

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hidrologi

Langkah awal dalam mendesain suatu bendungan adalah dengan melakukan suatu analisis hidrologi. Dalam studi ini, analisis yang dilakukan adalah menghitung hujan rancangan dan mendesain banjir untuk menentukan tinggi muka air banjir di atas pelimpah bendungan, sebagai dasar penentuan desain tinggi dan dimensi bendungan.

4.1.1. Penentuan Debit Banjir Rancangan

Output yang akan dihasilkan dari debit banjir rancangan adalah besarnya Q_{inflow} pada pelimpah bendungan sebagai acuan dasar untuk perhitungan penelusuran banjir. Debit banjir rancangan yang dipergunakan adalah debit banjir dengan kala ulang 1000 tahun dan *PMF* sebagai kontrolnya. Hasil debit banjir rancangan ini akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan tinggi Bendungan Wiyu.

4.1.1.1. Hujan Maksimum Rerata Daerah Metode Aritmatik

Data hidrologi yang tersedia merupakan data curah hujan harian selama 20 tahun (tahun 1993 sampai tahun 2012), yang berasal dari Stasiun Penakar Hujan di Kecamatan Pujon dan Stasiun Penakar Hujan Tampung di Mojokerto (sekitar 30 km di sebelah utara lokasi bendungan). Penentuan curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu dihitung dengan menggunakan analisa frekuensi. Data-data curah hujan yang diperlukan dalam perencanaan bendungan adalah data hujan harian maksimum pada tiap tahun, sekurang-kurangnya 10 tahun berturut-turut.

Curah hujan maksimum rerata daerah ditentukan dengan menggunakan metode aritmatik. Hal ini dikarenakan keterbatasan jumlah stasiun penakar hujan dan data yang tersedia, yang terletak di sekitar lokasi calon bendungan, yang tepatnya ada di hulu, sehingga stasiun penakar hujan yang dapat mewakili lokasi tersebut hanya ada 2 stasiun yaitu Stasiun Pujon dan Stasiun Tampung. Curah hujan maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Curah Hujan Maksimum Rerata Daerah Metode Aritmatik

No	Tahun	Stasiun Pujon	Stasiun Tampung	Rerata Maksimum
		(mm)	(mm)	(mm)
1	1993	95.00	207.00	151.00
2	1994	87.00	113.00	100.00
3	1995	82.00	237.00	159.50
4	1996	90.00	93.00	91.50
5	1997	89.00	96.00	92.50
6	1998	90.00	83.00	86.50
7	1999	125.00	104.00	114.50
8	2000	79.00	147.00	113.00
9	2001	59.00	74.00	66.50
10	2002	95.00	130.00	112.50
11	2003	78.00	81.00	79.50
12	2004	149.00	69.00	109.00
13	2005	69.00	103.00	86.00
14	2006	139.00	139.00	139.00
15	2007	182.00	86.00	134.00
16	2008	145.00	104.00	124.50
17	2009	75.00	115.00	95.00
18	2010	118.00	143.00	130.50
19	2011	72.00	80.00	76.00
20	2012	68.00	68.00	68.00

Sumber : Perhitungan

4.1.1.2. Hujan Rancangan Metode Log Pearson III

Data curah hujan maksimum yang telah dihitung sebelumnya, akan digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir rancangan bendungan Wiyu. Penentuan curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu dihitung dengan menggunakan analisa frekuensi metode *Log Pearson* tipe III, dengan alasan bahwa koefisien puncak dan koefisien kepengcengan data yang tersedia memenuhi syarat metode tersebut.

Langkah perhitungan metode *Log Pearson* tipe III adalah sebagai berikut:

- Jumlahkan seluruh data hujan logaritmis selama 20 tahun ($\sum \log X = 40,276$)
- Hitung rata-rata Log X berdasarkan Persamaan (2-5)

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum \log X}{n} = \frac{40,276}{20} = 2,014$$

- c) Hitung Nilai Standar Deviasi (S_d) berdasarkan Persamaan (2-6)

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\log X - \log \bar{X}|^2}{(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{0,234}{20-1}} \\ &= 0,1109 \end{aligned}$$

- d) Hitung nilai koefisien kepengcengan (C_s) berdasarkan Persamaan (2-7)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n \cdot \sum (\log X - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \\ &= \sqrt{\frac{-0,001}{20-1}} \\ &= -0,057 \end{aligned}$$

Untuk nilai $C_s = -0,057$ dapat dicari nilai P yang didapat dari tabel nilai G untuk Distribusi *Log Pearson III*. Dengan cara interpolasi, didapatkan nilai G untuk masing-masing kala ulang (T_r) tertentu.

- e) Hitung nilai koefisien puncak (C_k)

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \\ &= -0,863 \end{aligned}$$

Nilai C_s dan C_k sesungguhnya digunakan sebagai syarat awal dalam menentukan metode distribusi frekuensi yang akan digunakan. Dengan nilai $C_s = -0,057$ dan $C_k = -0,863$ maka distribusi yang cocok digunakan adalah distribusi *Log Pearson* tipe III, karena distribusi ini memiliki syarat nilai koefisien kepengcengan dan koefisien puncak yang fleksibel.

- f) Hitung besarnya hujan rancangan untuk masing-masing T_r dengan menggunakan Persamaan (2-8)

Untuk $T_r = 1000$

$$\begin{aligned} \log X &= \log \bar{X} + G \cdot S_d \\ &= 2,014 + (3,010) \cdot 0,111 \\ &= 2,348 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= 10^{\log X} \\ &= 10^{2,348} \\ &= 222,652 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Perhitungan Hujan Rancangan Metode *Log Pearson III*

T_r	$P(\%)$	C_s	G	$\log X$	$X \text{ (mm)}$
5	20	-0.057	0.839	2.107	127.881
10	10	-0.057	1.275	2.155	142.961
25	4	-0.057	1.731	2.206	160.610
50	2	-0.057	2.023	2.238	173.051
100	1	-0.057	2.326	2.272	186.956
1000	0.1	-0.057	3.010	2.348	222.652

Sumber: Perhitungan

4.1.1.3. Uji Distribusi *Smirnov Kolmogorof*

Untuk menguji diterima atau tidaknya suatu distribusi, maka dilakukan pengujian simpangan horizontal yakni Uji *Smirnov Kolmogorof*.

