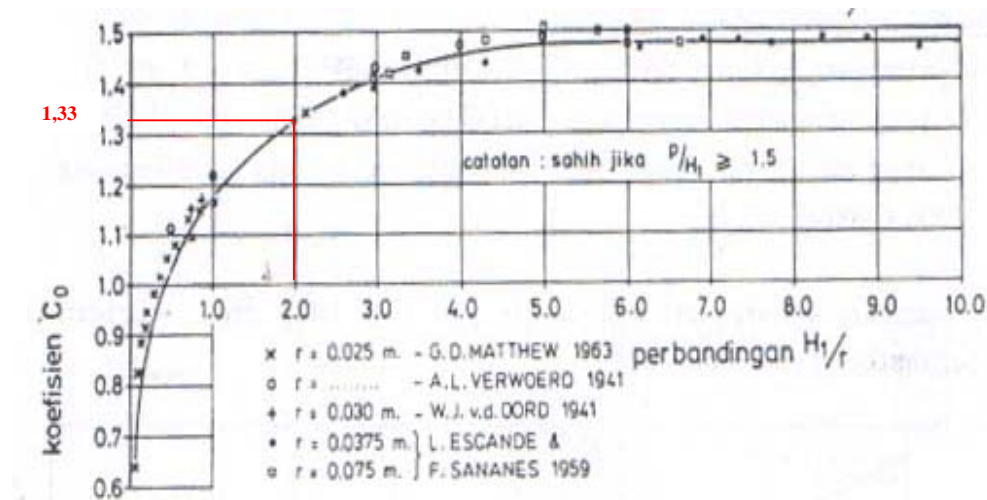
$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} g} * B_e * H_1^{1.5}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{dtk)} = 80 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Cd = \text{Koefisien debit (Cd = C}_0 \cdot C_1 \cdot C_2)$$

Direncanakan $p/H_1 \geq 1,5$ dan $r = 0.5 H_1$, maka didapat $H_1/r = 2$, dari tabel didapat nilai $C_0 = 1.33$. Dimisalkan besar $C_1 = 1$ dan $C_2 = 1$



Gambar 5.1. Harga-harga koefisien C_0 fungsi H_1/r

$$g = \text{Percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/dtk}^2$$

$$B_e = \text{Panjang mercu (m)} = 31,31 - 0,5 H_1$$

$$H_1 = \text{Tinggi energi diatas mercu (m)}$$

Perhitungan :

$$80,0 = 1,33 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9,8 * (31,31 - 0,5 H_1) * H_1^{1,5}}$$
$$35,3 = 31,31 H_1^{1,5} - 0,5 H_1^{2,5}$$

Dengan cara coba-coba diperoleh $H_1 = 1,1$ m

$$B_e = 16,8 - 0,46 H_1$$
$$= 31,31 - 0,5 * 1,1 = 30,76 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat ditentukan elevasi muka air banjir dan tinggi air di atas mercu yaitu :

$$\text{Elevasi muka air banjir} = \text{elevasi mercu} + H_1 = +79,3 + 1,1 = +80,4$$

Untuk menentukan tinggi air di atas mercu dapat dicari dengan persamaan : $H_d = H_1 - k$

Dimana :

$$k = \frac{v^2}{2g} \text{ dengan } v = \frac{Q}{B_e * H_1} = \frac{80}{30,76 * 1,1} = 2,364 \text{ m/dtk}$$
$$k = \frac{2,364^2}{2 * 9,8} = 0,29 \text{ m}$$

Jadi tinggi air di atas mercu adalah : $H_d = 1,1 - 0,29 = 0,81$ m

5.2.4. Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Diketahui :

$$\text{Debit banjir (Q)} = 80 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Lebar rata-rata sungai} = 33 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan sungai (I}_s) = 0.001$$

$$\gamma_B \text{ (koefisien Bazin)} = 1.5$$

Rumus Chezy :

$$A = (b + m h) h$$

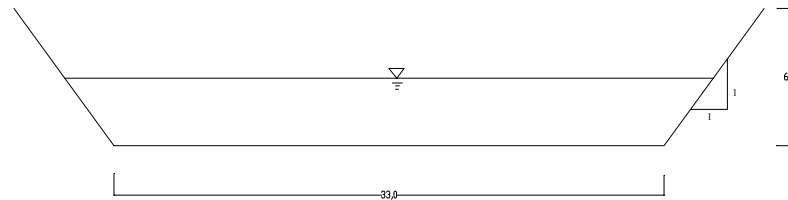
$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R}}}$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$Q = A * V$$



Gambar 5.2. Penampang di Hilir Bendung

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= (b + m h) h \\ &= (33 + 0.5 * h) h \\ &= 33h + 0.5h^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \sqrt{m^2 + 1} \\ &= 33 + 2 * h \sqrt{0,5^2 + 1} \\ &= 33 + 2.236h \end{aligned}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{33h + 0.5h^2}{33 + 2.236h}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{33h + 0,5h^2}{33 + 2,236h}}}}$$

$$\begin{aligned} V &= c \cdot \sqrt{R \cdot I} \\ &= \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{33h + 0,5h^2}{33 + 2,236h}}}} \sqrt{\frac{33h + 0,5h^2}{33 + 2,236h} * 0,001} \end{aligned}$$

$$Q = A * V$$

Tabel 5.1. Perhitungan h

h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	c	V (m/dtk)	Q (m ³ /dtk)
2.00	34.000	20.656	1.646	40.108	1.627	55.325
2.40	41.760	21.787	1.917	41.758	1.828	76.344
2.25	38.813	21.363	1.817	41.177	1.755	68.120
2.47	43.151	21.985	1.963	42.015	1.861	80.320

(Sumber : Perhitungan)

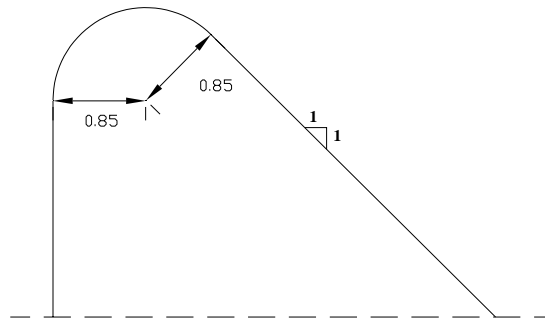
Berdasarkan perhitungan pada tabel 5.1. didapat $h = 2,47$ m, maka :

$$\begin{aligned} \text{Elevasi dasar sungai} &= +75 \\ \text{Elevasi muka air di hilir bendung} &= +75 + 2,47 \\ &= +77,47 \end{aligned}$$

5.2.5. Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Bendung untuk saluran suplesi Pegadis direncanakan menggunakan pasangan batu sehingga besar jari-jari mercu bendung ($r = 0,1H_1 - 0,7 H_1$). maka diambil :

$$\begin{aligned} r &= 0,5 H_1 \\ &= 0,5 * 1,7 = 0,85 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 5.3. Jari-Jari Mercu Bendung

5.2.6. Kolam Olak

5.2.6.1. Penentuan Tipe Kolam Olak

Tipe kolam olak yang akan direncanakan di sebelah hilir bangunan, bergantung pada energi yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan-bilangan Froude dan pada bahan konstruksi kolam olak,

Dalam perhitungan kolam olak ini, direncanakan pada saat banjir dengan Q_{50} . untuk mengecek apakah diperlukan kolam olak atau tidak, maka perlu dicari nilai Froude (Fr).

$$\text{Persamaan : } Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * y_1}}$$

Dimana :

Fr = bilangan Froude

v_1 = kecepatan awal loncatan (m/dtk)

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/dtk²

y_1 = kedalaman air di awal loncat air (m)

q = debit per satuan lebar

Perhitungan :

z = tinggi jatuh

$$= 79,3 - 77,5 = 1,8 \text{ m}$$

$$v_1 = \sqrt{2 * g(0,5H_1 + z)}$$

$$= \sqrt{2 * 9,8(0,5 * 1,1 + 1,8)} = 6,79 \text{ m/dtk}$$

$$y_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{Q_{50}}{v_1 * B_e}$$

$$= \frac{80}{6,79 * 30,76} = 0,383 \text{ m}$$

$$q = y_1 * v_1 = 0,383 * 6,79 = 2,6$$

$$Fr = \frac{6,79}{\sqrt{9,8 * 0,383}} = 3,5$$

$$y_2 = \text{kedalaman air di atas ambang ujung} = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8 * Fr^2} - 1)$$

$$= \frac{0,383}{2} (\sqrt{1 + 8 * 3,5^2} - 1) = 2,81 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapat $Fr = 3,5 < 4,5$, maka berdasarkan KP 04, kolam olak direncanakan dengan kolam olak tipe Vlugter.

5.2.6.2. Pendimansian Kolam Olak

Perhitungan Kolam olak tipe Vlugter adalah sebagai berikut :

$$h_c = \text{kedalaman kritis} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{2,6^2}{9,8}} = 0,884 \text{ m}$$

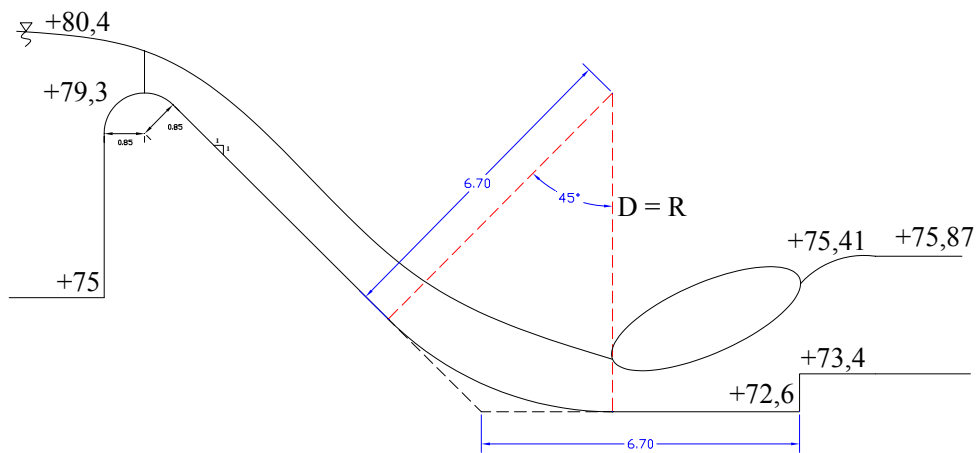
$$\frac{z}{h_c} = \frac{1,8}{0,884} = 2,036$$

Untuk $2,0 < \frac{z}{h_c} \leq 15$ maka :

$$t = 3,0 h_c + 0,1z = 3,0 \cdot 0,884 + 0,1 \cdot 1,8 = 5,832 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

$$a = 0,28 \cdot h_c \sqrt{\frac{h_c}{z}} = 0,28 \cdot 0,884 \sqrt{\frac{0,884}{1,8}} = 0,73 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

$$D = R = L = z + t - H_1 = 1,8 + 6 - 1,1 = 6,7 \text{ m}$$



Gambar 5.4. Dimensi Kolam Olak

5.2.7. Lantai Muka

Perencanaan lantai muka bendung menggunakan garis kemiringan hidrolis. Garis gradien hidrolis ini digamhar dari hilir ke arah hulu dengan titik ujung hilir bendung sehaagai permukaan dengan tekanan sebesar nol. Kemiringan garis hidrolis gradien disesuaikan dengan kemiringan yang diijinkan untuk suatu tanah dasar tertentu, yaitu menggunakan Creep Ratio (C). Untuk mencari panjang lantai depan hulu yang menentukan adalah beda tinggi energi terhesar dimana terjadi pada saat muka hanjir di hulu dan kosong di hilir, Garis hidrolis gradien akan membentuk sudut dengan bidang horisontal sebesar α , sehingga akan memotong muka air banjir di hulu. Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horisontal (lantai hulu bendung) adalah titik ujung dari panjang lantai depan minimum.

$$\text{Persamaan : } C_L = \frac{\sum L_V + \sum(1/3L_H)}{H}$$

Dimana :

C_L = koefisien Lane

L_V = panjang creep line vertikal (m)

L_H = panjang creep line horisontal (m)

H = elevasi mercu bendung – elevasi ambang kolam olak
 $= (+79,3) - (73,4) = 5,9 \text{ m}$

Direncanakan panjang lantai muka 10 m.

Tabel 5.2. Panjang Rembesan Tanpa Lantai Muka

Titik	Garis	Rembesan			
		L_V	L_H	$1/3 L_H$	L_x
		m	m	m	m
A1					0
	A1 - A2	1.00			
A2					1
	A2 - A3		0.50	0.17	
A3					1.17
	A3 - A4	0.60			
A4					1.77
	A4 - A5		3.00	1.00	
A5					2.77

	A5 - A6	0.60			
A6					3.37
	A6 - A7		1.00	0.33	
A7					3.70
	A7 - A8	0.60			
A8					4.30
	A8 - A9		2.50	0.83	
A9					5.13
	A9 - A10	0.60			
A10					5.73
	A10 - A	4.00			
A					9.73
	A - B		4.00	1.33	
B					11.07
	B - C	1.50			
C					12.57
	C - D		2.00	0.67	
D					13.23
	D - E	1.10			
E					14.33
	E - F		3.00	1.00	
F					15.33
	F - G	0.99			
G					16.32
	G - H		4.34	1.45	
H					17.77
	H - I	0.99			
I					18.76
	I - J		1.50	0.50	
J					19.26
	J - K	4.00			
K					23.26
	Jumlah	15.98		7.28	

(Sumber : Perhitungan)

Panjang rayapan menurut Lane :

$$L_{\text{Lane}} = H * C_{\text{Lane}} = 5,9 * 1,8 = 10,62 \text{ m}$$

Panjang lantai yang sudah ada :

$$L_{\text{Ada}} = \sum L_v + \sum (1/3 L_H)$$

$$= 15,98 + 7,28 = 23,26 \text{ m}$$

$$C_L = \frac{15,98 + 7,28}{5,9} = 3,94 > C_{L\text{syarat}} = 1,8 \text{ (aman!!)}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka, $L_{Ada} = 23,26\text{m} \geq L_{Lane} = 10,62$ m. berdasarkan hasil perhitungan tersebut berarti panjang lantai muka memenuhi syarat terhadap rayapan. Karena ketinggian bendung yang mencapai $4,3\text{ m} < 4\text{m}$, maka dilakukan peninggian lantai depan (Mawardi dkk, 2002) untuk meningkatkan stabilitas bendung terhadap guling yaitu setinggi 1,5 m sehingga :

$$p = 4,3 - 1,5 = 2,8\text{ m} \leq p_{syarat} = 4\text{ m}.$$

5.2.8. Tebal Lantai Kolam Olak

Untuk menentukan tebal lantai kolam olak harus ditinjau pada 2 kondisi yaitu kondisi air normal dan kondisi air banjir.

