

### 4.3 Analisis Hidrolika

#### 4.3.1 Data Perencanaan

Data yang digunakan dalam perencanaan bangunan pelimpah tipe pelimpah langsung adalah sebagai berikut:

- Bangunan pelimpah pada embung Guworejo direncanakan dengan kala ulang 50 tahun. Jadi debit banjir rencananya adalah  $Q_{50} = 15,104 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
- Elevasi muka air normal waduk pada mercu pelimpah setinggi +140,50 m.
- Tinggi ambang pelimpah ( $w$ ) direncanakan setinggi 4 m.

#### 4.3.2 Koefisien Debit Pelimpah

Koefisien debit pelimpah ( $C$ ) dari ambang pelimpah dapat diperoleh dengan rumus Iwasaki (Bendungan Type Urugan, Suyono Sosrodarsono, 1987:182). Perhitungan koefisien debit dilakukan dengan cara coba-coba, dimana harga  $C$  diasumsikan sebesar 2.

$$Hd = \left(\frac{Q}{C.L}\right)^{2/3} = \left(\frac{14,63}{2,4,3,5}\right)^{2/3} = 1,59 \text{ m}$$

Pada saat  $h = Hd$  dan  $C = Cd$ , maka:

$$a = \frac{0,6 - 0,0416 \cdot \left(\frac{Hd}{w}\right)^{0,99}}{1,0 + 0,0416 \cdot \left(\frac{Hd}{w}\right)^{0,99}}$$

$$a = \frac{0,6 - 0,0416 \cdot \left(\frac{1,223}{12}\right)^{0,99}}{1,0 + 0,0416 \cdot \left(\frac{1,223}{12}\right)^{0,99}} = 0,589 \text{ m}$$

$$C = 1,6 \frac{1 + 2a\left(\frac{h}{Hd}\right)}{1 + a\left(\frac{h}{Hd}\right)}$$

$$C = 1,6 \frac{1 + 2 \cdot 0,579 \cdot \left(\frac{1,223}{1,223}\right)}{1 + 0,579 \cdot \left(\frac{1,223}{1,223}\right)} = 2,19$$

Karena  $C$  asumsi belum sama dengan  $C$  hitung, maka dilakukan dengan cara coba-coba harga  $C$  sampai diperoleh harga  $C$  yang sama. Perhitungan coba-coba selanjutnya ditabelkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Perhitungan coba-coba harga koefisien debit ( $C$ )

C asumsi	Hd (m)	a	C hitung
2	1,595	0,589	2,193
2,194	1,590	0,589	2,193
2,195	1,590	0,589	2,193

Sumber : Hasil Pehitungan

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.63, diperoleh harga  $h = H_d = 1,56$  m yaitu sebesar 2,19.

### 4.3.3 Panjang Efektif Pelimpah

Panjang efektif pelimpah dihitung dengan mempertimbangkan jumlah pilar dan bentuk tumpuan pilar. Rumus untuk menghitung panjang efektif pelimpah adalah sebagai berikut:

$$L_{\text{eff}} = L' - 2 \cdot (N \cdot K_p + K_a) \cdot H_d$$

### 4.3.4 Debit Melalui Pelimpah

Debit yang melauai pelimpah dihitung berdasarkan interval muka air setinggi 0,2 m diatas mercu pelimpah. Rumus untuk mencari debit pelimpah adalah sebagai berikut:

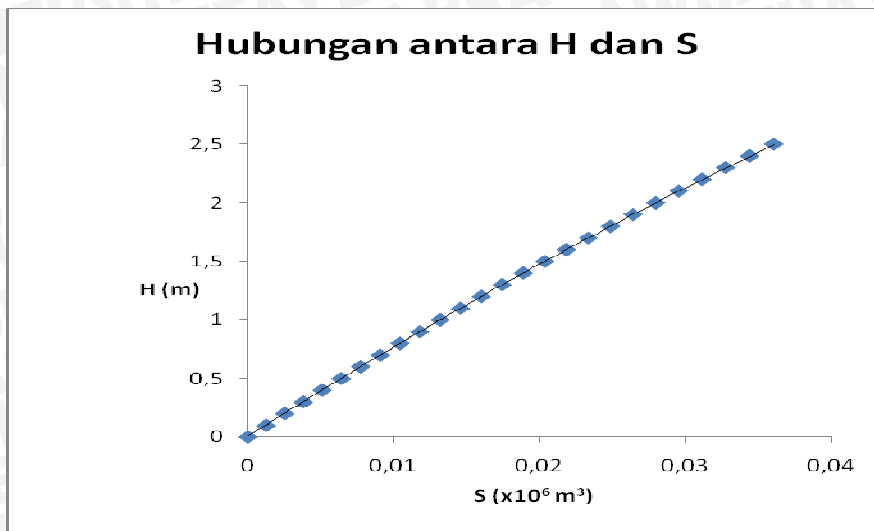
$$Q = L_{\text{eff}} \cdot C \cdot h^{3/2}$$

Hasil perhitungan yang menggambarkan hubungan antara C-L-Q dapat dilihat pada Tabel 4.22. Dari perhitungan pada Tabel 4.22, dapat digambarkan grafik hubungan antara Q-h pada Gambar 4.4, dan hubungan antara Q- $\Psi$  pada Gambar 4.5

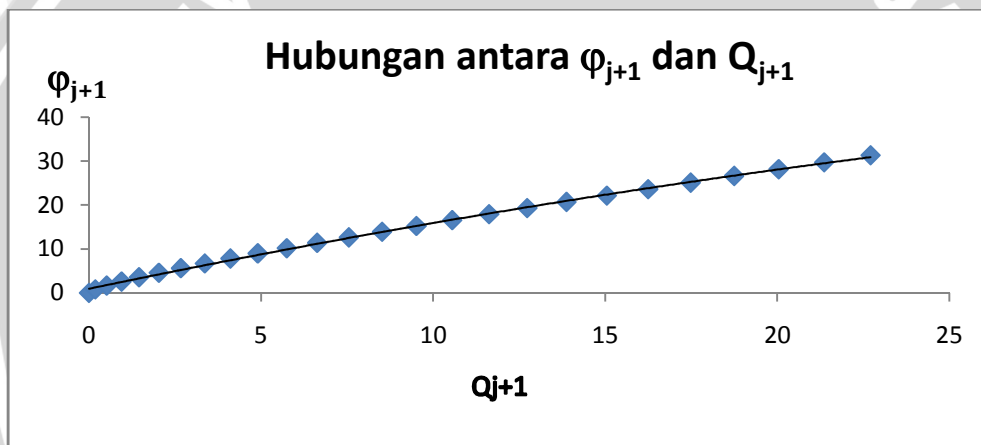
Tabel 4.22. Hubungan  $L_{\text{eff}}$ -C-Q di atas ambang pelimpah