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- a) Cari besarnya K untuk masing-masing nilai X .

$$\begin{aligned} K &= \frac{\log X - \log \bar{X}}{S_d}, \text{ untuk data } X = 159,5 \text{ maka} \\ &= \frac{\log 159,5 - 2,014}{0,111} \\ &= 1,704 \end{aligned}$$

- b) Cari nilai Probabilitas P_r untuk nilai $C_s = -0,057$ dan nilai $K = 1,704$ pada tabel nilai G untuk distribusi *Log Pearson III*. Untuk data I didapatkan $P_r = 4,36$.

- c) Hitung besarnya peluang empiris $P_e(X)$

$$\begin{aligned} P_e(X) &= \frac{m}{n+1} \\ &= \frac{20}{20+1} \\ &= 0,952 \end{aligned}$$

- d) Hitung besarnya peluang teoritis $P_t(X)$

$$P_t(X) = 1 - \left(\frac{P_r}{100} \right)$$

$$= 1 - \left(\frac{4,36}{100} \right)$$

$$= 0,956$$

- e) Hitung besarnya selisih antara peluang empiris dan teoritis (Δ_x) dengan Persamaan (2-9)

$$\Delta_x = |P_e(X) - P_t(X)|$$

$$= |0,952 - 0,956|$$

$$= 0,004$$

Cari nilai Δ_x yang paling maksimal ($\Delta_{\max}$)

Dari perhitungan yang telah dilakukan, yang disajikan pada Tabel 4.3 diperoleh nilai $\Delta_{\max} = 0,056$. Untuk $\alpha = 5\%$ dan $n = 20$, pada tabel nilai kritis untuk Uji *Smirnov Kolmogorof* diperoleh $\Delta_{cr} = 0,304$. Karena $\Delta_{\max} < \Delta_{cr}$, maka distribusi **diterima**.

Tabel 4.3. Uji Distribusi *Smirnov Kolmogorof*

Tahun	X	Log X	K	m	Pe (X)	Pr	Pt (X)	Δ
								$ P_e(X) - P_t(X) $
1995	159.5	2.203	1.704	20	0.952	0.044	0.956	0.004
1993	151.0	2.179	1.489	19	0.905	0.072	0.928	0.023
2006	139.0	2.143	1.165	18	0.857	0.125	0.875	0.018
2007	134.0	2.127	1.022	17	0.810	0.158	0.842	0.032
2010	130.5	2.116	0.918	16	0.762	0.182	0.818	0.056
2008	124.5	2.095	0.734	15	0.714	0.238	0.762	0.048
1999	114.5	2.059	0.406	14	0.667	0.357	0.643	0.023
2000	113.0	2.053	0.354	13	0.619	0.375	0.625	0.006
2002	112.5	2.051	0.337	12	0.571	0.382	0.618	0.047
2004	109.0	2.037	0.213	11	0.524	0.426	0.574	0.050
1994	100.0	2.000	-0.125	10	0.476	0.548	0.452	0.024
2009	95.0	1.978	-0.326	9	0.429	0.619	0.381	0.047
1997	92.5	1.966	-0.430	8	0.381	0.655	0.345	0.036
1996	91.5	1.961	-0.473	7	0.333	0.671	0.329	0.004
1998	86.5	1.937	-0.693	6	0.286	0.748	0.252	0.034
2005	86.0	1.934	-0.715	5	0.238	0.756	0.244	0.005
2003	79.5	1.900	-1.023	4	0.190	0.841	0.159	0.032
2011	76.0	1.881	-1.200	3	0.143	0.880	0.120	0.023
2012	68.0	1.833	-1.635	2	0.095	0.947	0.053	0.042
2001	66.5	1.823	-1.722	1	0.048	0.953	0.047	0.001
$\Delta_{\max}$								0.056

Sumber: Perhitungan

4.1.1.4. Uji Distribusi *Chi-Square* (X^2)

Setelah dilakukan uji simpangan horizontal, dilakukan juga pengujian simpangan vertikal, yaitu uji *Chi-Square* (X^2).

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- a) Membagi X menjadi beberapa kelas berdasarkan Persamaan (2-12)

$$\begin{aligned} K &= 1 + 3,322 \log n \\ &= 1 + 3,322 \log 20 \\ &= 5 \text{ kelas} \end{aligned}$$

- b) Menentukan nilai yang diharapkan (EF) berdasarkan Persamaan (2-11)

$$EF = \frac{n}{K} = \frac{20}{5} = 4$$

- c) Menentukan nilai yang diobservasi (OF) yakni dengan menentukan banyaknya data yang ada berdasarkan kelas yang telah ditentukan. Dalam rentang 83,336 < X < 127,881, maka ada 5 data yang termasuk dalam kelas ini.

- d) Menentukan besarnya (X^2)_{hitung} berdasarkan Persamaan (2-10)

$$\begin{aligned} X^2_{\text{hitung}} &= \frac{\sum_{i=1}^k (OF - EF)^2}{EF} \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

Tabel 4.4. Tabel Uji Distribusi *Chi-Square*

No.	Nilai Batas			Jumlah Data		(OF - EF) ²	(OF - EF) ² / EF
	Sub Kelas			OF	EF		
1	X	<	83.336	4	4	0.00	0.00
2	83.336	< X <	96.439	5	4	1.00	0.25
3	96.439	< X <	111.053	2	4	4.00	1.00
4	111.053	< X <	127.881	4	4	0.00	0.00
5	X	>	127.881	5	4	1.00	0.25
Jumlah				20	20	6	1.50

Sumber: Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas } (v) &= k - (R + 1) \\ &= 5 - (2 + 1) \\ &= 2 \end{aligned}$$

Dengan R adalah banyaknya keterkaitan (biasanya diambil $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial, dan $R = 1$ untuk distribusi poisson dan gumbel).