Persamaan :

$$t * \gamma_{pas} \geq s(P_x - W_x)$$

Dimana :

t = tebal lantai kolam olak (m)

s = faktor keamanan

= 1,5 = untuk kondisi air normal

= 1,25 = untuk kondisi air banjir

W_x = kedalaman air pada titik x (m)

γ_{pas} = berat jenis pasangan batu kali = $2,2\text{ T/m}^2$

P_x = uplift pressure

$$= (H_x - (\frac{L_x}{L} * \Delta H)) * \gamma_w \text{ (T/m}^2\text{)}$$

H_x = tinggi muka air di hulu bendung diukur dari titik x (m)

ΔH = perbedaan tinggi tekan di hulu dan di hilir bendung (m)

L_x = panjang creep line sampai titik x (m)

= 16,52 m

L = panjang creep line total (m)

= 23,26 m

Perhitungan :

➤ *Kondisi air normal*

$$H_x = +79,3 - 70,1 = 9,2 \text{ m}$$

$$\Delta H = 6,7 \text{ m}$$

$$W_x = 0$$

$$\begin{aligned} P_x &= (H_x - (\frac{L_x}{L} * \Delta H)) * \gamma_w \\ &= (9,2 - (\frac{16,32}{23,26} * 6,7)) * 1 = 3,5 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$t * \gamma_{pas} \geq s(P_x - W_x)$$

$$2,5 * 2,2 \geq 1,5 (3,5 - 0)$$

$$5,5 \text{ m} \geq 5,25 \text{ m} \quad (\text{aman!!!})$$

➤ *Kondisi air banjir*

$$H_x = +80,4 - 70,1 = 10,3 \text{ m}$$

$$\Delta H = 7,8 \text{ m}$$

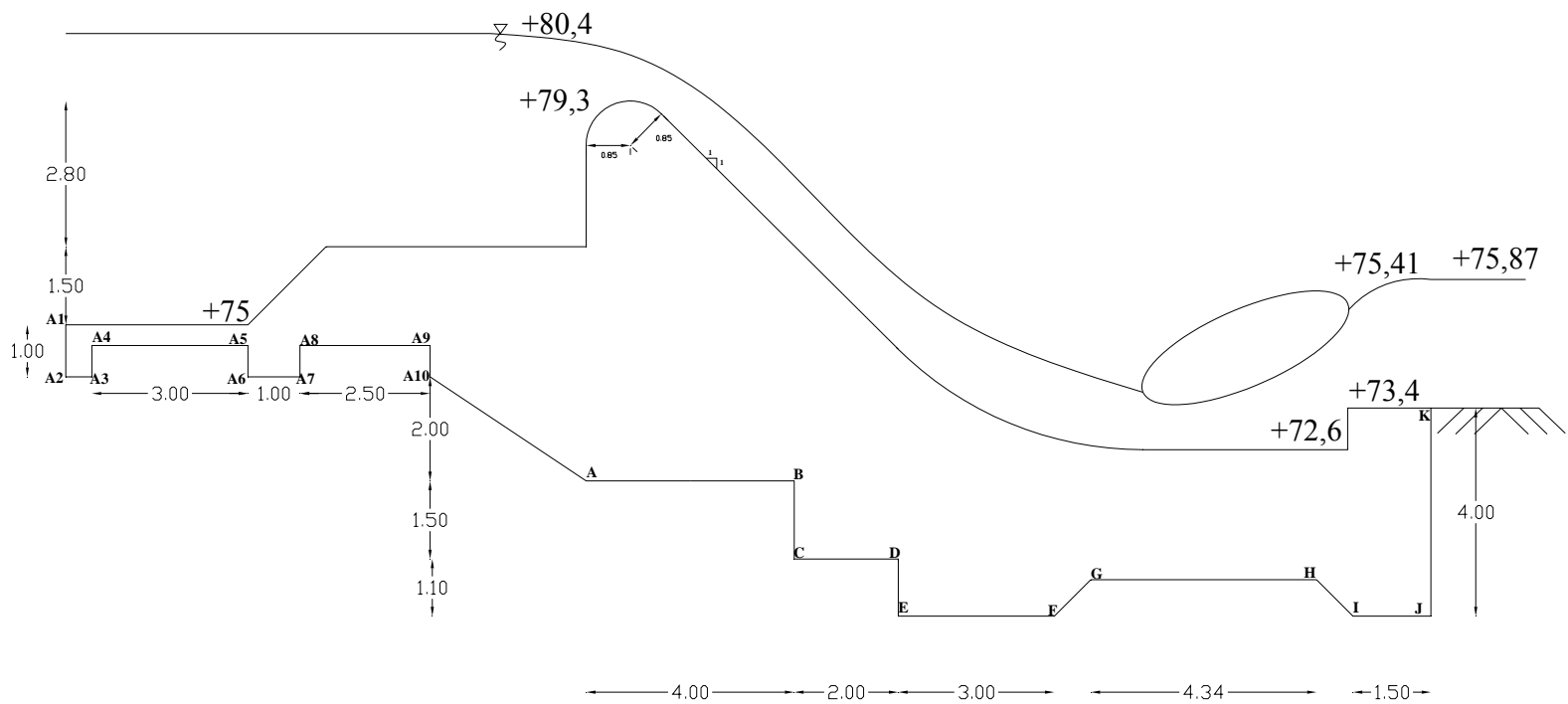
$$W_x = y_1 = 0,383 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_x &= (H_x - (\frac{L_x}{L} * \Delta H)) * \gamma_w \\ &= (10,3 - (\frac{16,32}{23,46} * 7,8)) * 1 = 3,83 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$t * \gamma_{pas} \geq s(P_x - W_x)$$

$$2,5 * 2,2 \geq 1,25 (3,83 - 0,383)$$

$$5,5 \text{ m} \geq 4,31 \text{ m} \quad (\text{aman!!!})$$



Gambar 5.5. Bendung Dengan Peninggian Lantai Depan

5.2.9. Tinjauan Terhadap Gerusan

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Persamaan :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

Dimana :

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit outflow = 80 (m³/dtk)

f = faktor lumpur Lacey = 1,76 (Dm)^{0,5}

Dm = diameter rata-rata material

Perhitungan :

$$A = B_e * H_d = 30,76 * 0,81 = 24,916 \text{ m}^2$$

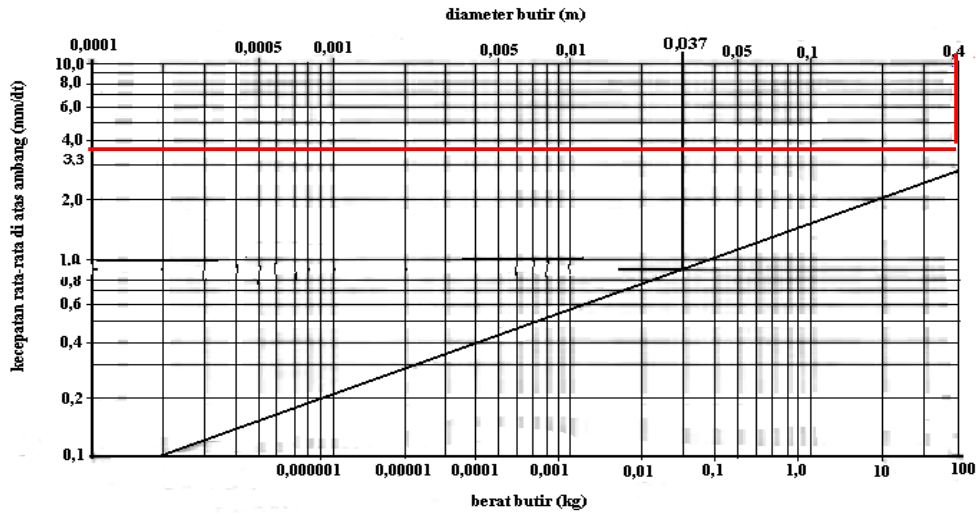
$$\begin{aligned} V_{\text{rata-rata}} &= Q/A \\ &= 80 / 24,916 = 3,21 \text{ m/dtk} \end{aligned}$$

Untuk menghitung turbulensi dan aliran yang tidak stabil, R ditambah 1,5 nya lagi (data empiris).

Tebal lapisan pasangan batu kosong sebaiknya diambil 2 sampai 3 kali d₄₀ dicari dari kecepatan rata-rata aliran dengan bantuan Gambar 5.7.

Gambar 5.7 dapat dipakai untuk menentukan d₄₀ dari campuran pasangan batu kosong dari kecepatan rata-rata selama terjadi debit rencana diatas ambang bangunan.

Untuk menentukan Dm dapat dilihat dari grafik berikut :



Gambar 5.6. Grafik Untuk Menentukan Dm

Dari grafik di atas didapat $D_m = 0,4 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 f &= 1,76 (D_m)^{0,5} \\
 &= 1,76 * (0,4)^{0,5} = 1,113
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \\
 &= 0,47 \left(\frac{80}{1,113} \right)^{1/3} = 1,954 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dengan angka keamanan $S = 1,5$ maka :

$$R = 1,5 * 1,954 = 2,931 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan kedalaman gerusan maka bila dibandingkan, kedalaman pondasi bendung = $4 \text{ m} > 2,931 \text{ m}$, sehingga konstruksi aman terhadap gerusan.

$$\text{Tebal lapisan batu kosong} : 3 \times d_{40} = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang apron} = 4 (2,931 - 2,47) = 1,844 \text{ m}$$

5.2.10. Tinjauan Terhadap Backwater

Perhitungan backwater bertujuan untuk mengetahui besar pengaruh yang disebabkan oleh peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung sehingga dapat ditentukan tinggi tanggul yang harus dibuat.

Persamaan :

$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + hf$$

Dimana :

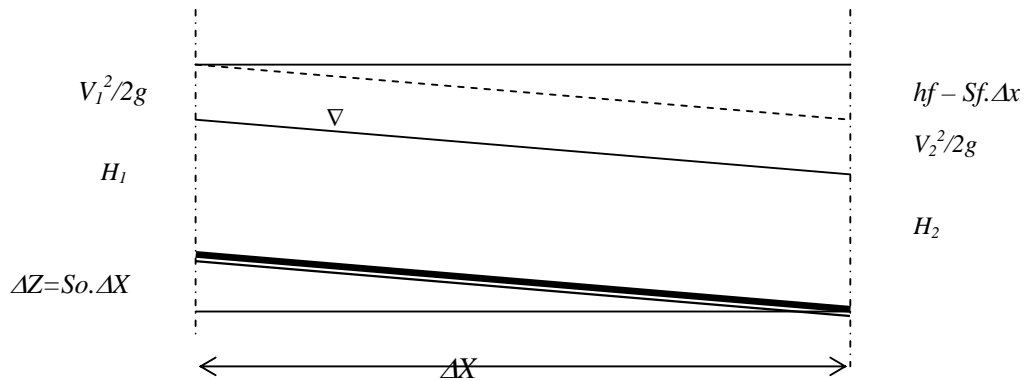
z = Ketinggian dasar saluran dari garis referensi

y = Kedalaman air dari dasar saluran

V = Kecepatan rata-rata

g = Percepatan gravitasi

hf = Kehilangan energi karena gesekan dasar saluran



Gambar 5.7. Definisi profil muka air

$$\Delta z + \underbrace{y_1 + \frac{v_1^2}{2g}}_{E_1} = \underbrace{y_2 + \frac{v_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

$$E_1 + S_0 \Delta X = E_2 + S_f \Delta X$$

atau

$$\Delta X = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

Dimana :

$$Sf = \frac{Q^2}{c^2 A^2 R}$$

$$A = (B + m y) y$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R}}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = B + 2y \sqrt{m^2 + 1}$$

Diketahui :

$$\gamma_B = 1.5$$

$$H_1 = 5,4 \text{ m}$$

$$B_{\text{rata-rata}} = 33 \text{ m}$$

$$S_0 = 0,0571$$

$$m = 1$$

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Elevasi dasar bendung} = +75$$

$$\text{Elevasi muka air bendung} = +80,4$$

Perhitungan :

$$Q = A \cdot c \cdot R^{\frac{1}{2}} S_0^{\frac{1}{2}}$$

$$= (B + m y) y \cdot \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{15y + y^2}{15 + 2,828y}}}} \cdot \left(\frac{15y + y^2}{15 + 2,828y} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot S_0^{1/2}$$

$$80 = (B + m y) y * \frac{87}{1,5} * \left(\frac{15y + y^2}{15 + 2.828y} \right)^{\frac{1}{2}} * (0,571)^{1/2}$$

$$1 + \frac{\sqrt{15y + y^2}}{\sqrt{15 + 2,828y}}$$

Berikut adalah tabel perhitungan kedalaman normal dengan cara trial and error :

Tabel 5.3. Perhitungan Kedalaman Normal (y_n)

y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	c	V (m/dtk)	Q (m ³ /dtk)
0.76	11.978	17.149	0.698	31.129	6.216	74.458
0.77	12.143	17.178	0.707	31.249	6.278	76.236
0.78	12.308	17.206	0.715	31.368	6.340	78.032
0.79	12.474	17.234	0.724	31.486	6.401	79.847

(Sumber : Perhitungan)

Dari hasil perhitungan di atas maka didapat $y_n = H_2 = 0,79$ m.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2 (B + m * y_n)}{g * (B + m * y_n)^3}} = \sqrt[3]{\frac{80^2 (15 + y_n)}{9,81 * (15 + y_n)^3}}$$

$$= 2,05 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan maka didapat. $y_c > y_n$ berarti tipe aliran adalah superkritis. Berikut ini adalah tabel perhitungan panjang pengaruh backwater akibat pembangunan bendung di sungai pegadis.

Tabel 5.4. Perhitungan Backwater

h	A	P	R	c	V	E	E2 - E1	Sf	Sf	So - Sf	Δx	x
m	m ²	m	m		m/dtk	m	m				m	
5.40	110.160	30.271	3.639	48.704	22.201	30.548	0.000	0.00006	3.1E-05	0.057	0.000	0.00
5.00	100.000	29.140	3.432	48.074	21.280	28.105	2.443	0.00008	7.1E-05	0.057	42.834	42.83
4.50	87.750	27.726	3.165	47.201	20.066	25.042	3.063	0.00012	9.9E-05	0.057	53.728	96.56
4.00	76.000	26.312	2.888	46.213	18.768	21.971	3.072	0.00018	1.5E-04	0.057	53.936	150.50
3.50	64.750	24.898	2.601	45.074	17.369	18.893	3.078	0.00029	2.3E-04	0.057	54.129	204.63
3.00	54.000	23.484	2.299	43.736	15.848	15.814	3.079	0.00050	3.9E-04	0.057	54.289	258.92
2.50	43.750	22.070	1.982	42.123	14.172	12.747	3.067	0.00095	7.2E-04	0.056	54.405	313.32
2.00	34.000	20.656	1.646	40.108	12.296	9.714	3.033	0.00209	1.5E-03	0.056	54.574	367.90
1.50	24.750	19.242	1.286	37.458	10.151	6.758	2.956	0.00579	3.9E-03	0.053	55.607	423.50
1.00	16.000	17.828	0.897	33.677	7.624	3.965	2.792	0.02456	1.5E-02	0.042	66.606	490.11
0.79	12.474	17.234	0.724	31.486	6.401	2.880	1.085	0.05732	4.1E-02	0.016	67.131	557.24

(Sumber : Perhitungan)

Dari perhitungan di atas maka didapat panjang pengaruh backwater sepanjang 557,24 m. Untuk mengantisipasi pengaruh backwater maka perlu di analisis apakah sungai membutuhkan tanggul. Dilihat dari topografi, sungai Pegadis semakin ke hulu maka tebing sungai menjadi semakin tinggi. Maka berdasarkan hal itu, tebing sungai dapat digunakan sebagai tanggul untuk menahan tinggi air akibat pengaruh backwater.

5.3. Perencanaan Bangunan Pelengkap

5.3.1. Perencanaan Pintu Pengambilan

Pintu intake harus mampu mengalirkan air minimal $Q = 0,40 \text{ m}^3 / \text{dt}$. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.

Persamaan :

$$Q_n = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

Dimana :

Q_n = debit rencana (m^3/dtk)

μ = koefisien debit = 0,8 (untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi)

a = tinggi bukaan

b = lebar bukaan

z = kehilangan energi pada bukaan

= antara 0,15 – 0,30 diambil 0,20

g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m}/\text{dtk}^2$

Perhitungan :

$b = 0,6$

$\mu = 0,8$

$z = 0,2$

$$Q_n = 0,8 \cdot a \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2}$$

$$0,48 = 0,9508 a ; a = 0,5 \text{ m}$$

✓ Dimensi balok pintu pengambilan.