Elevasi (m)	H (m)	S ( $\times 10^6$ m <sup>3</sup> )	S/ $\Delta t$ (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	S/ $\Delta t + Q/2$ (m <sup>3</sup> /s)	S/ $\Delta t - Q/2$ (m <sup>3</sup> /s)
140,5	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
140,6	0,1	0,001252171	0,69565	0,23350	0,81240	0,57890
140,7	0,2	0,002517728	1,39874	0,66045	1,72896	1,06851
140,8	0,3	0,003796956	2,10942	1,21332	2,71608	1,50276
140,9	0,4	0,005090145	2,82786	1,86804	3,76188	1,89384
141	0,5	0,00639758	3,55421	2,61066	4,85954	2,24888
141,1	0,6	0,00771955	4,28864	3,43180	6,00454	2,57274
141,2	0,7	0,009056343	5,03130	4,32456	7,19358	2,86902
141,3	0,8	0,010408244	5,78236	5,28360	8,42416	3,14056
141,4	0,9	0,011775543	6,54197	6,30462	9,69428	3,38966
141,5	1	0,013158525	7,31029	7,38406	11,00232	3,61826
141,6	1,1	0,014557479	8,08749	8,51891	12,34694	3,82803
141,7	1,2	0,015972693	8,87372	9,70660	13,72702	4,02042
141,8	1,3	0,017404453	9,66914	10,94486	15,14157	4,19671
141,9	1,4	0,018853047	10,47391	12,23171	16,58977	4,35806
142	1,5	0,020318762	11,28820	13,56538	18,07089	4,50551

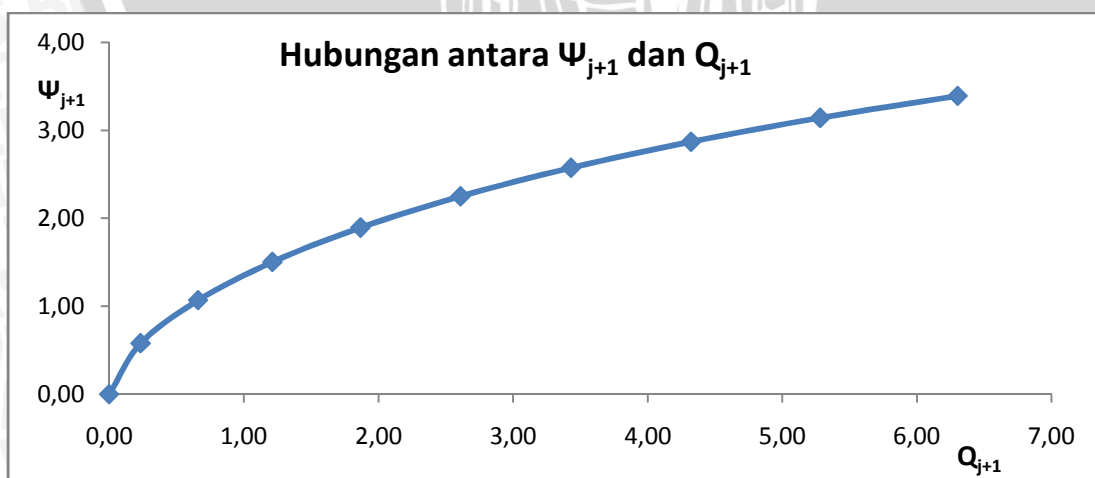
Sumber : Hasil Pehitungan



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara Q-h



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara Q- $\phi$



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara Q- $\psi$

#### 4.3.5 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

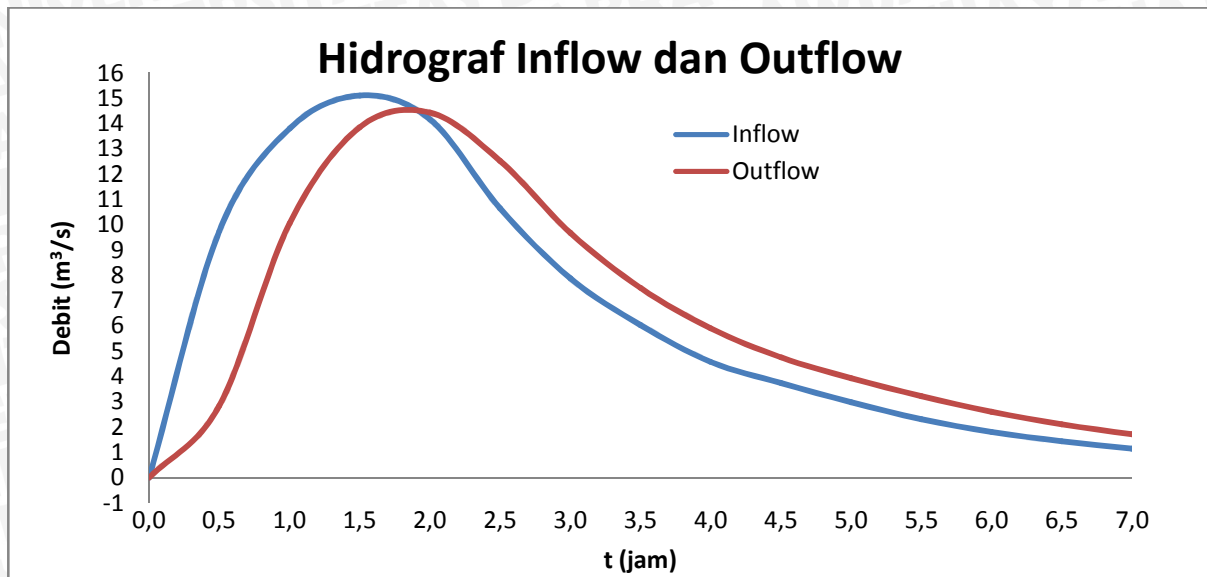
Penelusuran banjir (*floodrouting*) lewat waduk dimaksudkan untuk menganalisa faktor retensi waduk jika dilewati banjir dengan peluang kejadian tertentu. Penelusuran banjir di sini dianalisa jika fasilitas outlet yang ada adalah pelimpah.