Dari tabel, untuk nilai $v = 2$ dan nilai probabilitas 95% (*Level of significance* = 5%) diperoleh $X^2_p = 5,991$.

Karena nilai $X^2_{\text{hitung}} < X^2_p$, maka distribusi **diterima**.

4.1.1.5. *Probability Maximum Precipitation (PMP)*

Perhitungan PMP yang dicari untuk menentukan *PMF*, yang nantinya hasil dari analisis ini akan digunakan sebagai kontrol untuk perencanaan pelimpah, dalam hal ini adalah tinggi muka air banjir / tinggi air di atas ambang pelimpah yang masih dapat dikontrol supaya tidak terjadi *overtopping* pada tubuh bendungan. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Jumlahkan data hujan maksimum keseluruhan ($\sum X_n = 2129,00 \text{ mm}$)
- Jumlahkan data hujan maksimum tanpa menyertakan data hujan yang nilainya paling tinggi ($\sum X_{n-m} = 1969,50 \text{ mm}$)
- Hitung nilai rata-rata keseluruhan data hujan maksimum ($\bar{X}_n = 106,45$)
- Hitung nilai rata-rata data hujan maksimum tanpa menyertakan data hujan yang nilainya paling tinggi ($\bar{X}_{n-m} = 103,66$)
- Bagi nilai $\bar{X}_{n-m}$ dengan $\bar{X}_n$ ($\bar{X}_{n-m} / \bar{X}_n = 0,974$)
- Hitung nilai standard deviasi dari seluruh data hujan maksimum ($S_n = 26,96$)
- Hitung nilai standard deviasi tanpa menyertakan data hujan yang nilainya paling tinggi ($S_{n-m} = 24,55$)
- Bagi nilai S_{n-m} dengan S_n ($S_{n-m} / S_n = 0,911$)

Hasil perhitungan seluruhnya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perhitungan *PMP*

No.	Tahun	X	X ²
1	1995	159.50	25440.25
2	1993	151.00	22801.00
3	2006	139.00	19321.00
4	2007	134.00	17956.00
5	2010	130.50	17030.25
6	2008	124.50	15500.25
7	1999	114.50	13110.25
8	2000	113.00	12769.00
9	2002	112.50	12656.25
10	2004	109.00	11881.00
11	1994	100.00	10000.00
12	2009	95.00	9025.00
13	1997	92.50	8556.25
14	1996	91.50	8372.25
15	1998	86.50	7482.25
16	2005	86.00	7396.00
17	2003	79.50	6320.25
18	2011	76.00	5776.00
19	2012	68.00	4624.00
20	2001	66.50	4422.25
n1 = 20	$\sum X_n$	2129.00	240439.50
n2 = 19	$\sum X_{n-m}$	1969.50	214999.25
	$\overline{X}_n$	106.45	
	$\overline{X}_{n-m}$	103.66	
	$\overline{X}_{n-m} / \overline{X}_n$	0.97	
	S_n	26.96	
	S_{n-m}	24.55	
	S_{n-m} / S_n	0.91	

Sumber: Perhitungan

Selanjutnya, nilai-nilai di atas dikontrol dengan gambar grafik yang telah disajikan pada Bab II.

- Berdasarkan Gambar 2.2 (a), untuk $\overline{X}_{n-m} / \overline{X}_n = 0,974$ dan panjang data 20 tahun, maka diperoleh faktor koreksi $X_n = 102,80\%$. Dan pada Gambar 2.3, untuk data 20 tahun, maka diperoleh faktor koreksi $\overline{X}_n = 102,00\%$.
- Berdasarkan Gambar 2.2 (b), untuk $S_{n-m} / S_n = 0,911$ dan panjang data 20 tahun, maka diperoleh faktor koreksi $S_n = 103,00\%$. Dan pada Gambar 2.3, untuk data 20 tahun, maka diperoleh faktor koreksi $\overline{S}_n = 108,00\%$.