Dimensi balok pengambilan sebagai berikut :

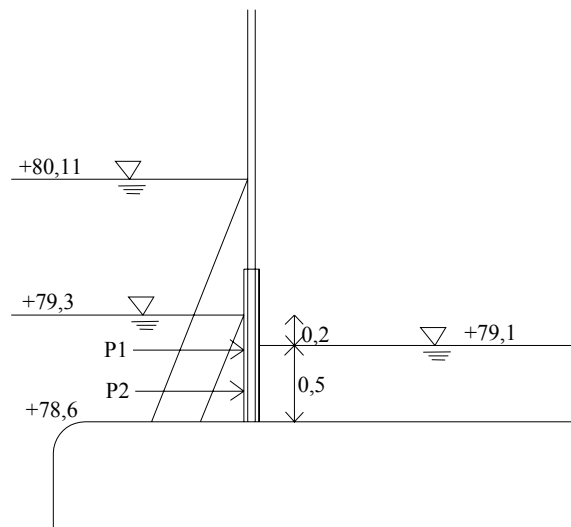
Lebar pintu = 0,6

Lebar teoritis = $0,6 + (2 \times 0,1) = 0,8$

Tebal papan kayu = 0,20 m

Berat jenis kayu = 80 kg/cm^2

$\gamma_w = 1 \text{ ton/m}^3 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 5.8. Pintu Pengambilan

$$P1 = h_1 \times \gamma_w$$

$$= 1,41 \times 1 = 1,41 \text{ t/m}^2$$

$$P2 = h_2 \times \gamma_w$$

$$= 0,6 \times 1 = 0,6 \text{ t/m}^2$$

$$P = \frac{P1 + P2}{2} \times H$$

$$= \frac{1,41 + 0,6}{2} \times 0,2 = 0,201 \text{ t/m}^2 = 2,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Momen yang timbul} = 1/8 \times q \times l^2$$

$$= 1/8 \times 2,01 \times 60^2$$

$$= 904,5 \text{ kgcm}$$

$$W \text{ (momen kelembaman)} = 1/6 \times t^2 \times h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau yaitu 20 cm :

$$\begin{aligned} w &= 1/6 \times t^2 \times 20 \\ &= 3,33 t^2 \end{aligned}$$

✓ Mentukan tebal pintu

$$P = \frac{M}{W}$$

$$80 = \frac{904,5 \text{ kgcm}}{3,33 t^2}$$

$$266,4 t^2 = 904,5$$

$$t = 1,84 = 5 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 5/20

✓ Ukuran stang pengangkat pintu

$$\text{lebar pintu} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{diameter (d)} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{tinggi pintu (hp)} = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F \text{ stang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 3^2 \\ &= 7,065 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 3^4 \\ &= 3,974 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P1)} &= h_1 \times \gamma_w \\ &= 1,41 \times 1000 = 1410 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(P2)} &= h_2 \times \gamma_w \\ &= 0,6 \times 1000 = 600 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \times (P1+P2) \times (\text{lebar pintu} \times h \text{ pintu}) \times \gamma_w \\ &= \frac{1}{2} \times (1410+600) \times (0,8 \times 1) \times 1,0 = 804 \text{ kg} \end{aligned}$$

✓ Gaya pintu ke atas.

$$\begin{aligned}\text{Berat stang} &= F \text{ stang} \times (\text{h pintu}) \times \text{berat jenis baja} \\ &= 0,0007065 \times 1 \times 7800 \\ &= 5,5105 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat daun pintu} &= \text{h pintu} \times \text{l pintu} \times \text{t pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 1 \times 0,8 \times 0,08 \times 800 \\ &= 51,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat sambungan} &= 20\% \times \text{berat} \\ &= 20\% \times 51,2 \text{ kg} \\ &= 10,24 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total pintu (G1)} &= 5,5105 + 51,2 + 10,24 \\ &= 66,9505 \text{ kg}\end{aligned}$$

Koefisien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned}\text{Gaya gesek} &= 0,4 \times \text{tekanan air} \\ &= 0,4 \times 804 \\ &= 312,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

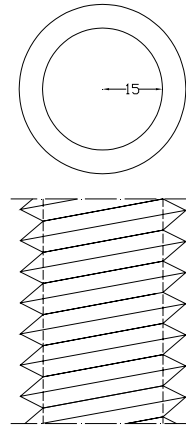
$$\text{Berat total pintu} = 66,9505 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya gesek} = 312,6 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Total (G)} &= \text{G1} + \text{gaya gesek} = 66,9505 \text{ kg} + 312,6 \text{ kg} \\ &= 388,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{G \text{ p int u}}{F_s \tan g} \langle \sigma \text{ baja} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{388,55 \text{ kg}}{7,065 \text{ cm}^2} \langle 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 54,996 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$



Gambar 5.9 Detail stang pengangkat pintu pengambilan

✓ Akibat Gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah gaya (PK)} &= (\text{Gaya Gesek} - G1) \\
 &= (312,6 - 66,9505) \\
 &= 245,65 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Rumus Euler} = PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{I \cdot K^2}$$

Dimana :

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \text{momen inersia} = 2 \times 3,974 = 7,948 \text{ cm}^4$$

LK = panjang tekuk

$$= 0,5 \times L \times \sqrt{2}$$

$$= 0,5 \times 2,5 \times \sqrt{2} = 1,76 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk :

$$I = \frac{PK \cdot LK^2}{\pi^2 \cdot E} < I = 7,948 \text{ cm}^4$$

$$= \frac{245,65 \times 176^2}{(3,14)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6} < I = 7,948 \text{ cm}^4$$

$$= 0,367 \text{ cm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \quad (\text{Aman})$$

5.3.2. Perencanaan kantong Lumpur

Perencanaan dimensi kantong Lumpur didasarkan atas kebutuhan untuk mengalirkan debit rencana dan penampungan sediment dalam jangka waktu dan kapasitas tertentu, yaitu saluran pembawa diatas dan kantong Lumpur dibagian bawahnya.

Perhitungan:

$$Q \text{ (Debit)} = 120 \% \times 0,4 \text{ m}^3/\text{dtk} = 0,48 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$M \text{ (Kemiringan talud)} = 1 : 1$$

$$V_n \text{ (Kecepatan aliran)} = 0,6 \text{ m/dtk}$$

Pada suhu 20°C dengan diameter butiran (ϕ) = 0,07 mm, maka kecepatan endap (w) = 0,004 m/dtk (KP 02, hal. 143)

$$\text{Direncanakan : } b = 0,6 \text{ m}$$

Rumus :

$$A_n = \frac{Q_n}{V_n} = \frac{0,48}{0,6} = 0,8 \text{ m}^2$$

$$A_n = (b+mh)h$$

$$0,8 = (0,6+h)h$$

$$\text{Maka didapatkan } h = 0,65 \text{ m}$$

$$P = b + 2 h \sqrt{1 + m^2} = 0,6 + 2 \cdot 0,65 \sqrt{2} \\ = 3,838 \text{ m}$$

$$R = \frac{A_n}{P} = \frac{0,8}{3,838} = 0,208 \text{ m}$$

$$V_n = K_s \cdot R^{2/3} \cdot I_n^{1/2}$$

Dimana K_s adalah koefisien kekasaran strikler, pasangan batu = 60

$$I_n = \frac{V_n}{(K_s \cdot R^{2/3})^2} = \frac{0,6^2}{(60 \cdot 0,208^{2/3})^2} = 0,0008$$

Jadi dimensi saluran induk kantong Lumpur :

$$Q_n = 0,48 \text{ m}^3/\text{dtk} \quad ; \quad H_n = 0,65 \text{ m} \quad ; \quad m = 1$$

$$V_n = 0,6 \text{ m/dtk} \quad ; \quad k = 60 \quad ; \quad w = 0,04$$

$$B = 0,6 \text{ m} \quad ; \quad I_n = 0,0008$$

➤ Perhitungan kemiringan kantong Lumpur :

Direncanakan ; $V_s = 1,2 \text{ m/dtk}$

Langkah perhitungan :

$$A_s = (Q_s/V_s) = (0,48 / 1,2) = 0,8 \text{ m}^2$$

$$H_s = (A_s/b) = (0,4 / 0,6) = 0,66 \text{ m}$$

$$P_s = (b + 2 \cdot h_s) = (0,6 + 2 \cdot 0,66) = 1,92 \text{ m}$$

$$R_s = (A_s/P_s) = (0,4 / 1,92) = 0,208 \text{ m}$$

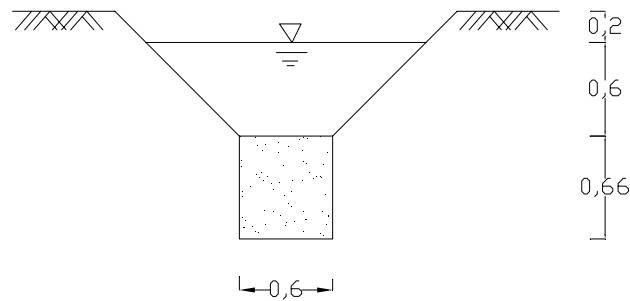
$$V_s = K_s \cdot R_s^{2/3} \cdot I_s^{1/2}$$

$$I_s = \frac{V_s}{(K_s \cdot R_s^{2/3})^2} = \frac{1,2^2}{(60 \cdot 0,208^{2/3})^2}$$

$$I_s = 0,00324$$

Agar pengambilan dapat berjalan dengan baik, maka kecepatan aliran harus tetap subkritis atau $Fr \leq 1$

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot h_s}} = \frac{1,2}{\sqrt{9,81 \cdot 0,66}} = 0,471 \leq 1 \dots \text{(oke)}$$



Gambar 5.10 Potongan melintang kantong lumpur

➤ Perhitungan volume kantong Lumpur

Karena tidak ada data pengukuran sediment, maka berdasarkan KP-02 dapat diambil besarnya sediment yang harus diendapkan 0,5 ‰ dari volume air yang mengalir melalui kantong Lumpur. Dianjurkan pula bahwa sebagian besar (60%-70%) dari pasir halus atau partikel dengan diameter 0,06-0,07 mm terendapkan.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= Q_n \cdot (0,5/1000) \cdot T \cdot 24 \cdot 3600 \\ &= 0,48 (5/1000) 7 \cdot 24 \cdot 3600 \\ &= 145,15 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimana T : periode waktu pembilasan satu minggu sekali.

➤ Perhitungan panjang kantong Lumpur

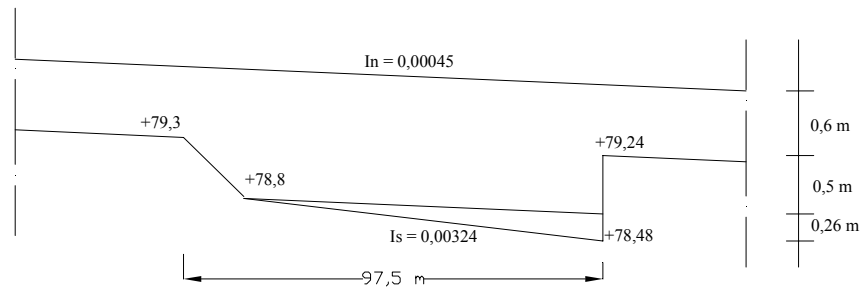
$$\frac{hn}{w} : \frac{L}{Vn}$$

$$hn = 0,65 \text{ m}$$

$$Vn = 0,6 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Pada suhu 20°C dengan diameter butiran (\emptyset) = 0,07 mm, maka kecepatan endap (w) = 0,004 m/dtk (KP 02, hal. 143)

$$\frac{hn}{w} : \frac{L}{Vn} = \frac{0,65}{0,004} : \frac{L}{0,6} ; \text{ sehingga didapat } L = 97,5 \text{ m}$$



Gambar 5.11 Potongan memanjang kantong lumpur

➤ Perhitungan pintu penguras kantong Lumpur

Direncanakan :

- lebar pintu = 0,6 m
- tinggi pintu = 1,6 m
- Pintu ditinjau setinggi = 1 m
- P kayu = 80 kg/cm³
- γ_w = 1 ton/m³ = 0,001 kg/cm³

Tekanan hidrostatik pada pintu :

$$P1 = h_1 \times \gamma_w \\ = 160 \times 0,001 = 0,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$P2 = h_2 \times \gamma_w \\ = 57 \times 0,001 = 0,057 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma P = 1,6 + 0,57 = 2,17 \text{ kg/cm}^2$$

Ditinjau kayu setebal 1 cm dibagian bawah :

$$q = 0,217 \text{ kg/cm}^2 \cdot 1 \text{ cm} = 0,217 \text{ kg/cm}$$

Momen yang timbul akibat tekanan air :

$$M = 1/8 \cdot q l^2 = 1/8 \cdot 0,217 \cdot 160^2 = 694,4 \text{ kgcm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{694,4}{1/6 \cdot b \cdot t^2} ; b = 1 \text{ cm}$$

$$t = \left(\frac{694,4 \times 6}{80} \right)^{0,5} = 7,21 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

Gaya pintu ke atas

Direncanakan diameter stang (d) = 5 cm

$$F \text{ stang} = 1/4 \times \pi \times d^2 \\ = 1/4 \times 3,14 \times 5^2 \\ = 19,625 \text{ cm}^2$$

$$\text{Momen inersia (I)} = 1/64 \times \pi \times d^4 \\ = 1/64 \times 3,14 \times 5^4 \\ = 30,66 \text{ cm}^2$$

Untuk seluruh lebar pintu, saat pintu bergerak ke atas :

$$\text{Tekanan air + sedimen} = p = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h_p^2 + 0,5 \cdot \gamma_s \cdot h_p^2 \\ = 0,5 \cdot 1 \cdot 1,6^2 + 0,5 (1,6-1) \cdot 1,6^2 \\ = 2,048 \text{ ton}$$

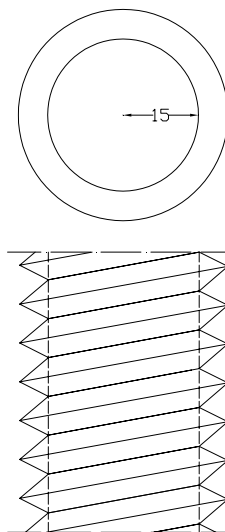
$$\text{Berat stang} = F \text{ stang} \times h \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ = 0,0007065 \times 1 \times 7800 \\ = 5,5107 \text{ kg}$$

Koefisien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya gesek} &= 0,4 \times \text{tekanan air} \\
 &= 0,4 \times 2,048 \\
 &= 0,8192 \text{ ton} \\
 \text{Berat daun pintu} &= b_{\text{pintu}} \times h_{\text{pintu}} \times t_{\text{pintu}} \times \text{berat jenis baja} \\
 &= 0,6 \times 1,6 \times 0,1 \times 800 \\
 &= 76,8 \text{ kg} \\
 \text{Berat sambungan} &= 20\% \times \text{berat} \\
 &= 20\% \times 76,8 \text{ kg} \\
 &= 15,36 \text{ kg} \\
 \text{Berat total pintu (G1)} &= \text{berat pintu} + \text{berat penyambung} + \text{berat stang} \\
 &= 76,8 \text{ kg} + 15,36 \text{ kg} + 5,5107 \text{ kg} \\
 &= 99,67 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{G_{\text{pintu}}}{F_s \tan g} \langle \sigma_{\text{baja}} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{99,67 \text{ kg}}{19,625 \text{ cm}^4} \langle 1400 \text{ kg/cm}^2 = 5,07 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.12. Detail stang pengangkat pembilas lumpur

Gaya pintu ke bawah

$$\text{Berat total pintu (G1)} = 99,67 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya angkat pintu} &= b \cdot hp \cdot t \cdot \gamma_w \\ &= 0,6 \cdot 1,6 \cdot 0,1 \cdot 1000 \\ &= 96 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya pada stang (G2)} &= \text{gaya angkat pintu} + \text{gaya gesek} \\ &= 96 \text{ kg} + 819,2 \text{ kg} = 915,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan ekstra} &= \frac{1}{4} \cdot (G2-G1) \\ &= \frac{1}{4} \cdot (815,53) \\ &= 203,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gaya (PK)} &= (\text{Gaya Gesek} - G1) + \text{tekanan ekstra} \\ &= (819,2 - 99,67) + 203,88 \text{ kg} \\ &= 923,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus Euler} = PK = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L \cdot K^2}$$

Dimana :

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \text{momen inersia} = 30,66 \text{ cm}^4$$