Perhitungan penelusuran banjir diatas ambang pelimpah untuk debit banjir rencana Q50 dapat dilihat pada Tabel 4.23. dari perhitungan penelusuran banjir tersebut, dicari besarnya elevasi muka air banjir maksimum yang terjadi. Dari hasil pehitungan penelusuran banjir diatas ambang pelimpah, dapat digambarkan grafik hubungan antara debit inflow dan outflow dengan waktu tiap jamnya. Grafik hubungan antara Q-t dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4.23. Perhitungan penelusuran banjir di atas ambang pelimpah untuk debit rencana Q50

t (jam)	I <sub>j</sub> (m <sup>3</sup> /s)	(I <sub>j</sub> + I <sub>j+1</sub> )/2 (m <sup>3</sup> /s)	S <sub>j</sub> /Δt - Q <sub>j</sub> /2 (m <sup>3</sup> /s)	S <sub>j+1</sub> /Δt + Q <sub>j+1</sub> /2 (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>j</sub> (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	S (x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,00				0,00	0,00	0,00000
0,5	9,74	4,87	0,00	4,87	2,84	0,53	0,00676
1,0	13,80	11,77	2,33	14,11	10,06	1,23	0,01638
1,5	15,10	14,45	4,07	18,52	13,85	1,52	0,02063
2,0	14,17	14,64	4,53	19,17	14,43	1,56	0,02125
2,5	10,65	12,41	4,59	17,00	12,52	1,42	0,01917
3,0	7,88	9,26	4,39	13,65	9,68	1,20	0,01593
3,5	6,04	6,96	4,01	10,97	7,50	1,01	0,01329
4,0	4,58	5,31	3,63	8,94	5,91	0,86	0,01123
4,5	3,74	4,16	3,28	7,45	4,76	0,75	0,00965
5,0	2,99	3,37	2,98	6,35	3,94	0,66	0,00846
5,5	2,32	2,65	2,73	5,39	3,22	0,58	0,00737
6,0	1,81	2,06	2,48	4,55	2,61	0,50	0,00637
6,5	1,44	1,63	2,24	3,86	2,11	0,43	0,00552
7,0	1,15	1,30	2,01	3,31	1,72	0,38	0,00479
7,5	0,92	1,04	1,80	2,84	1,39	0,33	0,00414
8,0	0,74	0,83	1,61	2,44	1,10	0,28	0,00355
8,5	0,59	0,67	1,42	2,09	0,86	0,24	0,00300
9,0	0,48	0,54	1,24	1,78	0,64	0,20	0,00246
9,5	0,39	0,43	1,05	1,48	0,43	0,15	0,00191
10,0	0,31	0,35	0,84	1,19	0,23	0,10	0,00127
10,5	0,25	0,28	0,59	0,87	0,01	0,01	0,00021
11,0	0,20	0,23	0,11	0,34	0,01	0,01	0,00018
11,5	0,16	0,18	0,10	0,28	0,01	0,01	0,00018
12,0	0,13	0,15	0,10	0,24	0,01	0,01	0,00018
12,5	0,11	0,12	0,10	0,21	0,01	0,01	0,00018

Sumber : Hasil Pehitungan



Gambar 4.7. Grafik inflow dan outflow debit banjir Q50

#### 4.3.6 Perencanaan Mercu

Perencanaan mercu menggunakan data hasil perhitungan penelusuran banjir di atas ambang pelimpah, dimana digunakan Q outflow untuk banjir rencana Q50 sebesar 14,43 m³/detik dan elevasi muka air maksimum setinggi +142,06 m. Langkah-langkah perhitungan untuk perencanaan ambang pelimpah adalah sebagai berikut:

- Menghitung tinggi muka air diatas ambang pelimpah (Hd)

$$\begin{aligned}
 Hd &= \text{Elevasi muka air banjir maksimum} - \text{Elevasi ambang pelimpah} \\
 &= 142,06 - 140,50 \\
 &= 1,56 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Merencanakan bentuk profil bagian muka dari ambang pelimpah

$$Xu = 0,282 \cdot Hd = 0,282 \cdot 1,56 = 0,443 \text{ m}$$

$$Xu1 = 0,175 \cdot Hd = 0,175 \cdot 1,56 = 0,275 \text{ m}$$

$$Xu2 = 0,107 \cdot Hd = 0,107 \cdot 1,56 = 0,168 \text{ m}$$

$$R1 = 0,500 \cdot Hd = 0,500 \cdot 1,56 = 0,786 \text{ m}$$

$$R2 = 0,200 \cdot Hd = 0,200 \cdot 1,56 = 0,315 \text{ m}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{Xu1}{R1} = 34,33 = 34^{\circ}19'46,93''$$

$$a = (R1 - R2) \cdot \sin \theta = 0,263$$

$$b = Xu - a = 0,176$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{b}{R2} = 34,45 = 34^{\circ}27'11,92''$$

$$Yu1 = R1 \cdot (1 - \cos \theta_1) = 0,136 \text{ m}$$

$$Y_{u2} = R_1 - (R_1 - R_2) \cdot \cos \theta_1 - \cos \theta_2 = 0,432 \text{ m}$$

Merencanakan lengkung bagian hilir ambang pelimpah. Menurut USBR untuk bentuk pelimpah tipe OGEE dengan kemiringan hulu 1 : 0 (tegak), digunakan persamaan lengkung ambang pelimpah  $X^{1,85} = 2 \cdot Hd^{0,85} \cdot Y$ .

$$Y = \frac{X^{1,85}}{2Hd^{0,85}} = \frac{X^{1,85}}{2(1,56)^{0,85}} = \frac{X^{1,85}}{2,911}$$

Direncanakan kemiringan bagian hilir pelimpah setelah melewati bagian melengkung adalah 1 : 0,7. Batas akhir lengkung dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1,85X^{0,85}}{2,911} = \frac{1}{0,7}$$

$$X = \sqrt[0,85]{\frac{2,911}{0,7 \cdot 1,85}} = 2,59$$

$$Y = \frac{2,59^{1,85}}{2,911} = 2,00$$

$$E_0 = E_1$$

Persamaan Energinya

$$P + H_e = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } V_1 &= \frac{Q}{A} \rightarrow A = 4,11 \times y_1 \\ &= \frac{14,43}{3,36 \times y_1} \\ &= \frac{4,29}{y_1} \end{aligned}$$

Tabel 4.24. Hubungan Elevasi dan Tinggi Pelimpah

X (m)	Y (m)	Elevasi (m)
0,00	0,000	140,50
0,25	0,026	140,47
0,50	0,095	140,41
0,75	0,202	140,30
1,00	0,343	140,16
1,25	0,519	139,98
1,50	0,727	139,77
1,75	0,967	139,53
2,00	1,238	139,26
2,25	1,539	138,96
2,50	1,871	138,63
2,61	2,013	138,49