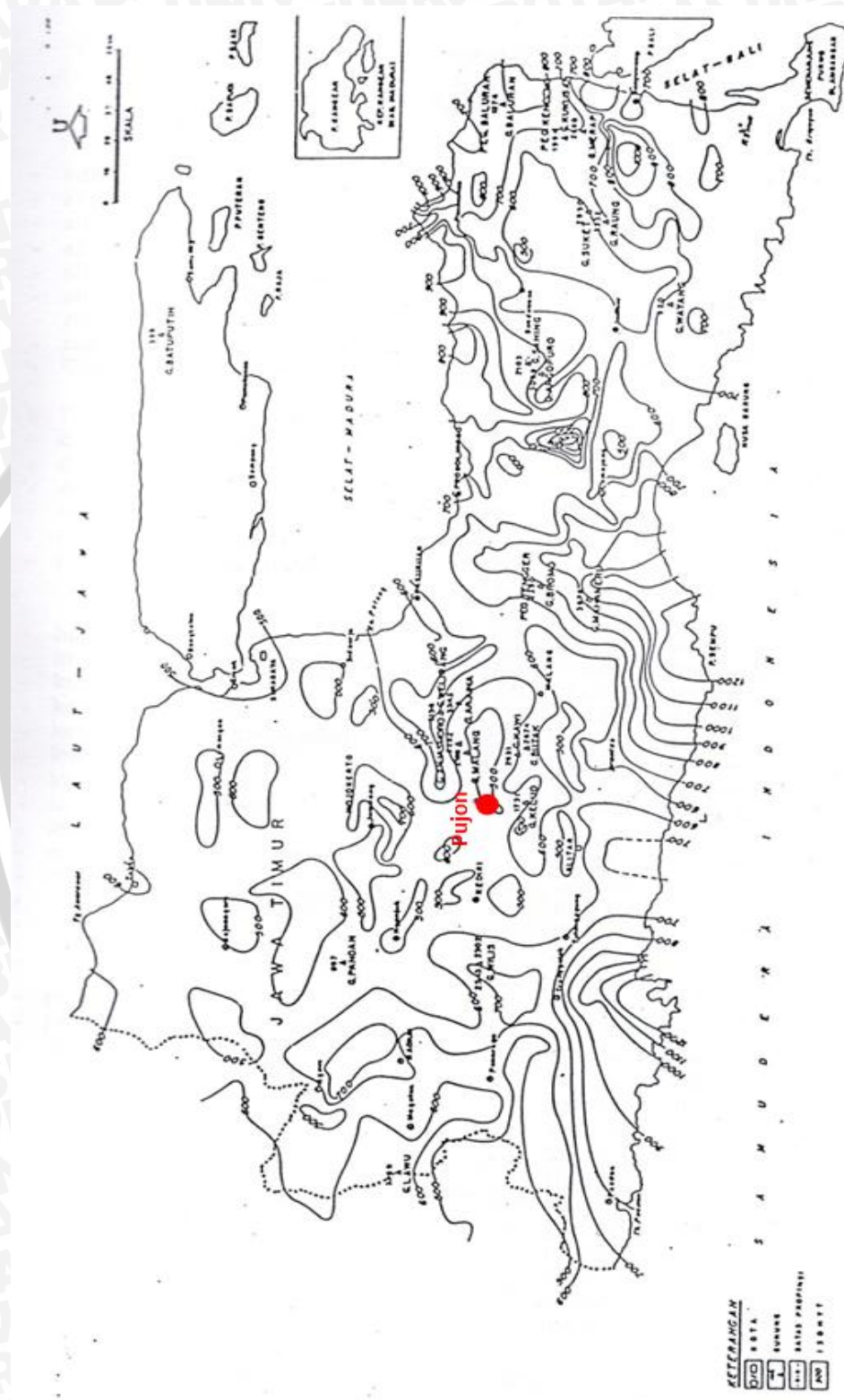
- c) $\bar{X}_n$ terkoreksi = $106,45 \cdot 102,80\% \cdot 102,00\% = 111,62$
- d) S_n terkoreksi = $26,96 \cdot 103,00\% \cdot 108,00\% = 29,99$
- e) Hujan maksimum yang mungkin terjadi (PMP). Berdasarkan Gambar 2.1, untuk rata-rata hujan maksimum tahunan ($\bar{X}_n$) = 106,45 mm, maka diperoleh harga $K_m = 15,00$, sehingga X_m dapat dihitung berdasarkan Persamaan (2-13) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}X_m &= \bar{X}_n + K_m \cdot S_n \\&= 111,62 + 15,00 \cdot 29,99 \\&= 561,43 \text{ mm}\end{aligned}$$

- f) Hujan maksimum terkoreksi ($PMP_{\text{terkoreksi}}$). Berdasarkan Gambar 2.4, untuk luas DAS Konto sebesar $11,93 \text{ km}^2$ dengan durasi hujan 24 jam, maka diperoleh faktor reduksi luasan sebesar 100%. Selanjutnya pada Gambar 2.5, untuk lama pencatatan hujan 24 jam, maka diperoleh faktor koreksi sebesar 100,70%.

$$\begin{aligned}PMP_{\text{terkoreksi}} &= 600,571 \cdot 100\% \cdot 100,7\% \\&= 565,362 \text{ mm}\end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai PMP yang diperoleh ini akan dikontrol dengan peta Isohit PMP -24 jam untuk wilayah Jawa Timur. Berdasarkan peta tersebut diperoleh PMP atau hujan maksimum di Kecamatan Pujon sebesar 520 mm. Karena nilai PMP hitung lebih besar daripada PMP yang diperoleh dari peta Isohit, maka dalam desain digunakan PMP hitung.



Gambar 4.1 Peta Isohit PMP-24 jam untuk wilayah Jawa Timur
Sumber: Panduan Perencanaan Bendungan Urugan (1999)

4.1.1.6. Distribusi Hujan dan Curah Hujan Netto Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman dihitung berdasarkan rumus *Mononobe* pada persamaan:

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \left[\frac{t}{T} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Untuk hujan pada jam ke 1, maka

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{24}}{6} \left[\frac{1}{6} \right]^{\frac{2}{3}} \\ &= 0,550 R_{24} \end{aligned}$$

Prosentase intensitas hujan rata-rata dalam 1 hari (R_t)

$$\begin{aligned} R_t &= (T \cdot R_T) - (T - 1) \cdot (R_{T-1}) \\ &= (1 \cdot 0,550) - (1 - 1) \cdot 0 \\ &= 0,55 \\ &= 55\% \end{aligned}$$

Dengan berasumsi bahwa rata-rata hujan di Indonesia berdurasi 6 jam, maka tabel perhitungan distribusi hujan *Mononobe* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perhitungan Distribusi Hujan *Mononobe* di Indonesia

Waktu (t) Jam	Distribusi hujan %
1	55.032
2	14.304
3	10.034
4	7.988
5	6.746
6	5.896
Jumlah	100.00

Sumber: Perhitungan

Selanjutnya, untuk menentukan distribusi hujan netto jam-jaman dihitung menggunakan persamaan:

$$R_{\text{netto}} = C \cdot R_t$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien pengaliran C dapat disesuaikan dengan kondisi dan lokasi DAS. Untuk DAS tertentu, besarnya koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.9. Kondisi daerah studi merupakan sungai di daerah pegunungan atau perbukitan dengan tutupan lahan yang masih baik serta jenis tanah penutup yang relatif porus, maka koefisien pengalirannya diambil sebesar 0,75.