LK = panjang tekuk

$$= 0,5 \times L \times \sqrt{2} = 0,5 \times 1 \times \sqrt{2} = 0,707 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk :

$$\begin{aligned} I &= \frac{PK \cdot LK^2}{\pi^2 \cdot E} < I = 30,66 \text{ cm}^4 \\ &= \frac{923,41 \times 70,7^2}{(3,14)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6} < I = 7,948 \text{ cm}^4 \\ &= 0,222 \text{ cm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

➤ Perhitungan saluran penguras

$$\text{Debit} = 0,48 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Kecepatan aliran } V = 1,2 \text{ m/dtk}$$

$$\text{Direncanakan ; } b = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan} = 1 : 1$$

Rumus :

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,48}{1,2} = 0,4 \text{ m}^2$$

$$A = (b + mh)h$$

$$0,4 = (0,6 + h)h$$

Dengan dicoba-coba didapat harga $h = 0,4 \text{ m}$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 0,6 + 2 \cdot 0,4\sqrt{2} \\ = 1,73 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,4}{1,73} = \frac{0,8}{3,838} = 0,231 \text{ m}$$

$$Vn = Ks \cdot R^{2/3} \cdot In^{1/2}$$

Dimana Ks adalah koefisien kekasaran strikler, pasangan batu = 60

$$In = \frac{Vn}{(Ks \cdot R^{2/3})^2} = \frac{1,2^2}{(60 \cdot 0,231^{2/3})^2} = 0,0028$$

Jadi dimensi saluran induk kantong Lumpur :

$$Qn = 0,48 \text{ m}^3/\text{dtk} \quad ; Hn = 0,4 \text{ m} \quad ; m = 1$$

$$Vn = 1,2 \text{ m}/\text{dtk} \quad ; k = 60$$

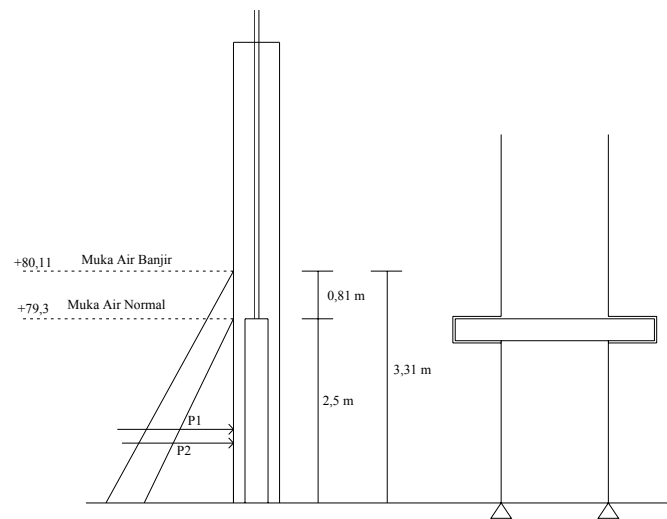
$$B = 0,6 \text{ m} \quad ; In = 0,0028$$

5.3.3. Perencanaan pintu pembilas bendung

Diketahui :

Lebar pintu (b) = 1,5 m

Tinggi pintu (H) = 2,5 m



Gambar 5.13. Pintu Bilas Bendung

Persamaan :

$$Q_n = m \cdot b \cdot h_{kr} \sqrt{2g \cdot \Delta h_{kr}}$$

Perhitungan :

$$H_{kr} = 2/3 H = 1,667 \text{ m}$$

$$\Delta h_{kr} = 1/3 H = 0,833 \text{ m}$$

$$Q_n = 1 \times 1,5 \times 1,667 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,833}$$

$$= 10 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$A = (b + mh)h$$

$$= (1,5 + 2,5)2,5$$

$$= 10 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2 \times h \sqrt{1 + m^2}$$

$$= 1,5 + 2 \times 2,5 \sqrt{2}$$

$$= 8,571 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
R &= A/P \\
&= 10 \text{ m}^2 / 8,571 \text{ m} = 1,1667 \\
V &= Q/A \\
&= 10 / 10 = 1 \text{ m/dtk} \\
V &= (1/n) \times R^{2/3} \times I^{1/2} \\
1 &= (1/0,013) \times 1,1667^{2/3} \times I^{1/2} \\
0,0117 &= I^{1/2} \\
I &= 0,000136
\end{aligned}$$

Analisis Struktur Pintu Pembilas Bendung

Perhitungan ukuran beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

- lebar pintu = 1,5 m
- lebar teoritis = 1,5 + (2 x 0,1) = 1,7 m
- Pintu ditinjau setinggi = 20 cm
- P kayu = 80 kg/cm³
- γ_w = 1 ton/m³ = 0,001 kg/cm³

Tekanan hidrostatik pada pintu :

$$\begin{aligned}
P1 &= h_1 \times \gamma_w \\
&= 3,31 \times 1 = 3,31 \text{ t/m}^2 \\
P2 &= h_2 \times \gamma_w \\
&= 2,50 \times 1 = 2,5 \text{ t/m}^2 \\
P &= \frac{P1 + P2}{2} \times H \\
&= \frac{3,31 + 2,5}{2} \times 0,2 = 0,581 \text{ t/m}^2 = 5,81 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen yang timbul} &= 1/8 \times q \times l^2 \\
&= 1/8 \times 5,81 \times 150^2 \\
&= 16340,625 \text{ kgcm}
\end{aligned}$$

$$W \text{ (momen kelembaman)} = 1/6 \times t^2 \times h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau yaitu 20 cm :

$$\begin{aligned}
w &= 1/6 \times t^2 \times 20 \\
&= 3,333 \text{ t}^2
\end{aligned}$$

- ◆ Menentukan tebal pintu

$$P = \frac{M}{W}$$

$$80 = \frac{16340,625 \text{ kgcm}}{3,333t^2}$$

$$t = 7,83 = 10 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 10/20

- ◆ Ukuran stang pengangkat pintu

- lebar pintu (b) = 1,7 m
- direncanakan diameter (d) = 5 cm
- tinggi pintu (hp) = 3,33 m

$$\begin{aligned} F \text{ stang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 5^2 \\ &= 19,625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 5^4 \\ &= 30,66 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P1)} &= h_1 \times \gamma_w \\ &= 3,7 \times 1000 = 3700 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(P2)} &= h_2 \times \gamma_w \\ &= 3,41 \times 1000 = 3410 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \times (P1+P2) \times (\text{lebar pintu} \times h \text{ pintu}) \times \gamma_w \\ &= \frac{1}{2} \times (3310+2500) \times (1,5 \times 2,5) \times 1,0 \\ &= 10893,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

- ◆ Akibat Gaya tekan pintu bergerak naik ke atas

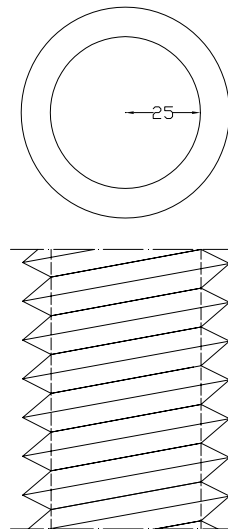
$$\begin{aligned} \text{Berat stang} &= 2 \times F \text{ stang} \times h \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 2 \times 0,0007065 \times 2,5 \times 7800 \\ &= 27,5535 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \times l \text{ pintu} \times t \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 2,5 \times 1,5 \times 0,1 \times 800 \\ &= 300 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat sambungan} &= 20\% \times \text{berat daun pintu} \\
&= 20\% \times 300 \text{ kg} \\
&= 60 \text{ kg} \\
\text{Berat total pintu (G1)} &= 27,5535 + 300 + 60 \\
&= 387,55 \text{ kg} \\
\text{Koefisien gesek baja alur dengan pintu (f)} &= 0,4 \\
\text{Gaya gesek} &= 0,4 \times \text{tekanan air} \\
&= 0,4 \times 10893,75 = 4357,5 \text{ kg} \\
\text{Berat total pintu} &= 387,55 \text{ kg} \\
\text{Gaya gesek} &= 4357,5 \text{ kg} \\
\text{Total (G)} = \text{G1} + \text{gaya gesek} &= 387,55 \text{ kg} + 4357,5 \text{ kg} \\
&= 4745,05 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Control terhadap tegangan (σ)

$$\begin{aligned}
\sigma &= \frac{G_{\text{pintu}}}{2Fs \tan g} \langle \sigma_{\text{baja}} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\
&= \frac{4745,05 \text{ kg}}{2.19,625 \text{ cm}^2} \langle 1400 \text{ kg/cm}^2 \\
&= 120,89 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}
\end{aligned}$$



Gambar 5.14 Detail stang pintu pembilas

◆ Akibat Gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned}\text{Jumlah gaya (PK)} &= (\text{Gaya Gesek} - G1) \\ &= (4357,5 - 387,55) \\ &= 3969,95 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Rumus Euler} = PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L \cdot K^2}$$

Dimana :

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \text{momen inersia} = 2 \times 30,66 \text{ cm}^4 = 61,32 \text{ cm}^4$$

LK = panjang tekuk

$$= 0,5 \times L \times \sqrt{2}$$

$$= 0,5 \times 4,1 \times \sqrt{2} = 2,89 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk :

$$I = \frac{PK \cdot LK^2}{\pi^2 \cdot E} < I = 61,32 \text{ cm}^4$$

$$= \frac{3969,95 \times 289^2}{(3,14)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6} < I = 61,32 \text{ cm}^4$$

$$= 16,014 \text{ cm}^4 < 61,32 \text{ cm}^4 \dots\dots(\text{Aman})$$

5.3.4. Perencanaan Jembatan Pelayanan

➤ Perencanaan Balok.

Panjang bentang : 10 m

Mutu beton rencana (f^c) : 20 N/mm²

Tegangan leleh baja : 400 N/mm²

Perhitungan :

- Beban yang bekerja pada jembatan :

Muatan berat sendiri (q_1)

Muatan berat sendiri adalah berat balok induk, berat lantai dan berat pagar.

Berat tiap m' adalah sebagai berikut :

$$q_a = 0,3 \times 0,5 \times 2,4 = 0,36 \text{ ton/m}^{\prime} \text{ (berat balok induk)}$$

$$q_b = 0,15 \times 1,5 \times 2,4 = 0,54 \text{ ton/m}^{\prime} \text{ (berat lantai)}$$

$$q_c = 100 \text{ kg/m}^{\prime} = 0,1 \text{ ton/m}^{\prime} \text{ (berat pagar)}$$

$$q_d = 0,05 \times 1,00 \times 1000 = 0,05 \text{ kg/m}^3 \text{ (berat air hujan)}$$

$$q_1 = q_a + q_b + q_c + q_d = 0,36 + 0,54 + 0,1 + 0,05 = 1,05 \text{ ton/m}^3$$

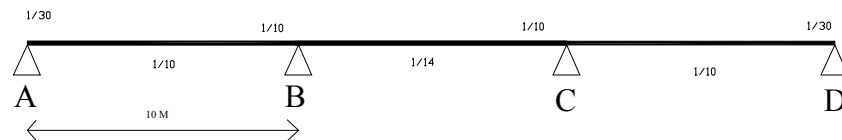
Muatan beban hidup (q2)

Muatan beban hidup adalah berat beban. Beban terberat diperkirakan adalah muatan orang berdiri penuh sepanjang jembatan besar beban dipakai standar umum yaitu 500kg/m. Dengan demikian beban /m' adalah sebagai berikut:

$$q_2 = 0,5 \times 1,1 \text{ m} = 0,55 \text{ ton/m}^3.$$

Jadi beban karakteristik total adalah :

$$q_{\text{total}} = q_1 + q_2 = 1,05 \text{ ton/m}^3 + 0,55 \text{ ton/m}^3 = 1,6 \text{ ton/m}^3 = 1600 \text{ kg/m}^3$$



Gambar.15. Struktur jembatan

a. Tentukan syarat-syarat tumpuan dan bentang teoritis.

Balok bertumpu bebas ke pada A dan C, A menerus ke B dan C.

Bentang teoritis seperti gambar berikut :

b. Tentukan tinggi balok sehubungan dengan kriteria lendutan.

Untuk bentang AB dan BC, $\alpha = 0,085$

$$h \geq \frac{\alpha \times l}{25} = h \geq \frac{0,85 \times 10000}{25} = 340 \text{ mm}$$

Direncanakan dimensi balok adalah 30/50,

Jadi syarat memenuhi karena $h \text{ 340 mm} < 500 \text{ mm}$

c. Beban karakteristik diberikan, dari ini diperoleh beban rencana :

$$q_d \text{ max} = \gamma_q \times q_k \text{ max} = 1,5 \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$q_d \text{ min} = \gamma_q \times q_k \text{ min} = 1,5 \times 1050 \text{ kg/m}^3 = 1575 \text{ kg/m}^3$$

d. Menghitung reaksi perletakan dan periksa perletakan.

Beban rencana maksimum adalah 2400 kg/m^2 . Momen dan reaksi perletakan adalah :

$$R_a = R_d = \frac{1}{2} \cdot 2400 \cdot 10 = 12000 \text{ kg}$$

$$R_{b \text{ ki}} = R_{c \text{ ka}} = \frac{5}{8} \cdot 2400 \cdot 10 = 15000 \text{ kg}$$

$$R_{b \text{ ka}} = R_{c \text{ ki}} = \frac{1}{2} \cdot 2400 \cdot 10 = 12000 \text{ kg}$$

$$R_b = R_c = 27000 \text{ kg}$$

Karena monolit dengan tumpuan, tidak perlu memeriksa perletakan.

e. Menghitung Momen lentur yang menentukan (maksimum)

$$M_a = M_d = \frac{1}{30} \cdot q_d \cdot l^2 = \frac{1}{30} \cdot 2400 \cdot 10^2 = 8000 \text{ kgm}$$

$$M_{ab} = M_{cd} = \frac{1}{10} \cdot q_d \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot 2400 \cdot 10^2 = 24000 \text{ kgm}$$

$$M_b = M_c = \frac{1}{10} \cdot q_d \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot 2400 \cdot 10^2 = 24000 \text{ kgm}$$

$$M_{bc} = \frac{1}{14} \cdot q_d \cdot l^2 = \frac{1}{14} \cdot 2400 \cdot 10^2 = 17142 \text{ kgm}$$

f. Menghitung tulangan

Anggap batang tulangan utama 20 mm dan sengkang 8 mm, maka :

$$D = h - c - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. utama}} = 500 - 25 - 8 - 10 = 457 \text{ mm}$$

Momen lapangan pada batang AB = BC : $M_d = 24000 \text{ kgm}$

$$d = 457 \text{ mm} ; z = 0,925d = 422,725 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_d}{f_s \times z} = \frac{24000 \times 100}{3300 \times 422,725} = 17,20 \text{ cm}^2 = 1720 \text{ mm}^2$$

Momen tumpuan diujung A = D ; $M_a = M_c = 8000 \text{ kgm}$

$$A_{s2} = \frac{M_a}{M_{ab}} \times 1156 = \frac{8000}{24000} \times 1720 = 573,3 \text{ mm}^2$$

Momen tumpuan tengan B = C = 30000 kgm

$$A_{s3} = \frac{M_b}{M_{ab}} \times 1156 = \frac{24000}{24000} \times 1720 = 1720 \text{ mm}^2$$

Momen lapangan pada bentang Bc = 30000 kgm

$$A_{s4} = \frac{M_{bc}}{M_{ab}} \times 1720 = \frac{17142}{24000} \times 1720 = 1228,51 \text{ mm}^2$$

Kontrol.

$$A_{s \text{ max}} = \omega_o \text{ max} \cdot b \cdot d \cdot 10^4 ; \omega_o \text{ max} = 1,90$$

$$= 1,9 \cdot 0,3 \cdot 0,457 \cdot 10^4 = 2604 \text{ mm}^2$$

Semua As terhitung $As < As \text{ maks}$; $1720 < 2604 \dots \text{OK}$

$$\begin{aligned} As \text{ min} &= \omega_o \text{ min} \cdot b \cdot d \cdot 10^4 ; \omega_o \text{ min} = 0,2 \\ &= 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,457 \cdot 10^4 = 274 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Semua As terhitung $As > As \text{ min}$; $573,3 > 274 \dots \text{OK}$

Pilih tulangan

$$\begin{aligned} \text{Tulangan tumpuan A dan D} &= As2 = 573,3 \text{ mm} \\ &= \text{pilih } 2 \text{ } \emptyset 22 = 759 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan lapangan AB dan CD} &= As1 = 1720 \text{ mm}^2 \\ &= \text{pilih } 5 \text{ } \emptyset 22 = 1899 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan tumpuan B dan C ; } As3 &= 1720 \text{ mm}^2 \\ &= \text{pilih } 5 \text{ } \emptyset 22 = 1899 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bentang BC} &= As4 = 1228,51 \text{ mm}^2 \\ &= \text{pilih } 4 \text{ } \emptyset 22 = 1519,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

g. Tulangan Geser

Beton $c = 20$; $K = 225$

τ_{vd} = Gaya lintang maksimum reaksi perletakan.