Sumber : Hasil Pehitungan



$$2,01 + 1,636 = y_1 + \left[ \frac{\left( \frac{4,28}{y_1} \right)^2}{19,62} \right]$$

$$3,65 = y_1 + \frac{0,935}{y_1^2} \dots \times y_1^2$$

$$y_1^3 - 3,65 y_1^2 + 0,935 = 0$$

Dengan cara coba-coba diperoleh nilai  $y_1 = 0,550$  m

Sehingga :

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{14,43}{3,37 \times y_1} \\ &= \frac{14,43}{3,37 \times 0,550} \\ &= 7,80 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

#### 4.3.7 Analisis Saluran Transisi

Saluran transisi direncanakan agar debit banjir rencana yang akan disalurkan tidak menimbulkan air berhenti (*back water*) di bagian hilir ambang pelimpah dan memberikan posisi yang paling menguntungkan, baik pada aliran di dalam saluran transisi tersebut maupun pada aliran permukaan yang akan menuju saluran peluncur. Berikut perhitungan analisis saluran transisi dapat dilihat di bawah.

$$E_0 = E_2$$

Persamaan Energinya

$$P + H_e + Z_0 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } V_2 &= \frac{Q}{A} \rightarrow A = 3,37 \times y_2 \\ &= \frac{14,42}{3,37 \times y_2} \\ &= \frac{4,29}{y_2} \end{aligned}$$

$$2,01 + 1,64 + 3,00 = y_2 + \left[ \frac{\left( \frac{4,29}{y_2} \right)^2}{19,62} \right]$$

$$6,65 = y_2 + \frac{0,94}{y_2^2} \dots \times y_2^2$$

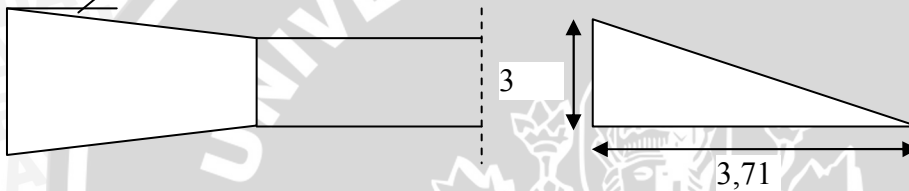
$$y_2^3 - 6,65 y_2^2 + 0,94 = 0$$

Dengan cara coba-coba diperoleh nilai  $y_2 = 0,387$  m

Direncanakan Panjang Saluran Transisi adalah 3,71 m maka;

$$\alpha = \text{Arc.tg} \frac{3,00}{3,71} = 38,96$$

$$\alpha = 38,96$$



Sehingga :

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{14,43}{3,37 \times y_2} \\ &= \frac{14,43}{3,37 \times 0,387} \\ &= 11,08 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

#### 4.3.8 Analisis Saluran Pengatur

Saluran pengatur aliran berfungsi sebagai pengatur kapasitas aliran (debit) air yang melintasi bangunan pelimpah. Tipe saluran pengatur yang dipakai dalam perencanaan ini adalah saluran tipe samping. Perhitungan saluran pengatur disajikan dibawah:

$$E_0 = E_3$$

Persamaan Energinya

$$P + H_e + Z_1 = y_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$\text{Dengan } V_3 = \frac{Q}{A} \rightarrow A = 3,37 \times y_3$$



$$= \frac{14,43}{3,37 \times y_3}$$

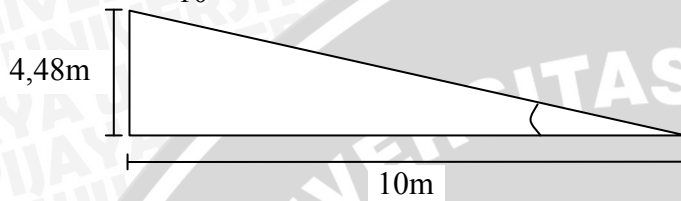
$$= \frac{4,29}{y_3}$$

Kemiringan saluran peluncur

Direncanakan  $h = 4,48 \text{ m}$

Panjang Saluran Peluncur adalah  $10 \text{ m}$  maka :

$$\alpha = \text{Arc.tg} \frac{4,48}{10} = 24,13$$



$$2,01 + 1,64 + 4,48 = y_3 + \left[ \frac{\left( \frac{4,29}{y_3} \right)^2}{19,62} \right]$$

$$8,13 = y_3 + \frac{0,936}{y_3^2} \dots \times y_3^2$$

$$y_3^3 - 8,13 y_3^2 + 0,936 = 0$$

Dengan cara coba-coba diperoleh nilai  $y_3 = 0,347 \text{ m}$

Sehingga :

$$V_3 = \frac{14,43}{3,37 \times y_3}$$

$$= \frac{14,43}{3,37 \times 0,347}$$

$$= 12,36 \text{ m/detik}$$

### 4.3.9 Analisis Kolam Olakan

Suatu bangunan peredam energi yang berbentuk kolam dimana prinsip peredam energinya yang sebagian besar terjadi akibat proses pergeseran diantara molekul-molekul air, sehingga menimbulkan olakan-olakan di dalam kolom tersebut. Untuk menentukan tipe kolam olakan yang sesuai digunakan klasifikasi tipe kolam olakan yang menjadi standar



perencanaan di Indonesia. Adapun klasifikasi tipe kolam olakan ini didasarkan pada harga bilangan Froude dan kecepatan yang terjadi, rinciannya sebagai berikut:

- a. USBR Type I  $17 < Fr < 2,5$
- b. USBR Type II  $Fr > 4,5 ; V > 15 \text{ m/dt}$
- c. USBR Type III  $Fr > 4,5 ; V < 15 \text{ m/dt}$
- d. USBR Type IV  $2,5 < Fr < 4,5$

berikut perhitungan analisis kolam olakan.