Hujan rancangan netto untuk $T_r = 5$ th menurut Persamaan (2-15) adalah :

$$\begin{aligned} R_{\text{netto}} &= C \cdot R_t \\ &= 0,75 \cdot 127,881 \\ &= 95,911 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada jam ke-1 :

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,550 \cdot 95,911 \\ &= 52,782 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Pada jam ke-2 :

$$\begin{aligned} R_2 &= 0,143 \cdot 95,911 \\ &= 13,719 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.7. Perhitungan Distribusi Hujan Netto Jam-jaman

Jam ke	Rasio Distribusi Hujan	Hujan Jam-jaman (mm)						
		5	10	25	50	100	1000	PMP
1	0.550	52.782	59.006	66.290	71.425	77.164	91.898	233.348
2	0.143	13.719	15.337	17.230	18.565	20.057	23.886	60.652
3	0.100	9.624	10.758	12.087	13.023	14.069	16.756	42.546
4	0.080	7.661	8.565	9.622	10.367	11.201	13.339	33.871
5	0.067	6.470	7.233	8.126	8.755	9.458	11.264	28.603
6	0.059	5.655	6.322	7.103	7.653	8.268	9.846	25.002
HUJAN RANCANGAN (mm)		127.881	142.961	160.610	173.051	186.956	222.652	565,362
KOEFISIEN PENGALIRAN		0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
HUJAN EFEKTIF (mm)		95.911	107.221	120.458	129.788	140.217	166.989	424,022

Sumber: Perhitungan

4.1.1.7. Analisis Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Data yang diketahui :

$$\text{Luas DAS (A)} = 11,93 \text{ km}^2$$

$$\text{Panjang sungai utama} = 5,60 \text{ km}$$

$$\text{Unit hujan efektif (R}_0\text{)} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Parameter hidrograf } (\alpha) = 3,00$$

Untuk sungai dengan $L < 15 \text{ km}$,

maka berdasarkan Persamaan (2-21) :

$$t_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,21 \cdot 5,6^{0,7} \\
 &= 0,701 \text{ jam} \\
 t_r &= 1,0 \cdot t_g \\
 &= 1,0 \cdot 0,701 \\
 &= 0,701 \text{ jam} \\
 T_p &= t_g + 0,8 t_r \\
 &= 0,701 + 0,8 \cdot 0,701 \\
 &= 1,262 \text{ jam} \approx 1 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{0,3} &= \alpha \cdot t_g \\
 &= 3 \cdot 0,701 \\
 &= 2,104 \text{ jam} \approx 2 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_p + T_{0,3} &= 1,262 + 2,104 \\
 &= 3,367 \text{ jam} \approx 3 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3} &= 3,367 + 1,5 \cdot 2,104 \\
 &= 6,523 \text{ jam} \approx 7 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Dari Persamaan (2-16) didapatkan :

$$\begin{aligned}
 Q_p &= \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \\
 &= \frac{11,93 \cdot 1}{3,6 (0,3 \cdot 1,262 + 2,104)} \\
 &= 1,335 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_b &= 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \\
 &= 0,4751 \cdot 11,93^{0,6444} \cdot \frac{5,60^{0,943}}{11,93} \\
 &= 1,150 \text{ m}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk waktu (t) 1 jam ($0 < t < T_p$)

Maka hidrograf naik, sehingga berlaku Persamaan (2-22) :

$$\begin{aligned}
 Q(t) &= Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \\
 &= 1,335 \left(\frac{1}{1,262} \right)^{2,4} \\
 &= 0,763
 \end{aligned}$$

Pada kurva turun (*decreasing limb*)

- a. Selang nilai : $0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$, misalkan untuk $t = 2$, maka

$$\begin{aligned} Q(t) &= Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \\ &= 1,335 \cdot 0,3^{\frac{(2 - 1,262)}{2,104}} \\ &= 0,875 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

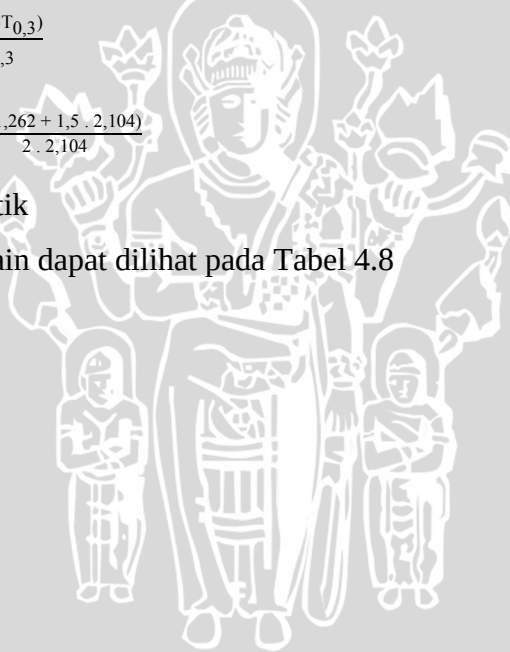
- b. Selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$, misalkan untuk $t = 3$,

$$\begin{aligned} Q(t) &= Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}} \\ &= 1,335 \cdot 0,3^{\frac{(3 - 1,262 + 0,5 \cdot 2,104)}{1,5 \cdot 2,104}} \\ &= 0,494 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

- c. Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$, misalkan untuk $t = 7$, maka

$$\begin{aligned} Q(t) &= Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{0,2 T_{0,3}}} \\ &= 1,335 \cdot 0,3^{\frac{(7 - 1,262 + 1,5 \cdot 2,104)}{2 \cdot 2,104}} \\ &= 0,105 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