Gaya lintang maksimum reaksi perletakan A dan D

$$\tau_{vd} = \frac{v_d}{b \cdot d} = \frac{1200}{0,3 \times 0,422725} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{vd} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_1 < \tau_2 < \tau_{vd}$ perlu diberi tulangan geser

Gaya lintang maksimum reaksi perletakan B (kiri) dan C (kanan)

$$\tau_{vd} = \frac{v_d}{b \cdot d} = \frac{1500}{30 \times 42,2725} = 1,182 \text{ N/mm}^2$$

Gaya lintang maksimum reaksi perletakan B (kanan) dan C (kiri)

$$\tau_{vd} = \frac{v_d}{b \cdot d} = \frac{1200}{30 \times 42,2725} = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{vd} = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_1 < \tau_2 < \tau_{vd}$ perlu diberi tulangan geser

Tentukan panjang y dimana $\tau_{vd} > \tau_1$, dan hitung tulangan geser.

Akan dipilih tulangan dasar yang terdiri dari sengkang Ø8 – 250 dengan sengkang tambahan pada tumpuan bila perlu.

Untuk A dan D :

$$y = \frac{V_d - V_1}{q_d}$$

$$V_1 = \tau_1 \cdot b \cdot d = 0,6 \times 300 \times 422,725 = 76009,05 \text{ N}$$

$$V_d - V_1 = 120000 - 76009,05 = 43990,95 \text{ kg}$$

$$y = \frac{43990,95}{24000} = 1,83 \text{ m}$$

Maka sengkang berfungsi sebagai tulangan geser sepanjang 1,83 m.

tulangan dasar yang dipasang adalah Ø8 – 250.

$$\tau_{sengk} = \frac{A_{s_{sengk}} \times z \times f_s}{b \cdot d \cdot 1000}$$

$$\text{Ø8} - 250 = 402 \text{ mm}^2$$

$$z = 0,925 d = 422,725 \text{ mm}$$

$$f_s = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{sengk} = \frac{402 \times 422,725 \times 330}{300 \cdot 457 \cdot 1000} = 0,409 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_1 + \tau_{sengk} = 0,6 + 0,409 = 6,409$$

$$V_1 + V_{sengk} = (\tau_1 + \tau_{sengk}) \cdot b \cdot d = 1,009 \times 300 \times 422,725 = 127963 \text{ N}$$

$$V_d - (V_1 + V_{sengk}) = 120000 - 127963 = -7963 \text{ N}$$

Sengkang yang dipakai Ø8 – 250

Untuk tumpuan B (kiri) dan C (kanan)

$$V_1 = \tau_1 \cdot b \cdot d = 0,6 \times 300 \times 422,725 = 76009,05 \text{ N}$$

$$V_d - V_1 = 150000 - 76009,05 = 73990,95 \text{ kg}$$

$$y = \frac{73990,95}{24000} = 3,082 \text{ m}$$

Maka sengkang berfungsi sebagai tulangan geser sepanjang 3,082 m.
tulangan dasar yang dipasang adalah Ø8 – 250.

$$\tau_{sengk} = \frac{As_{sengk} \times z \times fs}{b.d.1000}$$

$$\text{Ø8} - 250 = 402 \text{ mm}^2$$

$$z = 0,925 d = 422,725 \text{ mm}$$

$$fs = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{sengk} = \frac{402 \times 422,725 \times 330}{300.457.1000} = 0,409 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 + \tau_{sengk} = 0,6 + 0,409 = 1,009$$

$$V_1 + V_{sengk} = (\tau_1 + \tau_{sengk}) b.d = 1,009 \times 300 \times 422,725 = 127963 \text{ N}$$

$$V_d - (V_1 + V_{sengk}) = 150000 - 127963 = 22037 \text{ N}$$

$$y = \frac{22037}{24000} = 0,918 \text{ m}$$

Sengkang tambahan harus dipasang sepanjang jarak 0,918 m. Bila dipasang sengkang Ø8 – 150 maka :

$$\tau_{sengk} = \frac{250}{150} \times 0,409 = 0,681 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 + \tau_{sengk} = 0,6 + 0,681 = 1,281 \text{ N/mm}^2 > 0,9 \text{ N/mm}^2$$

Sengkang yang dipakai Ø8 – 250

Untuk tumpuan B (kanan) dan C (kiri)

$$V_1 = \tau_1 \cdot b \cdot d = 0,6 \times 300 \times 422,725 = 76009,05 \text{ N}$$

$$V_d - V_1 = 120000 - 76009,05 = 43990,95 \text{ kg}$$

$$y = \frac{43990,95}{24000} = 1,832 \text{ m}$$

Maka sengkang berfungsi sebagai tulangan geser sepanjang 1,832 m.
tulangan dasar yang dipasang adalah Ø8 – 250.

$$\tau_{sengk} = \frac{As_{sengk} \times z \times fs}{b.d.1000}$$

$$\text{Ø8} - 250 = 402 \text{ mm}^2$$

$$z = 0,925 d = 422,725 \text{ mm}$$

$$f_s = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{sengk} = \frac{402 \times 422,725 \times 330}{300.457.1000} = 0,409 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 + \tau_{sengk} = 0,6 + 0,409 = 1,009$$

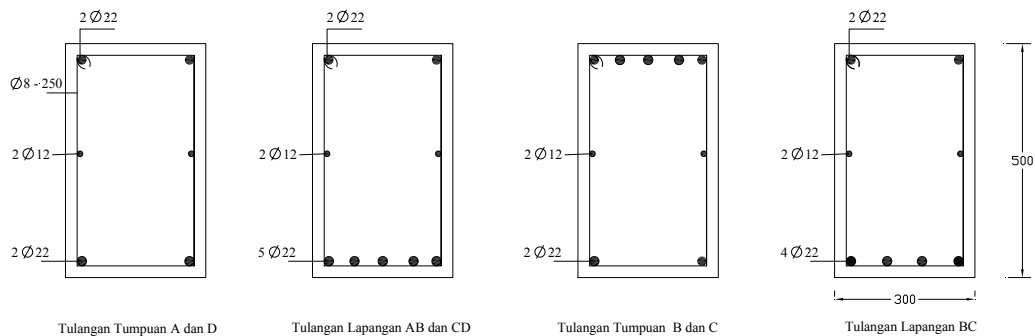
$$V_1 + V_{sengk} = (\tau_1 + \tau_{sengk}) b.d = 1,009 \times 300 \times 422,725 = 127963 \text{ N}$$

$$V_d - (V_1 + V_{sengk}) = 120000 - 127963 = -7963 \text{ N}$$

$$\tau_{sengk} = \frac{250}{150} \times 0,409 = 0,681 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 + \tau_{sengk} = 0,6 + 0,409 = 1,009 \text{ N/mm}^2 > 0,9 \text{ N/mm}^2$$

Sengkang yang dipakai Ø8 – 250



Gambar 5.16. Tulangan Pada Balok

➤ Perhitungan Pelat lantai

- Pembebanan pelat lantai

Beban pada lantai adalah beban hidup dan beban berat sendiri, beban hidup $q = 500 \text{ kg/m}$, beban mati (tanpa balok) $q = 0,69 \text{ to/m}^2$

Beban terfaktor mengacu pada SKNI T.15 1991

$$\begin{aligned} q_d &= 1,2 W_d + 1,6 W_l \\ &= 1,2 \cdot 690 + 1,6 \cdot 500 \\ &= 1628 \text{ kgm} = 16280 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Direncanakan :

Tebal pelat = 120 mm

Lebar = 600 mm

Pelat tertumpu kantilever pada balok.

a. Bentang kantilever teoritis

a = 120 mm

l = L + a/2 = 600 + 120/2 = 660 mm

b. Periksa tebal pelat yang dipilih berhubungan dengan lendutan :

$$= \frac{\alpha \cdot l}{h} \leq 30 ; h = 120 \text{ mm} ; l = 660 \text{ mm}$$

$\alpha = 2,4$ (untuk kantilever)

$$= \frac{2,4 \times 660}{120} \leq 30 = 13,2 \leq 30 \text{ tebal pelat memadai.}$$

c. Menentukan momen lentur yang maksimum

Momen lentur yang terjadi pada ujung yang terjepit penuh adalah :

$$M_d = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot l^2$$

$$M_d = \frac{1}{2} \cdot 1628 \cdot 0,660^2 = 3,545 \text{ kNm}$$

d. Hitung tulangan ;

h = 120 mm

c = 25 (lingkungan basah)

Ø 10 diameter anggapan untuk batang tulangan utama

h = d + ½ tul. Utama + c

d = 120 - 5 - 25 = 90 mm

Md = 3,545 kNm = 3,545 · 10⁶ kgmm

fs = 3300 kg/mm²

e. Tulangan Geser

Beton c = 10 ; z = 0,85 d

$$A_s = \frac{M_d}{f_s \cdot 0,925d} = \frac{3,545 \cdot 10^6}{180 \cdot 0,85 \cdot 120} = 257,44 \text{ mm}^2$$

$$\omega_o = \frac{100 \times 57,44}{1500 \times 90} = 0,1907$$

$$\omega_{\min} = 0,2 ; \omega_{\max} = 2,15$$

$$\omega_{\min} < \omega_0 < \omega_{\max}$$

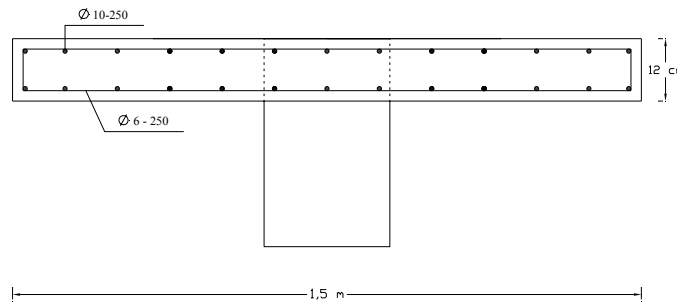
f. Pilih tulangan

$$\text{Tulangan utama } A_s = 257,44 \text{ mm}^2$$

; pilih $\emptyset 10 - 250$

$$\text{Tulangan pembagi} : 20\% \text{ dari } A_s = 257,44 \text{ mm}^2 = 51,58 \text{ mm}^2$$

; pilih $\emptyset 6 - 250$



Gambar 5.17. Penulangan Pelat Lantai

➤ Perencanaan Tiang Sandaran.

Tinggi tiang sandaran = 1 m

Jarak tiap tiang = 3 m

Profil sandaran = Pipa baja $\emptyset 76,3$ mm

W = 13,9 cm

Beban mati Vertikal (G) = 6,28 kg/m (berat sendiri sandaran)

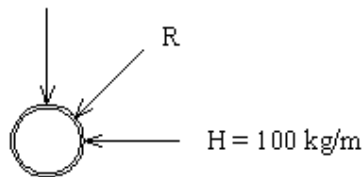
Beban Hidup Horizontal = 100 kg/m

$$V = 6,28 \text{ kg/m}$$

$$R = \sqrt{(V^2 + H^2)}$$

$$= \sqrt{(6,28^2 + 100^2)}$$

$$= 100,197 \text{ kg/m}$$



Pemeriksaan pipa sandaran

$$\begin{aligned}R_{AV} &= R_{BV} = \frac{1}{2} \times q \times Ls \\ &= \frac{1}{2} \times 100,197 \times 3 \\ &= 150,29 \text{ kg}\end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pipa sandaran :

$$\begin{aligned}M &= \frac{1}{8} \times q \times Ls^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 100,197 \times 3^2 = 112,721 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Geser yang terjadi pada pipa sandaran :

$$\begin{aligned}D &= \frac{1}{2} \times q \times Ls \\ &= \frac{1}{2} \times 100,197 \times 3 = 150,2955 \text{ kg}\end{aligned}$$

1. Kontrol terhadap tegangan dan bahan

◦ Kontrol terhadap lendutan (δ) :

$$\begin{aligned}\delta_{\max} &= \frac{5 \times q \times L^4}{384 EI} < \delta_{\text{ijin}} \\ &= \frac{5 \times 1,00197 \times 300^4}{384 \times (2,1 \times 10^6) \times 53,2} < \frac{3}{180} \\ &= 0,9459 \text{ cm} < 1,6667 \text{ cm} \dots \dots \text{OK}\end{aligned}$$

◦ Kontrol terhadap tegangan lentur yang terjadi (σ) :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{terjadi}} &= \frac{M}{W} < \bar{\sigma} \\ &= \frac{112,721}{13,9} < 1600 \text{ kg/cm} \\ &= 810,942 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2 \dots \dots \text{OK}\end{aligned}$$

2. Penulangan Tiang sandaran

Direncanakan :

$$\text{Tulangan utama} = \emptyset 10$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 8$$

$$P_u = 18,84 \text{ kg}$$

$$M_u = 100 \text{ kg} \times 1 \text{ m} = 100 \text{ kgm}$$

$$d' = 20 + 8 + \frac{1}{2} \times 10 = 33 \text{ mm}$$

$$\frac{d'}{h} = \frac{33}{200} = 0,165$$

$$N' d = 188,4 \text{ N}$$

$$f'c = 12 \text{ N/m}$$

$$A_c = 200 \times 150$$

$$\frac{N' d}{f' d \times A_c} = \frac{188,4}{12 \times 200 \times 150} = 0,00052$$

$$M_d \text{ kepala} = 0$$

$$M_d \text{ kaki} = 100 \times 1 = 100 \text{ kgm (menentukan)}$$

$$e_o = \frac{M_d}{N' d} = \frac{100}{188,4} = 0,53 \text{ m} = 53 \text{ mm}$$

$$e_1 = 5 \cdot h \cdot \left(\frac{l}{100 \cdot h}\right)^2 = 5 \cdot 200 \cdot \left(\frac{1000}{100 \cdot 200}\right)^2 = 2,5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1/200 \cdot l = 1/200 \cdot 1000 = 5 \text{ mm}$$

$$e_o + e_1 + e_2 = 53 + 2,5 + 5 = 60,5 \text{ mm}$$

$$\frac{N' d}{f' d \times A_c} \cdot \frac{e_t}{h} = \frac{188,4}{12 \times 200 \times 150} \cdot \frac{60,5}{200} = 0,00016$$

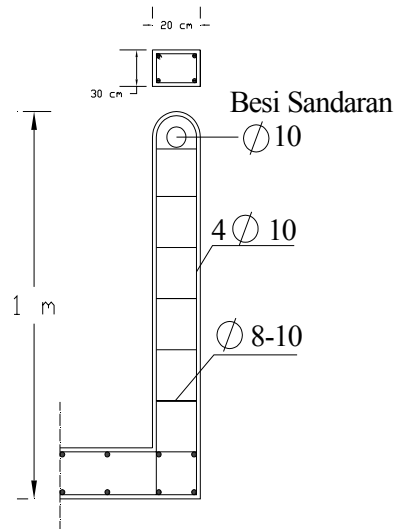
Dari grafik perencanaan diperoleh :

$$r = 0 ; \omega_o = 0$$

$$s_{ki} = A_s k_a = 0 \text{ mm}^2$$

Tulangan praktis yang dipilih adalah = 2 x 2 $\emptyset 12$

Sengkang $\emptyset 8 - 200$ (karena $20 \times 12 = 240 \text{ mm}$)



Gambar 5.18 Penulangan Tiang Sandaran

5.4. Perencanaan Saluran Pembawa

5.4.1. Perencanaan Hidrolis Saluran

Dasar perhitungan saluran pembawa dari bendung ke suplesi Kaiti-Samo adalah menggunakan persamaan Strickler yang dianggap sebagai aliran tetap yaitu sebagai berikut:

Persamaan :

$$V = k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata

k = koefisien Strickler

R = jari-jari penampang hidrolis

I = kemiringan saluran

Diketahui :

$$V = 0,6 \text{ m/dtk}$$

$$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$B = 0,6 \text{ m}$$

$$m = 1$$

$$n = 60$$

Perhitungan :

$$Q = A * V$$

$$0,4 = A * 0,6$$

$$A = 0,4/0,6 = 0,667 \text{ m}^2$$

Bentuk penampang direncanakan menggunakan trapesium maka :

$$A = (B + m h) h$$

$$= (0,6 + 1 * h)h$$

$$0,667 = (0,6h + h^2)$$

$$h = 0,57 \text{ m}$$

$$P = B + 2h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$= 0,6 + 2h \sqrt{1^2 + 1}$$

$$= 0,6 + 2 * 0,57 = 1,74 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{0,667}{1,74} = 0,383 \text{ m}$$

$$V = k * R^{2/3} * I^{1/2}$$

$$0,6 = 60 * (0,323)^{2/3} * I^{1/2}$$

$$0,6 = 28,246 * I^{1/2}$$

$$I = 0,00045123$$

Dari hasil perhitungan didapat kedalaman air di saluran $h = 0,57 \text{ m}$ dan kemiringan dasar saluran rencana $I = 0,00045123$. Direncanakan tinggi saluran yaitu $h + \text{tinggi jagaan} = 0,57 + 0,23 = 0,8 \text{ m}$.