1. Menentukan Bilangan Froude ( $F_r$ )

Berdasarkan KP-02 halaman 56

$$F_r = \frac{V_3}{\sqrt{(g \times y_3)}}$$

$$F_r = \frac{12,36}{\sqrt{9,81 \times 0,347}}$$

$$= 6,70$$

Karena  $F_r \geq 4,5$  maka type olak yang digunakan adalah USBR Type III, yang dilengkapi dengan balik muka, dan balok penghalang (KP-02 halaman 59)

2. Menentukan tinggi loncatan air

Berdasarkan KP-02 halaman 56 digunakan persamaan:

$$\frac{y_4}{y_3} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{(1 + 8 Fr^2)} - 1 \right)$$

$$\frac{y_4}{0,347} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{(1 + 8 \times 6,70^2)} - 1 \right)$$

$$= 0,5 \times (18,98 - 1)$$

$$\frac{y_4}{0,347} = 8,99$$

$$y_4 = 8,99 \times 0,347$$

$$= 3,117 \text{ m}$$

Maka tinggi loncatan air adalah = 3,117 m

Menghitung kecepatan air pada penampang 4

$$V_4 = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{14,43}{3,37 \times y_4}$$



$$= \frac{14,43}{3,37 \times 3,11}$$

$$= 1,38 \text{ m/dt} \leq 4 \text{ m/dtk} = \dots \text{ aman!}$$

Persamaan energi pada penampang 4

$$E_0 = E_4$$

Persamaan energinya

$$P + H_e + Z_1 = y_4 + \frac{V_4^2}{2g} + \Delta E$$

$$2,0 + 1,64 + 7,48 = 3,11 + \frac{1,38^2}{19,62} + \Delta E$$

$$11,13 = 3,11 + 0,096 + \Delta E$$

$$11,13 = 3,213 + \Delta E$$

$$\Delta E = 7,92 \text{ m}$$

Menghitung Dimensi Kolak Olak USBR Type III

Tinggi blok muka / pemecah aliran ( $d_1$ )

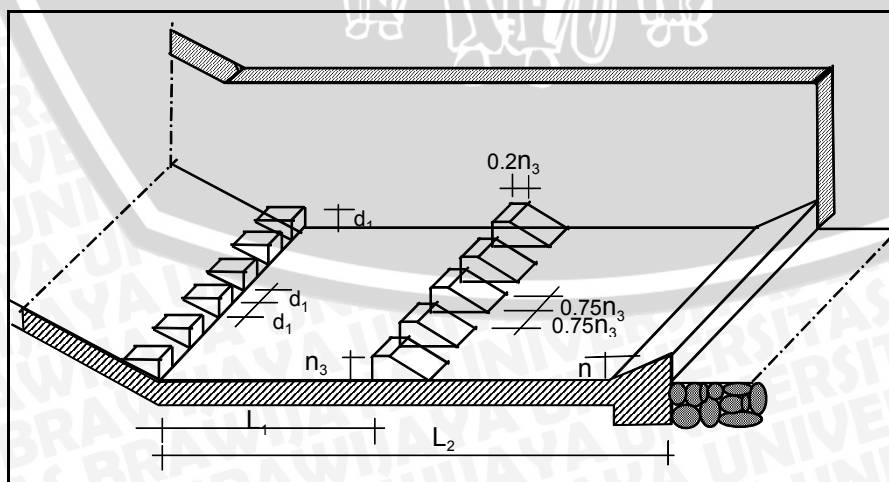
$$\text{Yaitu } d_1 = y_1 \text{ 0,550 m}$$

Tinggi ambang ujung ( $n$ )

$$n = \frac{d_1 (18 + Fr)}{18}$$

$$= \frac{0,550 \times (18 + 6,70)}{18}$$

$$n = 0,75 \text{ m}$$



Gambar 4.8. Kolam USBR Type III

Tinggi blok halang ( $n_3$ )

$$n_3 = \frac{d_1 (4 + Fr)}{6}$$

$$= \frac{0,550 \times (4 + 6,70)}{6}$$

$$n_3 = 0,98 \text{ m}$$

Jarak antara blok muka dan blok halang

$$L_1 = 0,82 \times d_4$$

$$= 0,82 \times 3,117$$

$$= 2,56 \text{ m}$$

Panjang Kolam Olak Total

$$L_2 = 2,7 \times d_4$$

$$= 2,7 \times 3,117$$

$$= 8,42 \text{ m}$$

Jarak antara blok muka =  $d_1 = 0,550 \text{ m}$

Lebar blok halang

$$= 0,75 \times n_3$$

$$= 0,75 \times 0,98$$

$$= 0,74 \text{ m}$$

Jumlah blok muka ( $S_1$ )

$$S_1 = \frac{3,37}{2 \times d_1}$$

$$= \frac{3,37}{2 \times 0,550}$$

$$= 3,0 \approx 3 \text{ buah}$$

Lebar sisi blok halang

$$= 0,2 \times n_3$$

$$= 0,2 \times 0,98$$

$$= 0,196 \text{ m}$$

Jumlah blok halang ( $S_2$ )

$$S_2 = \frac{24 - (2 \times 0,375 \times n_3)}{2 \times 0,75 \times n_3}$$

$$= \frac{24 - (2 \times 0,375 \times 0,98)}{2 \times 0,75 \times 0,98}$$



$$= \frac{24 - 0,74}{1,47}$$

$$= 15,82 \approx 16 \text{ buah}$$

Menghitung tinggi jagaan samping kolam olak

$$h \geq (n + y_4) + 0.6H_e$$

$$\geq (0,75 + 3,117) + (0,6 \times 1,64)$$

$$h \geq 4,85 \text{ m}$$

Maka digunakan tinggi jagaan di kolam olak = 5 m

Sementara pada bangunan pelimpah, berdasarkan buku bendungan tipe urugan “Ir. Suyono.S, halaman 227”, bahwa untuk memperoleh tinggi jagaan pada bangunan pelimpah adalah:

$$F_b = 0,6 + (0,037 \times V \times d^{1/3})$$

Dimana:

$$F_b = \text{Tinggi Jagaan (m)}$$

$$V = \text{Kecepatan Aliran (m/dtk)}$$

$$d = \text{Kedalaman Aliran (m)}$$

Tinggi jagaan pada bagian Hulu (Penampang 0)

$$F_{b0} = 0,6 + (0,037 \times V_0 \times d_0^{1/3})$$

$$= 0,6 + (0,037 \times 1,198 \times 1,563^{1/3})$$

$$= 0,6231 \text{ m}$$

Tinggi jagaan pada bagian Penampang 1

$$F_{b1} = 0,6 + (0,037 \times V_1 \times d_1^{1/3})$$

$$= 0,6 + (0,037 \times 7,797 \times 0,550^{1/3})$$

$$= 0,6529 \text{ m}$$

Tinggi jagaan pada bagian Penampang 2

$$F_{b2} = 0,6 + (0,037 \times V_2 \times d_2^{1/3})$$

$$= 0,6 + (0,037 \times 11,084 \times 0,387^{1/3})$$

$$= 0,6529 \text{ m}$$

Tinggi jagaan pada bagian Penampang 3

$$\begin{aligned} F_{b3} &= 0,6+(0,037x V_3 x d_3^{1/3}) \\ &= 0,6+( 0,037 x 12,36 x 0,347^{1/3}) \\ &= 0,6 \quad \text{m} \end{aligned}$$

#### 4.4 Desain Embung

##### 4.4.1 Jenis Bangunan Utama

Desain embung akan mengacu pada kriteria desain yang lazim dipakai di Indonesia. Dalam menentukan tipe embung di dasar pada bahan material yang ada disekitar lokasi. Bahan material yang banyak tersedia di sekitar lokasi rencana Embung Guworejo adalah tanah, sehingga tipe embung Guworejo menggunakan tipe urugan tanah homogen.