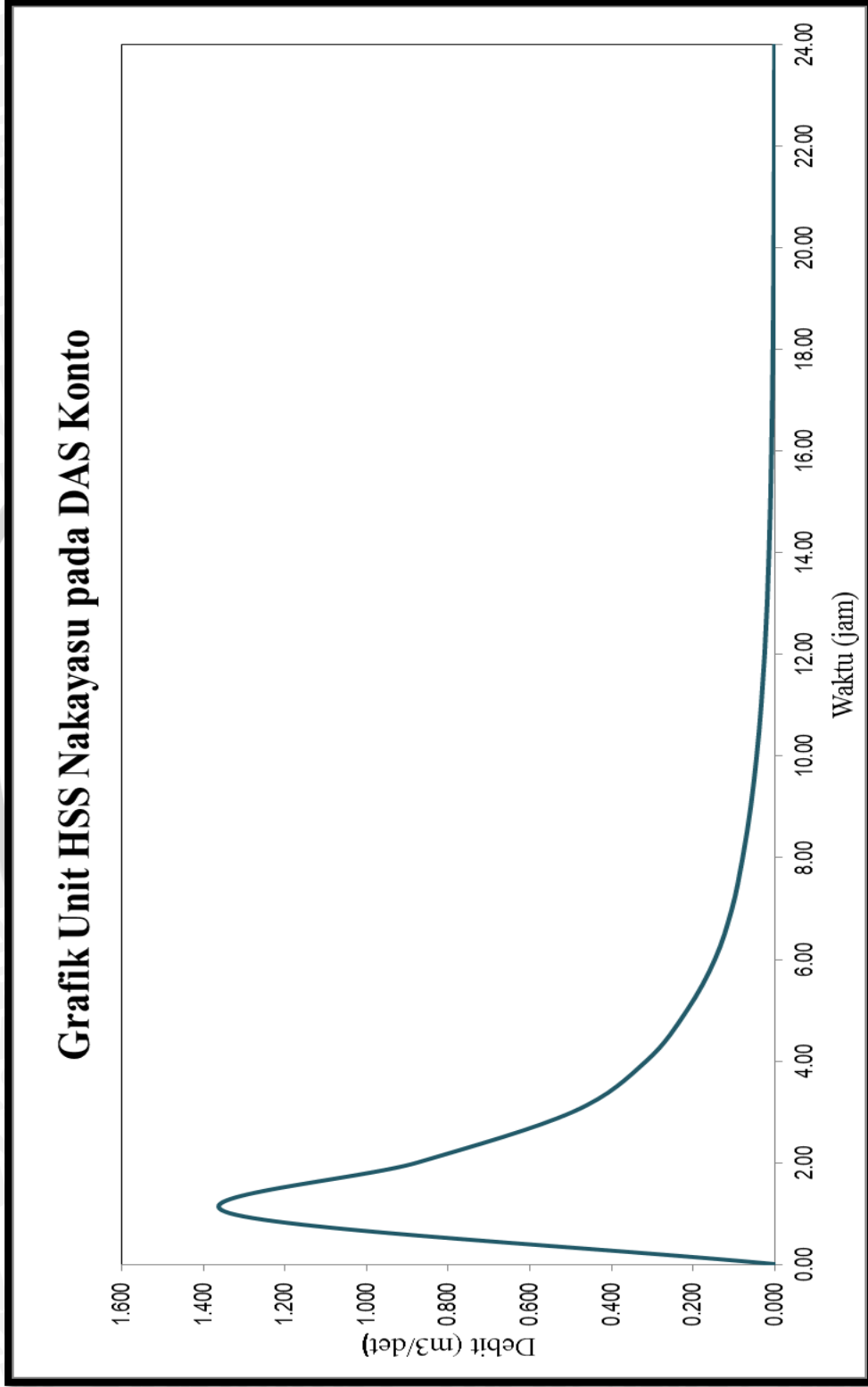
Perhitungan yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.8



Tabel 4.8. Perhitungan HSS Nakayasu

Waktu	$\frac{t}{T_p}$	$(t - T_p)$	$\frac{(t - T_p)}{T_{0,3}}$	$\frac{(t - T_p + 0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}$	$\frac{(t - T_p + 1,5 \cdot T_{0,3})}{2 \cdot T_{0,3}}$	$U(t, T)$	Ket.
0.00	0.00	-1.262	-0.600	-0.067	0.450	0.000	Qa
1.00	0.79	-0.262	-0.125	0.250	0.688	1.335	Tp
2.00	1.58	0.738	0.351	0.567	0.925	0.875	Qd1
3.00	2.38	1.738	0.826	0.884	1.163	0.494	Qd2
4.00	3.17	2.738	1.301	1.201	1.401	0.314	Qd3
5.00	3.96	3.738	1.776	1.518	1.638	0.215	
6.00	4.75	4.738	2.252	1.834	1.876	0.147	
7.00	5.54	5.738	2.727	2.151	2.113	0.105	
8.00	6.34	6.738	3.202	2.468	2.351	0.079	
9.00	7.13	7.738	3.677	2.785	2.589	0.059	
10.00	7.92	8.738	4.153	3.102	2.826	0.044	
11.00	8.71	9.738	4.628	3.419	3.064	0.033	
12.00	9.51	10.738	5.103	3.735	3.302	0.025	
13.00	10.30	11.738	5.578	4.052	3.539	0.019	
14.00	11.09	12.738	6.054	4.369	3.777	0.014	
15.00	11.88	13.738	6.529	4.686	4.014	0.011	
16.00	12.67	14.738	7.004	5.003	4.252	0.008	
17.00	13.47	15.738	7.479	5.320	4.490	0.006	
18.00	14.26	16.738	7.955	5.636	4.727	0.005	
19.00	15.05	17.738	8.430	5.953	4.965	0.003	
20.00	15.84	18.738	8.905	6.270	5.203	0.003	
21.00	16.63	19.738	9.380	6.587	5.440	0.002	
22.00	17.43	20.738	9.856	6.904	5.678	0.001	
23.00	18.22	21.738	10.331	7.221	5.915	0.001	
24.00	19.01	22.738	10.806	7.537	6.153	0.001	