5.4.2. Perencanaan Bangunan Ukur

Bangunan ukur dibuat pada saluran pembawa Pegadis ke suplesi kaiti-samo, alat ukur dipakai adalah type ambang lebar, alat ukur ini dianggap paling cocok karena konstruksinya sederhana dan mudah dioperasikan.

Persamaan :

$$Q = C_d * C_v * \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g b_c h_1^{1,5}$$

Dimana :

$$Q = \text{debit (m}^3/\text{dtk)} = 0,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$C_d = \text{koefisien debit}$$

$$= 0,93 + 0,10H_1/L, \text{ untuk } 0,1 < H_1/L < 1,0$$

$$H_1 = \text{tinggi energi hulu (m)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/dtk}^2\text{)}$$

$$b_c = \text{lebar mercu pada bagian pengontrol (m)} = 0,6 \text{ m}$$

$$h_1 = \text{kedalaman air hulu terhadap ambang bangunan (m)}$$

Perhitungan :

Direncanakan $H_1/L = 0,5$, maka

$$C_d = 0,93 + 0,10H_1/L$$

$$= 0,93 + 0,1 * 0,5 = 0,98$$

$$C_v = 1,10$$

$$Q = C_d * C_v * \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g b_c h_1^{1,5}$$

$$0,4 = 0,98 * 1,10 * \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} 9,8 * 0,6 * h_1^{1,5}$$

$$h_1^{1,5} = 0,363$$

$$h_1 = 0,51 \text{ m}$$

$$y_1 = h_1 + p_1$$

$$0,57 = 0,51 + p_1$$

$$p_1 = 0,06 \text{ m}$$

Dengan $a = 1:1$ pada permukaan belakang, maka batas moduler H_2/H_1 adalah 0,70 atau dengan cara pendekatan $h_2/h_1 = 0,70$. maka :

$$h_2 = 0,7 * h_1$$

$$= 0,7 * 0,51$$

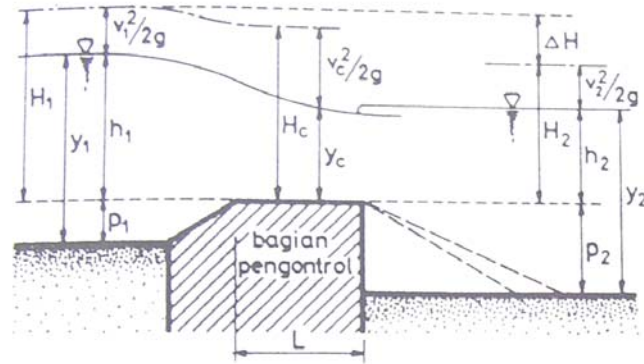
$$= 0,357 \text{ m} = 0,36 \text{ m}$$

$$y_1 = y_2 = h_2 + p_2$$

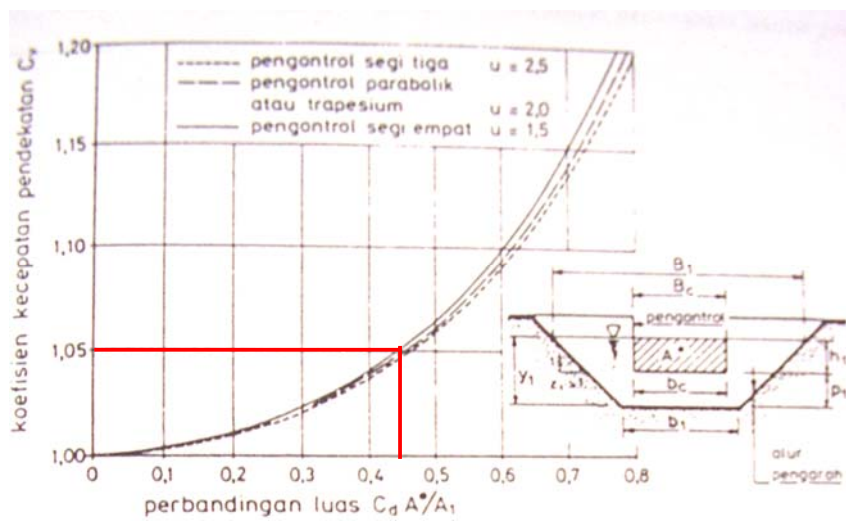
$$0,57 = 0,36 + p_2$$

$$p_2 = 0,21 \text{ m}$$

Gambar 5.19 akan menjelaskan arti dari simbol-simbol yang dipakai.



Gambar 5.19. Ilustrasi Simbol Yang Dipakai



Gambar 5.20. Nilai Cv

$$A^* = b_c \cdot h_1 = 0,6 \cdot 0,51 = 0,306 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A &= b_1 \cdot y_1 + m \cdot y_1^2 \\ &= 0,6 \cdot 0,57 + 1 \cdot 0,57^2 \\ &= 0,667 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_d \cdot \frac{A^*}{A} = 0,98 \cdot \frac{0,306}{0,667} = 0,45$$

Dari gambar di atas didapat nilai $C_v = 1,05$. dari koreksi nilai C_v tersebut didapat kedalaman muka air rencana h_1 menjadi :

$$\left(\frac{h_1}{0,51}\right)^{1,5} = \left(\frac{C_{v, \text{perkiraan}}}{C_{v, \text{koreksi}}}\right)$$

$$h_1 = 0,51 * \left(\frac{1,10}{1,05}\right)^{2/3} = 0,53 \text{ m}$$

Untuk menentukan panjang bangunan ambang lebar yaitu:

$$H_1/L = 0,5$$

$$L = 0,57/0,5 = 1,14 \text{ m}$$

5.5. Analisis Stabilitas Konstruksi

5.5.1. Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Desain dinding penahan tanah ada dua (2) dimensi, yaitu dengan ketinggian 16 m pada hulu bendung dan ketinggian 11,5 pada hilir bendung. Spesifikasi tanah pada lokasi adalah sebagai berikut :

1. Specific gravity (Gs) = 2.65
2. Berat isi kering (γ_d) = 1.978 gr/cm³
3. Kohesi (c) = 0.06 kg/cm²
4. Sudut geser = 15 - 30 °
5. Kadar air optimum = 18,22 %
6. Permeabilitas = 0.413 10⁻² m/dtk
7. Angka pori =

$$\gamma_d = \frac{G \times \gamma_w}{1 + e} ; 1.978 = \frac{2.65 \times 1}{1 + e}$$

$$e = \frac{2.65 - 1.978}{1.978}$$

$$e = 0.33$$

8. Berat isi tanah = $\gamma_{sub} = \frac{(G + e)\gamma_w}{1 + e} - \gamma_w$
 $= \gamma_{sub} = \frac{(2.65 + 0.33)\gamma_w}{1 + 0.33} - \gamma_w$
 $= 1,24 \text{ gr/cm}^3$

9. Koefisien tekanan tanah aktif (k_a) = $\frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi}$

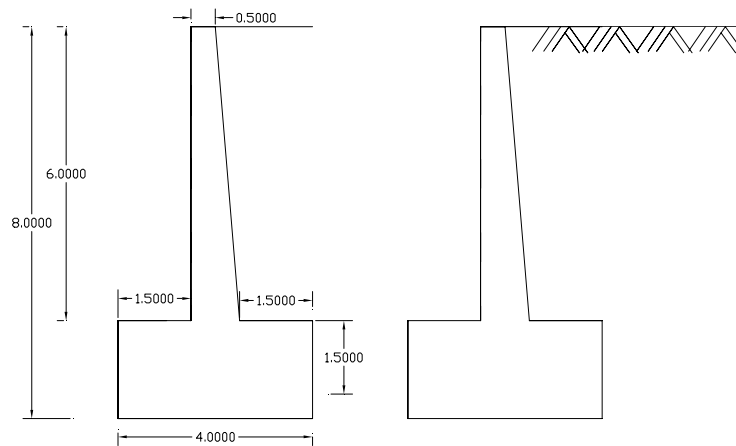
$$k_a = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} =$$

$$k_a = 0,33$$

a. Dinding penahan tanah pada hulu dan badan bendung.

1. Dimensi DPT

Dimensi dinding penahan tanah pada hilir bendung direncanakan seperti gambar berikut :



Gambar.21. Dinding penahan tanah pada hilir bendung

Pada DPT ini gaya tekanan pasif dari air dianggap tidak ada, agar stabilitas tetap terjaga saat air tidak ada. Tekanan tanah aktif pada DPT adalah :

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2C H \sqrt{K_a} \text{ (ton/m)}$$

Dimana :

$$\gamma = 1,24 \text{ gr/cm}^3 = 1,24 \text{ ton/m}^3$$

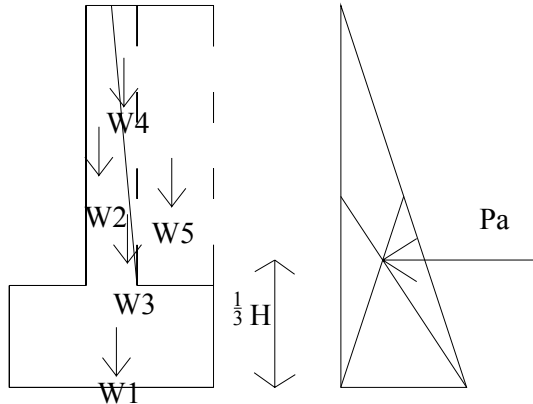
$$H = 8 \text{ m}$$

$$K_a = 0,33$$

$$c = 0,06 \text{ kg/cm}^2 = 0,6 \text{ ton/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{1}{2} \cdot 1,24 \cdot 8^2 \cdot 0,33 - 2,0 \cdot 6 \cdot 8 \cdot \sqrt{0,33} \\
 &= 7,579 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Titik kerja Pa pada ketinggian $H/3 = 8/3 = 2,667 \text{ m}$



Gambar.5.22. Gaya dinding penahan tanah hulu dan di tubuh bendung

Gaya tubuh dinding penahan tanah terhadap titik O adalah :

Tabel 5.5 Gaya tubuh DPT terhadap titik O

No Gaya	Luas x Tekanan	Gaya Vertical (V)Ton	Titik O	
			Lengan m	Momen Tm
W1	4*2*2.2	17.60	2.00	35.20
W2	0.5*6*2.2	6.60	1.75	11.55
W3	0.5*6*1*2.2	6.60	1.92	12.65
W4	0.5*6*0.5*1.8	2.70	2.30	6.21
W5	1.5*6*1.8	16.20	3.25	52.65
Total	$\sum V$	49.70	$\sum Mr$	118.26

$$\sum H = 7,579 \text{ ton/m} \times 2,667 \text{ m} = 20,21 \text{ Ton}$$

1. Analisis Stabilitas

$$d = \frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum Rv} = \frac{118,26 - 20,21}{49,7} = 1,97 \text{ m}$$

❖ Analisis stabilitas eksentrisitasnya adalah :

$$\begin{aligned}
 e &= L/d - d = 4/2 - 1,97 < L/6 \\
 &= 0,03 < 4/6 \\
 &= 0,03 < 0,6 \dots\dots\dots (\text{aman})
 \end{aligned}$$

❖ Kontrol terhadap Guling

Tanpa memperhitungkan tekanan pasif

$$Sf_g = \frac{\sum Mr}{\sum Mg} > 1,5$$

$$Sf_g = \frac{118,26}{20,21} = 5,8 > 1,5 \dots\dots\dots(\text{aman})$$

Dimana :

Sf_g = Faktor Keamanan Guling

Mr = Momen Penahan/Resisten

Mg = Momen Guling

❖ Kontrol terhadap Geser

$$Sf_{ges} = 0,75 \times \frac{\sum V}{\sum H} > 1,5$$

$$Sf_{ges} = 0,75 \times \frac{49,7}{7,579} = 4,91 > 1,5 \dots\dots\dots(\text{aman})$$

❖ Kontrol daya dukung tanah

$$\sigma = \frac{\sum Rv}{B} \times \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{\sum Rv}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{49,7}{4} \times \left(1 + \frac{6,0,03}{4}\right) \\ &= 12,98 < 58,98 \text{ ton/m}^2 \dots\dots\dots(\text{aman}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{\sum Rv}{B} \times \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{49,7}{4} \times \left(1 - \frac{6,0,03}{4}\right) \\ &= +11,86 > 0 \dots\dots\dots(\text{aman}) \end{aligned}$$

b. Dinding penahan tanah pada hilir bendung.