Berdasarkan buku “bendungan type urugan” (Ir. Suyono.S) halaman 169 – 173, tinggi bendungan adalah sebagai berikut;

$$H = \text{tinggi Air Normal} + H_f$$

Dimana:

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

$$H_f \geq h_w + 1/2 h_e + h_a + h_i$$

Dimana:

$$H_f = \text{Tinggi jagaan}$$

$$h_a = \text{Tinggi kemungkinan kenaikan air waduk.}$$

$$h_w = \text{Tinggi ombak akibat tiupan angin}$$

Nilai  $h_w$  diambil dari diagram saville (buku bendungan type urugan) Ir. Suyono.S, halaman 172 dengan mengasumsikan panjang lintasan ombak ( $F$ ) = 1000 m dan kecepatan angin di atas permukaan air waduk  $V = 20$  m/dtk, dan lereng dengan permukaan kasar dengan perbandingan 1 : 2, sehingga dari grafik saville tersebut diperoleh tinggi ombak akibat tiupan angin ( $h_w$ ) adalah 0,33 m.

$$h_e = \text{tinggi ombak akibat gempa}$$

Berdasarkan buku bendungan type urugan IR.Suyono.S, halaman 172 untuk menentukan tinggi ombak akibat gempa menggunakan persamaan

$$h_e = ((e \times \tau) / \pi) \sqrt{(g \times H_o)} = \left( \frac{e \times \tau}{\pi} \right) (\sqrt{g \times H_o})$$

dengan :

$e =$  Intensitas seismis horizontal,  $e = 0.15$

$\tau =$  Siklus seismis,  $\tau = 1$

$H_0 =$  Kedalaman air di dalam waduk,  $H_0 = 11.06 \text{ m}$

Sehingga:

$$\begin{aligned} H_e &= \left( \frac{0.15 \times 1}{3.14286} \right) \times \sqrt{(9.18 \times 11.06)} \\ &= \frac{0.15}{3.14286} \times 10.42 \\ &= 0.497 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan buku bendungan type urugan IR. Suyono.S, halaman 173, tinggi kenaikan air permukaan waduk biasanya sebagai standar, di ambil  $h_a = 0,5 \text{ m}$ . berdasarkan buku bendungan type urugan Ir. Suyono.S, halaman 173 mengingat bendungan type urugan akan sangat berbahaya, maka untuk bendungan ini angka tambahan tinggi jagaan di ambil, yaitu  $h_i = 1 \text{ m}$ .

Maka:

$$\begin{aligned} H_f &\geq h_w + 1/2 h_e + h_a + h_i \\ &\geq 0.33 + (1/2 \times 0,497) + 0.5 + 1 \\ &\geq 2.079 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_f$  diambil = **2.1 m**

Sehingga tinggi bendungan (H)

$$\begin{aligned} H &= 11.06 + 2.1 \\ &= 13.16 \approx \mathbf{14 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 3.6H^{1/3} - 3 \\ &= 3.6 \times (14)^{1/3} - 3 \\ &= 5,601 \approx \mathbf{6 \text{ m}} \end{aligned}$$

Up Stream :

$$\begin{aligned} &= 1 / (0.05 H + 1.5) \times 100\% \\ &= 45,5 \% \end{aligned}$$

Down Stream :

$$\begin{aligned} &= 1 / (0.05 H + 1) \times 100\% \\ &= 58,8 \% \end{aligned}$$

Perbandingan dengan kemiringan talud / lereng

Up Stream :

$$\frac{45,5}{100} = \frac{1}{X}$$

$$X = \frac{100}{45,5}$$

$$X = 2,2 \approx 2,5$$

Maka perbandingan dengan kemiringan talud / lereng di hulu adalah 1 : 2,5

Down Stream :

$$\frac{58,8}{100} = \frac{1}{X}$$

$$X = \frac{100}{58,8}$$

$$X = 1,7 \approx 2$$

Maka perbandingan dengan kemiringan talud / lereng di hilir adalah 1 : 2

Lebar dasar sungai

Up Stream :

$$14 \times 2,5 = 35 \text{ m}$$

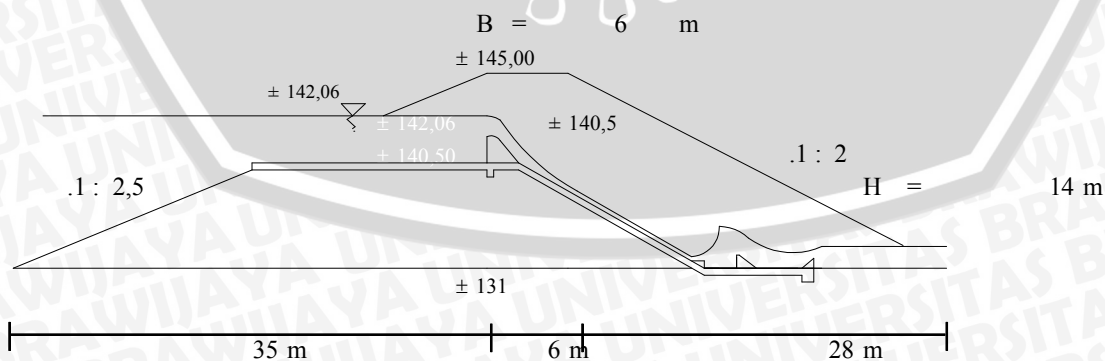
Down Stream :

$$14 \times 2 = 28 \text{ m}$$

Panjang total bendungan (L):