Sumber: Perhitungan

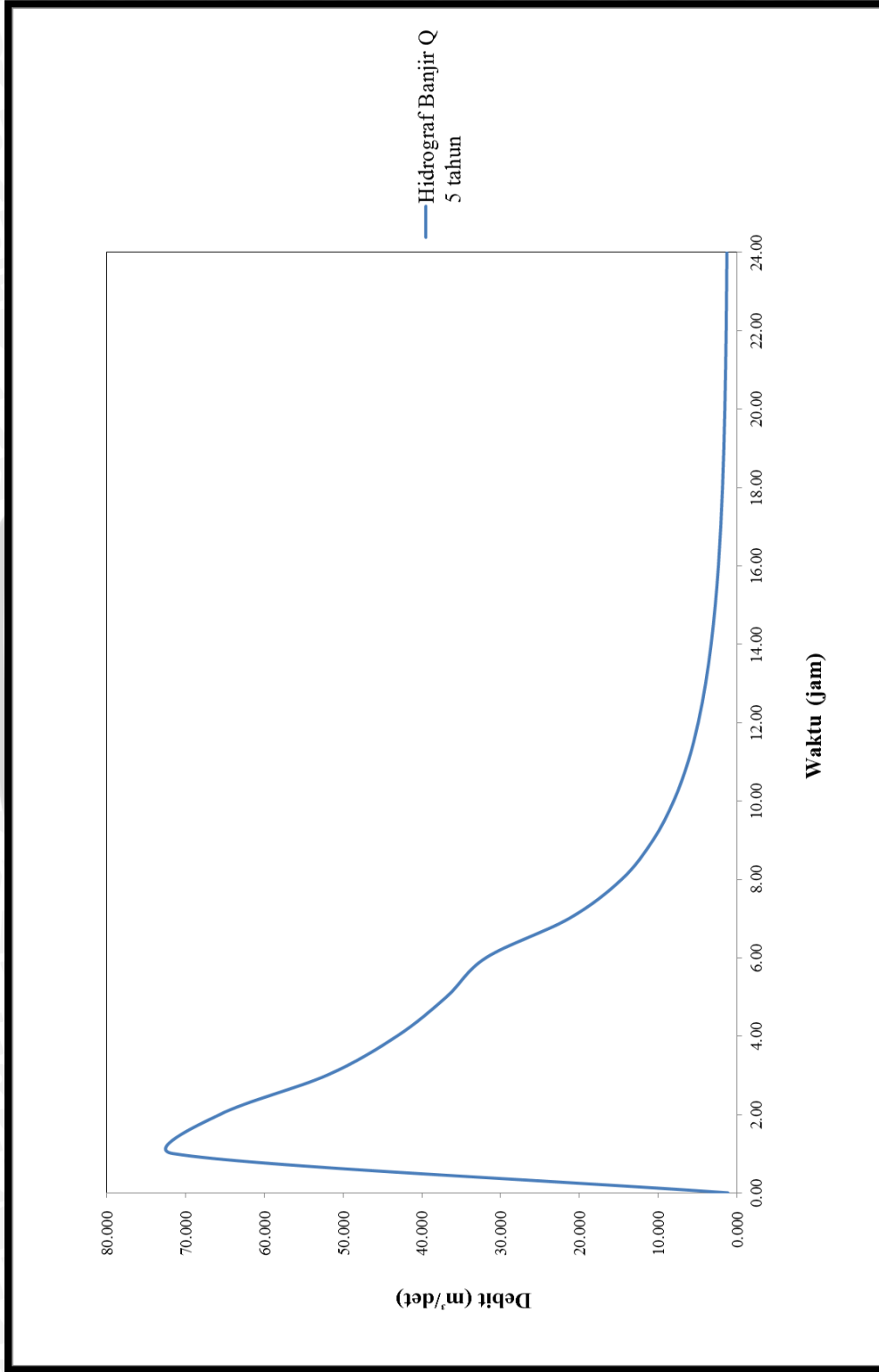


Gambar 4.2 Grafik Unit HSS Nakayasu DAS Konto
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.9. Hidrograf Banjir Q_{5th}

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		52.782	13.719	9.624	7.661	6.470	5.655		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	70.448	0.000					1.150	71.598
2.00	0.875	46.195	18.311	0.000				1.150	65.656
3.00	0.494	26.067	12.007	12.845	0.000			1.150	52.069
4.00	0.314	16.598	6.775	8.423	10.226	0.000		1.150	43.172
5.00	0.215	11.334	4.314	4.753	6.705	8.635	0.000	1.150	36.892
6.00	0.147	7.740	2.946	3.026	3.784	5.662	7.548	1.150	31.856
7.00	0.105	5.531	2.012	2.067	2.409	3.195	4.950	1.150	21.314
8.00	0.079	4.155	1.438	1.411	1.645	2.035	2.793	1.150	14.627
9.00	0.059	3.121	1.080	1.008	1.123	1.389	1.778	1.150	10.651
10.00	0.044	2.345	0.811	0.758	0.803	0.949	1.214	1.150	8.030
11.00	0.033	1.761	0.609	0.569	0.603	0.678	0.829	1.150	6.200
12.00	0.025	1.323	0.458	0.427	0.453	0.509	0.593	1.150	4.914
13.00	0.019	0.994	0.344	0.321	0.340	0.383	0.445	1.150	3.977
14.00	0.014	0.747	0.258	0.241	0.256	0.287	0.334	1.150	3.274
15.00	0.011	0.561	0.194	0.181	0.192	0.216	0.251	1.150	2.746
16.00	0.008	0.421	0.146	0.136	0.144	0.162	0.189	1.150	2.349
17.00	0.006	0.316	0.109	0.102	0.108	0.122	0.142	1.150	2.051
18.00	0.005	0.238	0.082	0.077	0.081	0.092	0.106	1.150	1.827
19.00	0.003	0.179	0.062	0.058	0.061	0.069	0.080	1.150	1.658
20.00	0.003	0.134	0.046	0.043	0.046	0.052	0.060	1.150	1.532
21.00	0.002	0.101	0.035	0.033	0.035	0.039	0.045	1.150	1.437
22.00	0.001	0.076	0.026	0.024	0.026	0.029	0.034	1.150	1.366
23.00	0.001	0.057	0.020	0.018	0.019	0.022	0.025	1.150	1.312
24.00	0.001	0.043	0.015	0.014	0.015	0.016	0.019	1.150	1.272
Maks									71.598