Lereng saluran hilir bendung dengan h max = 6 m

Dimensi ketebalan dinding pasangan

$$b = \frac{W \times h \times c}{2 \times \gamma \times f}$$

Sumber : Braja. M Das Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2

Dimana :

B = Ketebalan Dinding Pasangan

W = berat jenis tanah = 2,75 t/m³

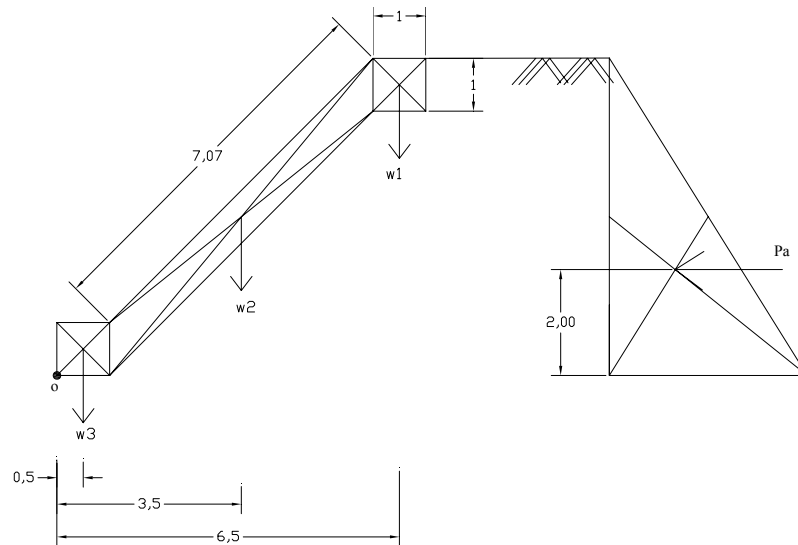
H = tinggi perkuatan lereng = 6 m

γ = berat jenis pasangan batu = 2,2 t/m³

f = koefisien gesek = 0,75

c = koefisien tekanan tanah = 0,3

$$b = \frac{2,75 \times 6 \times 0,3}{2 \times 2,2 \times 0,75} = 1 \text{ m}$$



Gambar 5.23 diagram tegangan pada H = 6 m

$$\text{Koefisien tekanan tanah aktif (ka)} = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} ; ka = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30}$$

$$= ka = 0,33$$

Tekanan tanah aktif (Pa)

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma H^2 Ka - 2C H \sqrt{Ka} \text{ (ton/m)}$$

Dimana :

γ = 1,24 ton/m³

H = 6 m

Ka = 0,33

c = 0,6 ton/m²

$$Pa = \frac{1}{2} \cdot 1,24 \cdot 6^2 \cdot 0,33 - 2,0 \cdot 6 \cdot 6 \cdot \sqrt{0,33}$$

$$= 3,229 \text{ ton/m}$$

Titik kerja Pa pada ketinggian $H/3 = 6/3 = 2 \text{ m}$

Perhitungan Luas dan titik berat bangunan

Table 5.6 Perhitungan Luas dan titik berat bangunan h = 6 m

Simbol	A (m2)	X (m)	A.X (m3)
w1	1	6.5	6.50
w2	7.07	3.5	24.75
w3	1	0.5	0.50
jumlah	9.07		31.75

$$\text{Titik berat} = \frac{\sum A.X}{\sum A} = \frac{31,75}{9,07} = 3,5 \text{ m}$$

Perhitungan gaya vertikal sendiri

$$V = A \times \gamma_{\text{batu}} \times b = 9,07 \times 2,2 \times 1 = 19,954 \text{ t}$$

Kontrl terhadap Stabilitas Guling

$$S_{fguling} = \frac{\sum M_{tahan}}{\sum M_{guling}} = \frac{(v \times X)}{\sum Pa \times y} = \frac{19,954 \times 3,5}{3,229 \times 2}$$

$$= 10,58 > 3 \dots\dots(\text{aman})$$

Kontrol terhadap gaya geser

$$S_{fgeser} = \frac{\sum GayaVertical}{\sum GayaHorizontal} = \frac{9,07 \times 2,2}{3,229} = 6,17922 > 1,5 \dots\dots(\text{aman})$$

5.5.2. Konstruksi Bendung

Pengecekan stabilitas bendung dilihat pada 2 kondisi yaitu :

1. Analisis stabilitas saat kondisi air normal

Gaya-gaya yang bekerja pada bendung saat kondisi air normal adalah :

a. Gaya akibat berat sendiri

Persamaan :

$$G = V * \gamma_{pas}$$

Dimana :

G = gaya akibat berat sendiri (Tm)

V = volume (m³)

γ_{pas} = berat jenis pasangan batu kali = 2,2 T/m²

Lengan momen ditinjau sampai titik O. Berikut disajikan tabel hasil perhitungan :

Tabel 5.7. Gaya Akibat Berat Sendiri

Gaya	Luas Pias	G	Lengan Momen	Momen Vertikal
		Ton	m	Ton.m
G1	1*1*2.2	-2.20	15.70	-34.54
G2	1/2*1.5*1.5*2.2	-2.48	15.20	-37.62
G3	5*1.5*2.2	-16.50	12.20	-201.30
G4	5.5*0.4*2.2	-4.84	12.45	-60.26
G5	3*0.6*2.2	-3.96	12.20	-48.31
G6	1.2*6.7*2.2	-17.69	9.10	-160.96
G7	1/2*6.7*6.7*2.2	-49.38	6.25	-308.62
G8	0.6*4*2.2	-5.28	4.85	-25.61
G9	3.1*5.7*2.2	-38.87	2.85	-110.79
G10	3*1.5*2.2	-9.90	2.20	-21.78
G11	0.4*0.7*2.2	-0.62	0.35	-0.22
G12	1/2*0.7*0.7	-0.25	0.47	-0.12
G13	1/2*3*2	-3.00	10.70	-32.10
		-		
		151.96		-1010.12

(Sumber : Perhitungan)

b. Gaya gempa

Persamaan :

$$a_d = n (a_c * z)^m$$

$$E = a_d / g$$

Dimana :

$$a_d = \text{percepatan gempa rencana (cm/dtk}^2\text{)}$$

$$n, m = \text{koefisien jenis tanah (1,56 dan 0,89)}$$

$$a_c = \text{percepatan gempa dasar} = 160 \text{ cm/dtk}^2$$

$$E = \text{koefisien gempa}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/dtk}^2$$

$$z = \text{faktor yang tergantung pada letak geografis} = 0,56$$

Perhitungan :

$$a_d = 1,56 (160 * 0,56)^{0,89}$$

$$= 85,25 \text{ cm/dtk}^2$$

$$E = 85,25 / 980$$

$$= 0,87 \approx 0,1$$

Dari koefisien gempa di atas, maka dapat dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gaya gempa dengan persamaan berikut :

$$K = E * G$$

Dimana :

$$K = \text{gaya akibat gempa (ton)}$$

$$E = \text{koefisien gempa}$$

$$G = \text{berat bangunan (ton)}$$

Pada tabel di bawah ini disajikan perhitungan gaya dan momen akibat pengaruh gempa :

Tabel 5.8. Gaya Akibat Pengaruh Gempa

Gaya	G	K	Lengan Momen	Moment gempa
K1	2.20	0.220	4.40	0.97
K2	2.48	0.248	5.40	1.34
K3	16.50	1.650	5.65	9.32
K4	4.84	0.484	4.70	2.27

K5	1.32	0.132	4.20	0.55
K6	17.69	1.769	5.85	10.35
K7	49.38	4.938	4.73	23.36
K8	5.28	0.528	2.20	1.16
K9	38.87	3.887	1.15	4.47
K10	9.90	0.990	0.15	0.15
K11	0.62	0.062	0.20	0.01
K12	0.25	0.025	0.23	0.01
		14.93		53.96

(Sumber : Perhitungan)

c. Gaya uplift pressure

Perhitungan *uplift pressure* memakai rumus :

$$P_x = (H_x - (\frac{L_x}{L} * \Delta H)) * \gamma_w \text{ (T/m}^2\text{)}$$

Dimana :

P_x = Gaya angkat pada titik x (T/m²)

H_x = Tinggi titik yang ditinjau ke muka air atau tinggi energi di hulu pelimpah (m)

L_x = Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

ΔH = Beda tinggi energi (m)

L = Panjang total bidang kontak bangunan dan tanah bawah (m)

Tabel 5.9. Perhitungan Jalur Rembesan dan Tekanan Air Kondisi Air Normal

Titik	Garis	Rembesan				ΔH	H	$P_x = H - \Delta H$
		L_v	L_H	$1/3 L_H$	L_x			
		m	m	m	m	T/m ²	T/m ²	T/m ²
A1					0	0.00	4.30	4.30
	A1 - A2	1.00						
A2					1	0.25	5.30	5.05
	A2 - A3		0.50	0.17				
A3					1.17	0.30	5.30	5.00
	A3 - A4	0.60						
A4					1.77	0.45	4.70	4.25
	A4 - A5		3.00	1.00				
A5					2.77	0.70	4.70	4.00
	A5 - A6	0.60						
A6					3.37	0.85	5.30	4.45
	A6 - A7		1.00	0.33				
A7					3.70	0.94	5.30	4.36

	A7 - A8	0.60						
A8					4.30	1.09	4.70	3.61
	A8 - A9		2.50	0.83				
A9					5.13	1.30	4.70	3.40
	A9 - A10	0.60						
A10					5.73	1.46	5.30	3.84
	A10 - A	4.00						
A					9.73	2.47	7.30	4.83
	A - B		4.00	1.33				
B					11.07	2.81	7.30	4.49
	B - C	1.50						
C					12.57	3.19	8.80	5.61
	C - D		2.00	0.67				
D					13.23	3.36	8.80	5.44
	D - E	1.10						
E					14.33	3.64	9.90	6.26
	E - F		3.00	1.00				
F					15.33	3.89	9.90	6.01
	F - G	0.99						
G					16.32	4.14	9.20	5.06
	G - H		4.34	1.45				
H					17.77	4.51	9.20	4.69
	H - I	0.99						
I					18.76	4.76	9.90	5.14
	I - J		1.50	0.50				
J					19.26	4.89	9.90	5.01
	J - K	4.00						
K					23.26	5.90	5.90	0.00
	Jumlah	15.98		7.28				

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.10. Uplift Pressure Kondisi Muka Air Normal

Gaya	Luas * Tekanan	Gaya Vertikal	Lengan Momen	Momen Vertikal
U1	$1/2*(4.45+4.36)*1$	4.405	15.75	69.38
U2	$1/2*(3.61+3.4)*2.5$	8.763	13.95	122.24
U3	$3.84*3$	11.520	11.20	129.02
	$1/2*(4.83-3.84)*3$	1.485	10.70	15.89
U4	$1/2*(4.83+4.49)*2$	9.320	7.70	71.76
U5	$1/2*(5.61+5.44)*2$	11.050	4.70	51.94
U6	$1/2(6.26+6.01)*3$	18.405	2.20	40.49
U7	$5.06*0.7$	3.542	0.35	1.24
	$1/2*(6.01-5.06)*0.7$	0.33	0.47	0.16
	Jumlah	40.26		180.08

(Sumber : Perhitungan)

d. Gaya hidrostatis

- Tekanan hidrostatis

$$Ph_1 = H * \gamma_w$$

- Gaya tekan hidrostatis

$$Fh = \frac{1}{2} \times Ph \times H \times 1$$

Tabel 5.11. Gaya Hidrostatis Kondisi Air Normal

Gaya	Luas * Tekanan	Gaya Vertikal	Gaya Horizontal	Lengan Momen	Momen Horizontal	Momen Vertikal
W1	1/2*4.3*4.3	-	9.25	7.03	64.992	-
W2	6.5*3.8	-24.70	-	12.95	-	-319.865
W3	1/2*1.5*1.5	-1.13	-	15.70	-	-17.663
		-25.83	9.25		64.99	-337.53

(Sumber : Perhitungan)

e. Gaya akibat tekanan tanah

Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Pa = \gamma_s \cdot Ka \cdot H - 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } Ka &= \tan^2 (45^\circ - \Phi/2) \\ &= \tan^2 (45^\circ - 30/2) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa &= 1,24 * 0,333 * 5,2 - 2 * 0,6 \sqrt{0,333} \\ &= 1,455 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Pp = \gamma_s \cdot Kp \cdot H + 2 \cdot C \cdot \sqrt{Kp}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } Kp &= \tan^2 (45 + \Phi/2) \\ &= \tan^2 (45 + 30/2) \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp &= 1,24 * 3 * 0,7 + 2 * 0,6 \cdot \sqrt{3} \\ &= 4,682 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dimana :

P_a = tekanan tanah aktif

P_p = tekanan tanah pasif

Φ = sudut geser dalam = 30°

g = gravitasi bumi = $9,8 \text{ m/detik}^2$

H = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ_s = berat jenis tanah jenuh air = $1,24 \text{ ton/m}^3$

γ_w = berat jenis air = $1,0 \text{ ton/m}^3$

Tabel 5.12. Gaya Akibat Tekanan Tanah

Gaya	Besar Gaya	Lengan Momen	Momen Horizontal
P_a	1.455	1.73	2.51715
P_p	-4.682	0.23	-1.07686

(Sumber : Perhitungan)

f. Gaya akibat tekanan lumpur

Gaya yang diakibatkan oleh tekanan lumpur yang diperhitungkan untuk mengetahui sejauh mana tekanan lumpur yang ada terjadi pada tubuh bendung.

Endapan lumpur diperhitungkan setinggi mercu, tekanan lumpur yang bekerja pada muka hulu pelimpah dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_s = \frac{\gamma_s x h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$

Dimana :

P_s = gaya yang terletak pada $2/3$ kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara normal

ϕ = sudut geser dalam (30°)

γ_s = berat jenis lumpur = $1,6 \text{ ton/m}^3$

h = kedalaman lumpur (m) = $4,3 \text{ m}$

Jadi tekanan lumpur besarnya adalah

$$P_{sv} = \frac{1,6 \times 4,3^2}{2} = 14,792 \text{ T/m}^2$$

$$P_{sh} = \frac{1,6 \times 4,3^2}{2} \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 4,93 \text{ T/m}^2$$

Besarnya momen akibat lumpur adalah

$$MP_s = P_s \times \text{Jarak dari titik O}$$

$$MP_{sv} = 102,15 \times 23 = 2349,45 \text{ Tm.}$$

$$MP_{sh} = 34,05 \times 18,03 = 613,93 \text{ Tm.}$$

Tabel 5.13. Gaya Akibat Tekanan Lumpur

Gaya	Gaya Horisontal	Gaya Vertikal	Lengan Momen	Momen Horizontal	Momen Vertikal
Psv	-	-14.792	12.95	-	-191.5564
Psh	4.93	-	7.03	34.6579	-

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.14. Rekapitulasi Gaya Yang Bekerja Pada Kondisi Air Normal

Gaya	Gaya		Momen	
	Horisontal	Vertikal	Guling	Penahan
Gaya akibat berat sendiri	-	-151.957		-1010.119
Gaya akibat gempa	15.196	-	55.067	-
Gaya akibat uplift pressure	-	40.260	180.080	-
Gaya akibat tekanan hidrostatik	9.245	-25.825	64.992	-337.528
Gaya akibat tekanan tanah aktif	1.455	-	2.517	-
Gaya akibat tekanan tanah pasif	-4.682	-	-	-1.077
Gaya akibat tekanan lumpur	4.930	-14.792	34.658	-191.556
Jumlah	26.144	-152.314	337.314	-1540.280

(Sumber : Perhitungan)

Setelah dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bendung maka dilakukan kontrol stabilitas yaitu :

a. Kontrol terhadap guling

Untuk mengetahui nilai SF (faktor keamanan) bangunan bendung terhadap guling, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MG}$$

Dimana :

SF = Faktor keamanan

ΣMR = Jumlah momen penahan (t.m)

ΣMG = Jumlah momen guling (t.m)

$$SF = \frac{1540,280}{337,314} \geq 1,5$$

$$= 4,57 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

Dengan didapatkannya nilai SF = 4,57 maka bangunan yang ada dinyatakan aman terhadap bahaya guling.

b. Kontrol terhadap geser

Guna mengetahui stabilitas bendung terhadap bahaya geser, maka ditinjau dengan menggunakan rumus :

$$SF = \frac{f \sum(V - U)}{\sum H}$$

Dimana :

SF = Faktor keamanan

$\Sigma(V-U)$ = Jumlah gaya vertikal dikurangi gaya *uplift pressure* (t)

ΣH = Jumlah gaya horisontal yang bekerja pada bangunan bendung (t)

$$SF = \frac{192,574}{26,144} 0,75 \geq 1,5$$

$$= 5,52 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

Dari hasil perhitungan nilai SF = 5,52 dengan demikian bangunan yang ada dinyatakan aman terhadap bahaya geser.

c. Kontrol terhadap daya dukung tanah

Besarnya daya dukung tanah dipengaruhi oleh dalamnya pondasi, lebarnya pondasi, berat isi tanah, sudut geser dalam dan kohesi dari tanah. Berikut perhitungan daya dukung tanah :

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma V} - \frac{L}{2} \leq L/6$$

$$= \frac{1202,966}{152,314} - \frac{16,2}{2} \leq \frac{16,2}{6}$$

$$= 0,202 \text{ m} < 2,7 \text{ m (Aman)}$$

$$\sigma_1 = \frac{\Sigma V}{L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \leq \sigma'$$

$$= \frac{152,966}{16,2} \left(1 + \frac{6 * 0,202}{16,2} \right)$$

$$= 11,383 \text{ T/m}^2 < 58,98 \text{ T/m}^2 \text{ (Aman)}$$

$$\sigma_2 = \frac{\Sigma V}{L} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) \leq \sigma'$$

$$= \frac{152,966}{16,2} \left(1 - \frac{6 * 0,202}{16,2} \right)$$

$$= 9,626 \text{ T/m}^2 > 0 \text{ T/m}^2 \text{ (Aman)}$$

2. Analisis stabilitas saat kondisi air banjir

Pada saat bendung pada kondisi air banjir maka gaya-gaya yang bekerja ada yang mengalami perubahan gaya uplift pressure, gaya hidrostatik, sementara gaya-gaya yang tetap adalah gaya akibat berat sendiri, gaya akibat pengaruh gempa, gaya akibat tekanan tanah, gaya akibat tekanan lumpur.