$$L = 35 + 28 + 6$$

$$= 69,00 \text{ m}$$

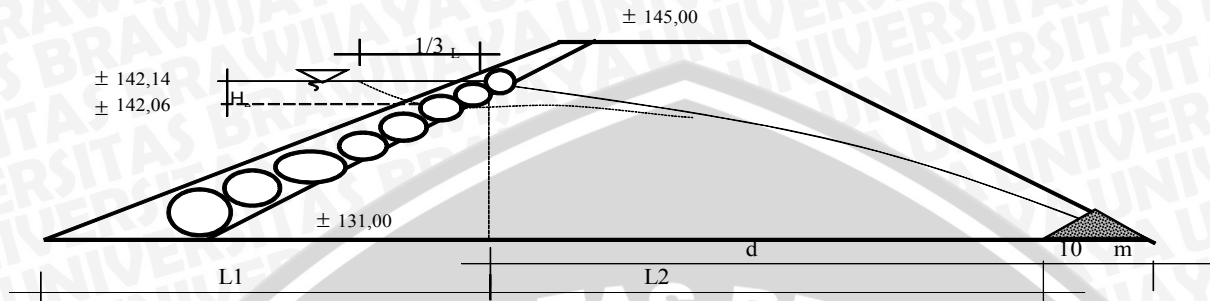


Gambar 4.9. Dimensi Embung Guworejo



#### 4.4.2. Stabilitas Terhadap Aliran Filtrasi

Setiap embung mempunyai debit rembesan yang melewati tubuh embung. Debit rembesan tersebut akan dialirkan sampai ke filter yang ada pada tubuh embung tersebut. Debit rembesan yang lewat tubuh embung perhitungannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10. Aliran Filtrasi Embung Guworejo

Menentukan Garis Seepage dan Flownet

$$\text{Tinggi Air Maksimum (h)} = 142.14 - 131.00 = 11.14 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (L}_1\text{)} = 3.00 \times 11.14 = 33.41 \text{ m}$$

$$\text{Arah garis depresi} = 0.30 \times 33.41 = 10.02 \text{ m}$$

Bila panjang filter drainase diambil = 10 m

$$\text{maka } L_2 = 69.0 - (33.14 + 10.00)$$

$$= 25.59 \text{ m}$$

$$d = L_2 + 0.30 L_1$$

$$= 25.59 + 0.30 \times 33.41$$

$$= 35.61 \text{ m}$$

Maka persamaan parabolanya adalah :

$$y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d$$

$$= \sqrt{(11.14^2 + 35.61^2)} - 35.61$$

$$y_0 = 1.70 \text{ m}$$

$$2y_0 = 3.40 \text{ m}$$

Persamaan hasil parabola

$$y = \sqrt{(2y_0 \times X) + y_0^2}$$

$$y = \sqrt{(3.40 \times X) + 1.70^2}$$

X(m)	-0,85	0,00	10,00	20,00	30,00	35,65
y	0,00	1,70	6,07	8,42	10,24	11,14

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Air Maks (h)} &= 8,91 \text{ m} \\ \text{Panjang (L}_1\text{)} &= 3,00 \times 8,91 = 26,73 \text{ m} \\ 0,3 \text{ (L}_1\text{)} &= 0,30 \times 26,73 = 8,02 \text{ m} \\ \text{L}_2 &= 69,0 - (26,73 + 10,00) = 32,3 \text{ m} \\ \text{d} &= 32,3 + 8,02 = 40,3 \text{ m} \end{aligned}$$

maka persamaan parabolanya adalah :

$$\begin{aligned} y_0 &= \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \\ &= \sqrt{(8,91^2 + 40,3^2)} - 40,3 \end{aligned}$$

$$y_0 = 0,97 \text{ m}$$

$$2y_0 = 1,95 \text{ m}$$

Persamaan hasil parabola

$$y = \sqrt{(2y_0 \times X) + y_0^2}$$

$$y = \sqrt{(1,95 \times X) + 0,97^2}$$

X(m)	-0,49	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	40,30
y	0,00	0,97	4,52	6,31	7,70	8,88	8,91

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Air Maks (h)} &= 6,68 \text{ m} \\ \text{Panjang (L}_1\text{)} &= 3,00 \times 6,68 = 20,05 \text{ m} \\ 0,3 \text{ (L}_1\text{)} &= 0,30 \times 20,05 = 6,01 \text{ m} \\ \text{L}_2 &= 69,0 - (20,05 + 10,00) = 39,0 \text{ m} \\ \text{d} &= 39,0 + 6,01 = 45,0 \text{ m} \end{aligned}$$

maka persamaan parabolanya adalah :

$$\begin{aligned} y_0 &= \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \\ &= \sqrt{(6,68^2 + 45,0^2)} - 45,0 \end{aligned}$$

$$y_0 = 0,49 \text{ m}$$

$$2y_0 = 0,99 \text{ m}$$

Persamaan hasil parabola

$$y = \sqrt{(2y_0 \times X) + y_0^2}$$

$$y = \sqrt{(0,99 \times X) + 0,49^2}$$

X(m)	-0,25	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	45,00
y	0,00	0,49	3,18	4,47	5,46	6,30	6,69



$$\begin{aligned} \text{Tinggi Air Maks (h)} &= 4,45 \text{ m} \\ \text{Panjang (L}_1) &= 3,00 \times 4,45 = 13,36 \text{ m} \\ 0,3 (L_1) &= 0,30 \times 13,36 = 4,01 \text{ m} \\ L_2 &= 69,0 - (13,36 + 10,00) = 45,6 \text{ m} \\ d &= 45,6 + 4,01 = 49,6 \text{ m} \end{aligned}$$

maka persamaan parabolanya adalah :

$$\begin{aligned} y_0 &= \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \\ &= \sqrt{(4,45^2 + 49,6^2)} - 49,6 \\ y_0 &= 0,20 \text{ m} \\ 2y_0 &= 0,40 \text{ m} \end{aligned}$$

Persamaan hasil parabola

$$\begin{aligned} y &= \sqrt{(2y_0 \times X) + y_0^2} \\ y &= \sqrt{(0,40 \times X) + 0,20^2} \end{aligned}$$

X(m)	-0,10	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	49,60
y	0,00	0,20	2,01	2,83	3,46	4,00	4,45

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Air Maks (h)} &= 2,23 \text{ m} \\ \text{Panjang (L}_1) &= 3,00 \times 2,23 = 6,68 \text{ m} \\ 0,3 (L_1) &= 0,30 \times 6,68 = 2,00 \text{ m} \\ L_2 &= 69,0 - (6,68 + 10,00) = 52,3 \text{ m} \\ d &= 52,3 + 2,00 = 54,3 \text{ m} \end{aligned}$$