a. Gaya uplift pressure

Perhitungan *uplift pressure* memakai rumus :

$$P_x = \left(H_x - \left(\frac{L_x}{L} * \Delta H \right) \right) * \gamma_w \text{ (T/m}^2\text{)}$$

Dimana :

P_x = Gaya angkat pada titik x (T/m²)

H_x = Tinggi titik yang ditinjau ke muka air atau tinggi energi di hulu pelimpah (m)

L_x = Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

ΔH = Beda tinggi energi (m)

L = Panjang total bidang kontak bangunan dan tanah bawah
(m)

Tabel 5.15. Perhitungan Jalur Rembesan dan Tekanan Air Kondisi Air Banjir

Titik	Garis	Rembesan				ΔH	H	$P_x = H - \Delta H$
		L_V	L_H	$1/3 L_H$	L_x			
		m	m	m	m	T/m ²	T/m ²	T/m ²
A1					0.00	0.00	5.40	5.40
	A1 - A2	1.00						
A2					1.00	0.30	6.40	6.10
	A2 - A3		0.50	0.17				
A3					1.17	0.35	6.40	6.05
	A3 - A4	0.60						
A4					1.77	0.53	5.80	5.27
	A4 - A5		3.00	1.00				
A5					2.77	0.83	5.80	4.97
	A5 - A6	0.60						
A6					3.37	1.01	6.40	5.39
	A6 - A7		1.00	0.33				
A7					3.70	1.11	6.40	5.29
	A7 - A8	0.60						
A8					4.30	1.30	5.80	4.50
	A8 - A9		2.50	0.83				
A9					5.13	1.55	5.80	4.25
	A9 - A10	0.60						
A10					5.73	1.73	6.40	4.67
	A10 - A	4.00						
A					9.73	2.93	8.40	5.47
	A - B		4.00	1.33				
B					11.07	3.33	8.40	5.07
	B - C	1.50						
C					12.57	3.79	9.90	6.11
	C - D		2.00	0.67				
D					13.23	3.99	9.90	5.91
	D - E	1.10						
E					14.33	4.32	11.00	6.68
	E - F		3.00	1.00				
F					15.33	4.62	11.00	6.38
	F - G	0.99						
G					16.32	4.92	10.30	5.38
	G - H		4.34	1.45				
H					17.77	5.35	10.30	4.95
	H - I	0.99						
I					18.76	5.65	11.00	5.35
	I - J		1.50	0.50				
J					19.26	5.80	11.00	5.20

	J - K	4.00						
K					23.26	7.00	7.00	0.00
	Jumlah	15.98		7.28				

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.16. Gaya Uplift Pressure Kondisi Air Banjir

Gaya	Luas * Tekanan	Gaya Vertikal	Lengan Momen	Momen Vertikal
U1	$1/2*(5.39+5.29)*1$	5.34	15.75	84.11
U2	$1/2*(4.50+4.25)*2.5$	10.94	13.95	152.58
U3	$4.67*3$	14.01	11.20	156.91
	$1/2*(5.47-3.84)*2$	1.63	10.70	17.44
U4	$1/2*(5.47+5.07)*2$	10.54	7.70	81.16
U5	$1/2*(6.11+5.91)*2$	12.02	4.70	56.49
U6	$1/2*(6.68+6.38)*3$	19.59	2.20	43.10
U7	$5.38*0.7$	3.77	0.35	1.32
	$1/2*(6.38-5.38)*0.7$	0.35	0.47	0.165
	Jumlah	74.07		593.10

(Sumber : Perhitungan)

b. Gaya hidrostatis

- Tekanan hidrostatis

$$Ph_1 = H * \gamma_w$$

$$Ph_1 = 1/2 * H^2 * \gamma_w$$

- Gaya tekan hidrostatis

$$Fh = \frac{1}{2} * Ph * H * l$$

Tabel 5.17. Gaya Hidrostatis Kondisi Air Banjir

Gaya	Luas * Tekanan	Gaya Vertikal	Gaya Horizontal	Lengan Momen	Momen Horizontal	Momen Vertikal
W1	$1/2*4.3*4.3$	-	9.25	7.03	33.25	-
W2	$1.1*4.3$	-	4.73	7.75	71.65	-
W3	$6.5*3.8$	-24.70	-	12.95	-	-319.87
W4	$1/2*1.5*1.5$	-1.13	-	15.70	-	-17.66
W5	$1.2*1.1$	-1.32	-	9.10	-	-12.01
W6	$9.5*1.1$	-10.45	-	5.13	-	-53.61
W7	$1/2*1.72*1.71$	-1.47	-	2.33	-	-3.43
W8	$1.71*1.76$	-3.01	-	0.88	-	-2.65
W9	$1.1*1.76$	-1.94	-	0.88	-	-1.70
		-44.01	13.98		104.90	-410.93

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.18. Rekapitulasi Gaya Yang Bekerja Pada Kondisi Air Banjir

Gaya	Gaya		Momen	
	Horisontal	Vertikal	Guling	Penahan
Gaya akibat berat sendiri	-	-151.957	-	-1010.119
Gaya akibat gempa	15.196	-	55.067	-
Gaya akibat uplift pressure	-	74.07	593.104	-
Gaya akibat tekanan hidrostatis	13.975	-44.011	104.901	-410.927
Gaya akibat tekanan tanah aktif	1.455	-	2.517	-
Gaya akibat tekanan tanah pasif	-4.682	-	-	-1.077
Gaya akibat tekanan lumpur	4.930	-14.792	34.658	-191.556
JUMLAH	30.874	-136.693	790.247	-1613.679

(Sumber : Perhitungan)

Setelah dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bendung maka dilakukan kontrol stabilitas yaitu :

a. Kontrol terhadap guling

Untuk mengetahui nilai SF (faktor keamanan) bangunan bendung terhadap guling, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MG}$$

Dimana :

SF = Faktor keamanan

ΣMR = Jumlah momen penahan (t.m)

ΣMG = Jumlah momen guling (t.m)

$$SF = \frac{1613,679}{790,247} \geq 1,5$$

$$= 2,04 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

Dengan didapatkannya nilai SF = 2,04 maka bangunan yang ada dinyatakan aman terhadap bahaya guling.

b. Kontrol terhadap geser

Guna mengetahui stabilitas bendung terhadap bahaya geser, maka ditinjau dengan menggunakan rumus :

$$SF = \frac{f \sum(V - U)}{\sum H}$$

Dimana :

SF = Faktor keamanan

$\sum(V-U)$ = Jumlah gaya vertikal dikurangi gaya *uplift pressure* (t)

$\sum H$ = Jumlah gaya horisontal yang bekerja pada bangunan bendung (t)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{210,760}{30,874} 0,75 \geq 1,5 \\ &= 5,12 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai SF = 5,12 dengan demikian bangunan yang ada dinyatakan aman terhadap bahaya geser.

c. Kontrol terhadap daya dukung tanah

Besarnya daya dukung tanah dipengaruhi oleh dalamnya pondasi, lebarnya pondasi, berat isi tanah, sudut geser dalam dan kohesi dari tanah. Berikut perhitungan daya dukung tanah :

$$\begin{aligned} e &= \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{L}{2} \leq L/6 \\ &= \frac{823,432}{136,693} - \frac{16,2}{2} \leq \frac{16,2}{6} \\ &= 2,076 \text{ m} < 2,70 \text{ m (Aman)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\sum V}{L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \leq \sigma' \\ &= \frac{136,693}{16,2} \left(1 + \frac{6 * 2,076}{16,2} \right) \\ &= 17,525 \text{ T/m}^2 < 58,98 \text{ T/m}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{\Sigma V}{L} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) \leq \sigma' \\ &= \frac{136,693}{16,2} \left(1 - \frac{6 * 2,076}{16,2} \right) \\ &= 1,329 \text{ T/m}^2 > 0 \text{ T/m}^2 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

- d. kontrol terhadap erosi tanah bawah (pipng)
 untuk mencegah pecahna bagian hilir bangunan, harga keamanan terhadap erosi tanah sekrang-kurangnya 2.

$$Sf = \frac{s(1 + a/s)}{hs} > 2$$

Dimana :

Sf = Faktor keamanan.

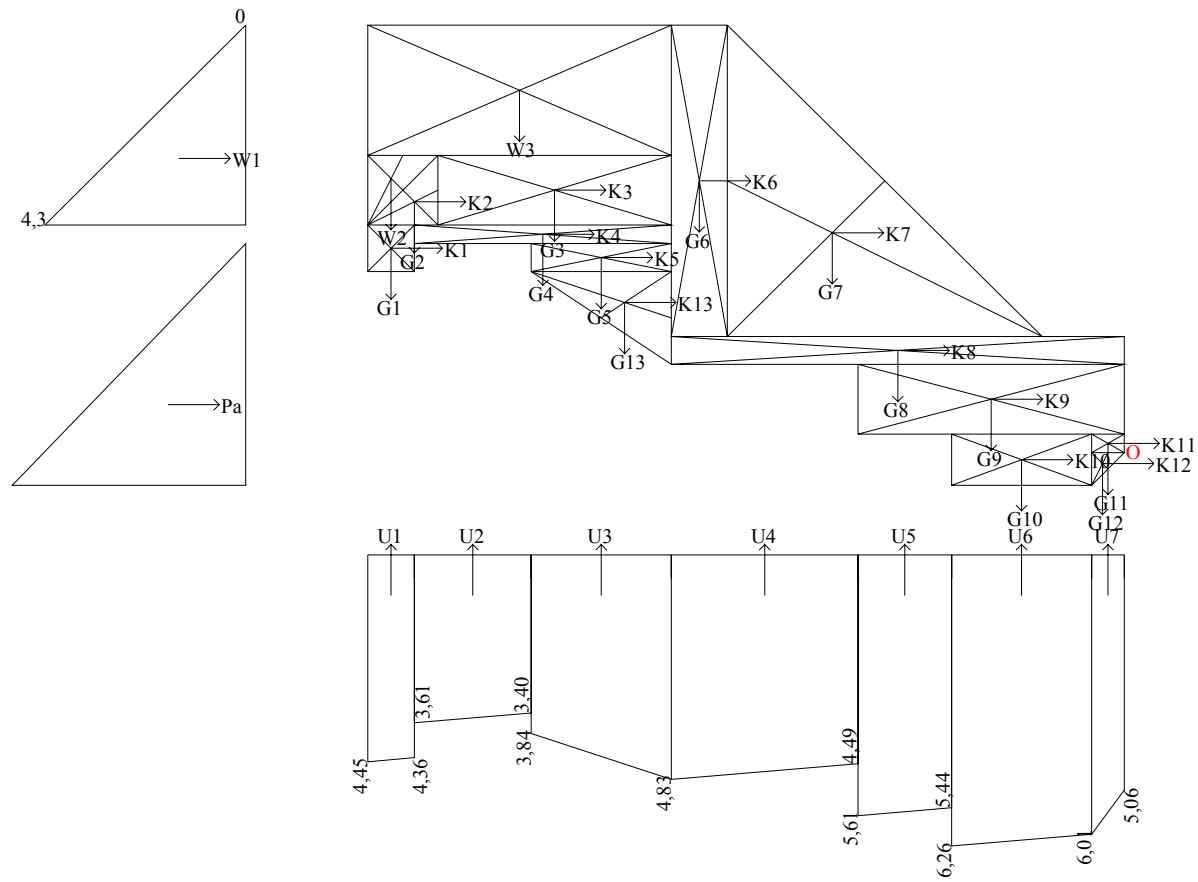
s = Kedalaman tanah = 4 m

a = Tebal lapisan lindung, misal a = 0

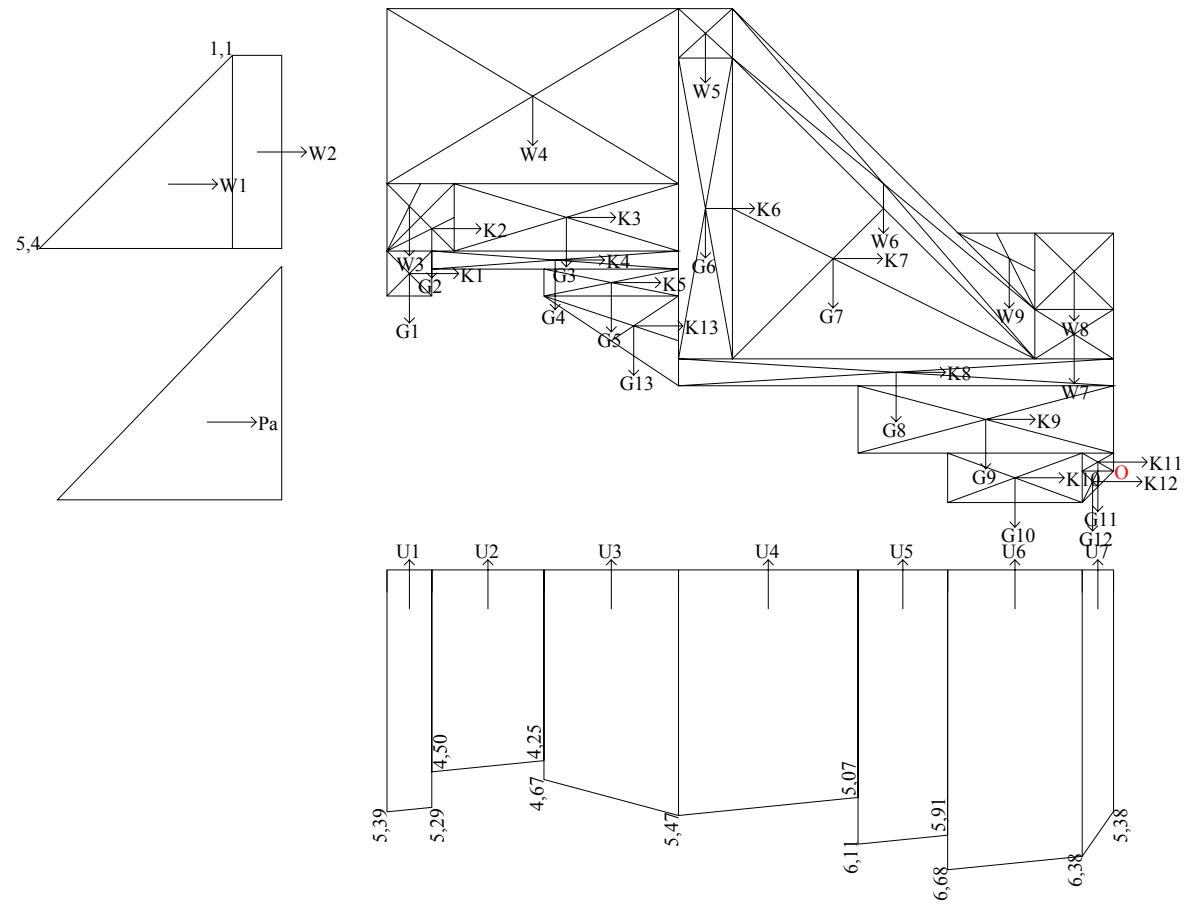
hs = Tekanan air pada titik O = 5,1 – 4 = 1,1

Perhitungan :

$$\begin{aligned}Sf &= \frac{s(1 + a/s)}{hs} \\ &= \frac{4(1 + 0/4)}{1,1} = 3,64 > 2\end{aligned}$$



Gambar.24. Gaya-Gaya Pada Kondisi Air Normal



Gambar.25. Gaya-Gaya Pada Kondisi Air Banjir