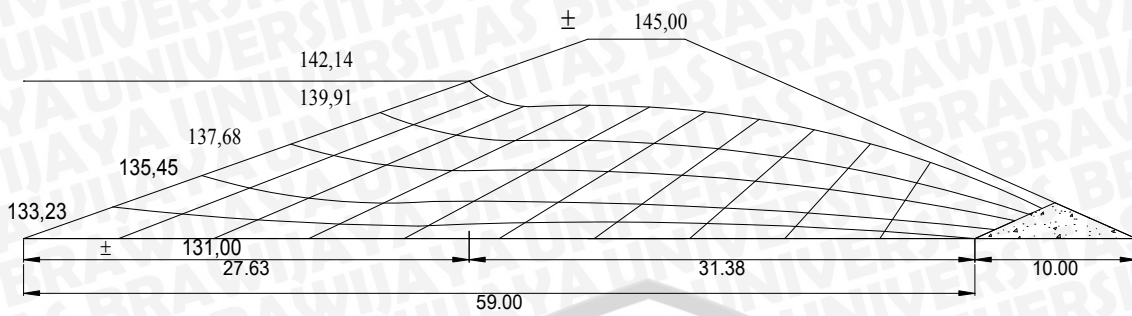
maka persamaan parabolanya adalah :

$$\begin{aligned} y_0 &= \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \\ &= \sqrt{(2,23^2 + 54,3^2)} - 54,3 \\ y_0 &= 0,05 \text{ m} \\ 2y_0 &= 0,09 \text{ m} \end{aligned}$$

Persamaan hasil parabola

$$\begin{aligned} y &= \sqrt{(2y_0 \times X) + y_0^2} \\ y &= \sqrt{(0,09 \times X) + 0,05^2} \end{aligned}$$

X(m)	-0,02	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	54,30
y	0,00	0,05	0,96	1,35	1,66	1,91	2,14	2,23



Gambar 4.11. Garis Aliran Filtrasi

Dari gambar flownet di dapat :

$$N_f = 5$$

$$N_p = 10$$

Kapasitas aliran filtrasi

$$\begin{aligned}
 Q_f &= \frac{N_f}{N_p} \times H \times L \times k \\
 &= \frac{5,00}{10,00} \times 11,14 \times 101,5 \times 0,000000115 \\
 &= 0,0000650 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Hasil analisa rembesan embungGuworejo adalah sebesar 5,62 m<sup>3</sup>/hr/m'

#### 4.4.3. Stabilitas Lereng dan Hilir

Setiap embung mempunyai lereng dan hilir pada tubuh embung. Lereng dan hilir tersebut pada suatu saat bisa terjadi longsor. Untuk itulah perlu adanya perhitungan faktor keamanan pada lereng dan hilir pada suatu embung. Rumus untuk perhitungan faktor keamanan adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi normal

$$S_f = \frac{\Sigma(c.L + (N - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma T}$$

- Pada kondisi gempa

$$S_f = \frac{\Sigma(c.L + (N - N_e - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma(T + T_e)}$$

Dimana :

$$S_f = \text{Angka keamanan}$$

$$c = \text{Koheksi}$$

- L = Panjang bidang gelincir perpias
- N = Beban komponen vertikal
- u = Tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur
- U = Beban dari tekanan hidrostatik yang bekerja pada dasar irisan
- $\phi$  = Sudut geser dalam
- T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang
- Te = Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang

Kontrol Stabilitas Lereng Pada Bagian Hulu

- Kondisi perhitungan pada Air Maksimum

Kondisi Air Normal

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma T}$$

$$Sf = \frac{195,171 + 106,346}{182,153}$$

$$= 1,66 > 1,5 \text{ (aman)}$$

Kondisi gempa

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - Ne - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma(T + Te)}$$

$$Sf = \frac{195,171 + 83,021}{182,153 + 21,32}$$

$$= 1,37 > 1,1 \text{ (aman)}$$

- Kondisi perhitungan pada Air Normal

Kondisi Air Normal

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma T}$$

$$Sf = \frac{204,746 + 118,57}{176,719}$$

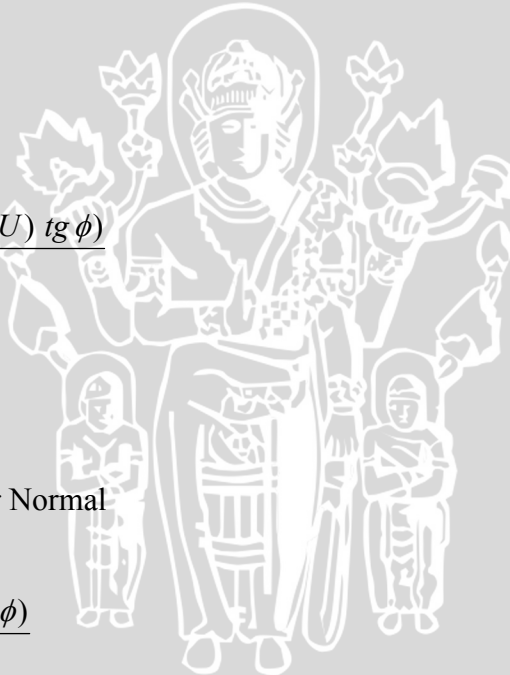
$$= 1,83 > 1,5 \text{ (aman)}$$

Kondisi gempa

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - Ne - U) \text{tg } \phi)}{\Sigma(T + Te)}$$

$$Sf = \frac{204,746 + 98,489}{176,719 + 37,03}$$

$$= 1,42 > 1,1 \text{ (aman)}$$



- Kondisi perhitungan pada Air Kosong

Kondisi Air normal

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - U) \operatorname{tg} \phi)}{\Sigma T}$$

$$Sf = \frac{97,585 + 73,6}{87,064}$$

$$= 1,97 > 1,5 \text{ (aman)}$$

Kondisi gempa

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - Ne - U) \operatorname{tg} \phi)}{\Sigma(T + Te)}$$

$$Sf = \frac{97,585 + 64}{87,064 + 11,32}$$

$$= 1,64 > 1,1 \text{ (aman)}$$

Kontrol Stabilitas Lereng Pada bagian Hilir

- Kondisi perhitungan pada Air Kosong

Kondisi Air Normal

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - U) \operatorname{tg} \phi)}{\Sigma T}$$

$$Sf = \frac{89,787 + 45,88}{85,295}$$

$$= 1,59 > 1,5 \text{ (aman)}$$

Kondisi gempa

$$Sf = \frac{\Sigma(c.L + (N - Ne - U) \operatorname{tg} \phi)}{\Sigma(T + Te)}$$

$$Sf = \frac{89,787 + 39}{85,295 + 12,794}$$

$$= 1,31 > 1,1 \text{ (aman)}$$