Sumber: Perhitungan

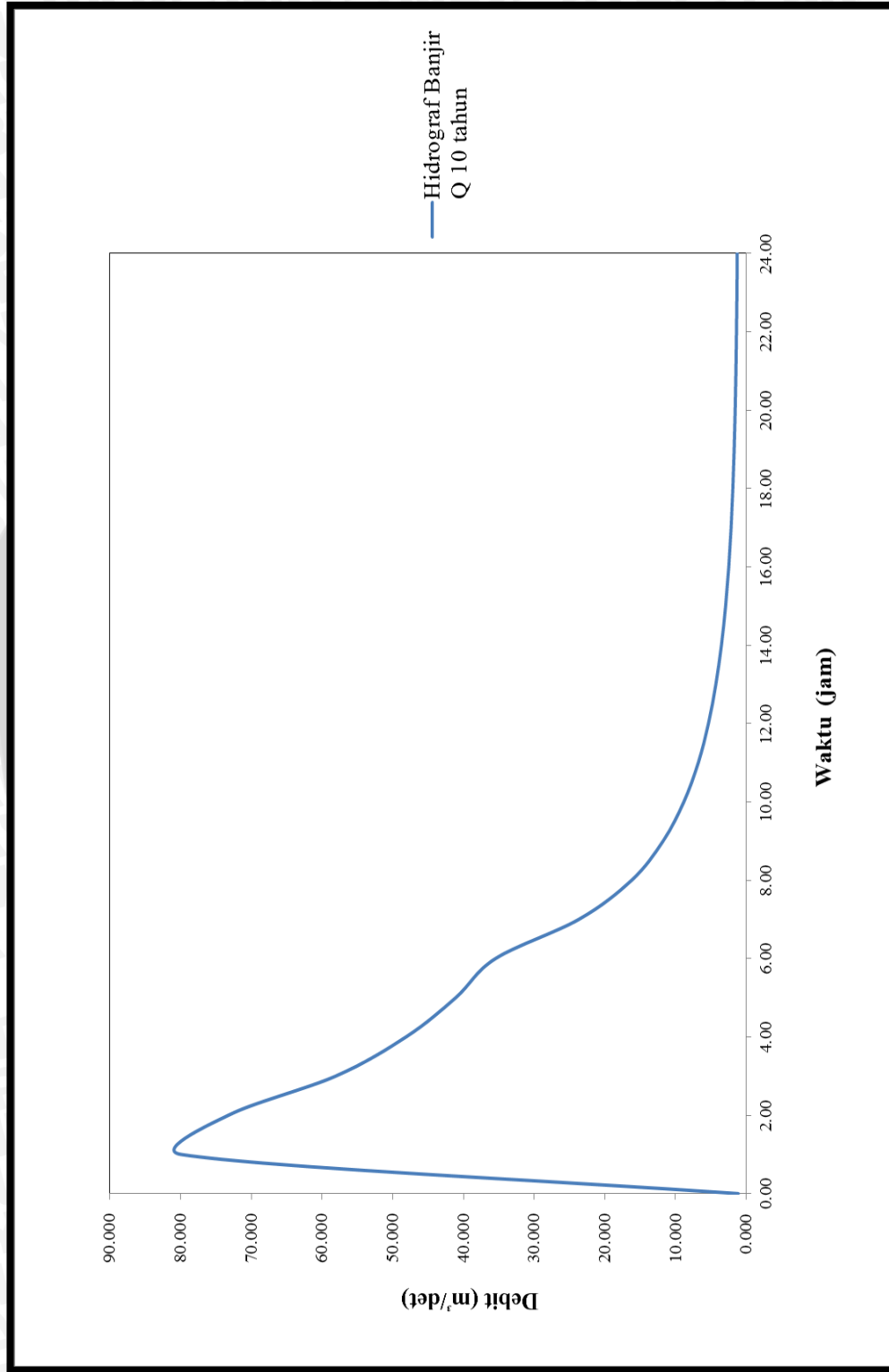


Gambar 4.3 Hidrograf Banjir Q_{5th}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.10. Hidrograf Banjir Q_{10th}

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		59.006	15.337	10.758	8.565	7.233	6.322		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	78.755	0.000					1.150	79.906
2.00	0.875	51.642	20.470	0.000				1.150	73.263
3.00	0.494	29.141	13.423	14.359	0.000			1.150	58.074
4.00	0.314	18.555	7.574	9.416	11.431	0.000		1.150	48.127
5.00	0.215	12.671	4.823	5.313	7.496	9.653	0.000	1.150	41.107
6.00	0.147	8.652	3.293	3.383	4.230	6.330	8.438	1.150	35.477
7.00	0.105	6.183	2.249	2.310	2.693	3.572	5.533	1.150	23.691
8.00	0.079	4.645	1.607	1.578	1.839	2.274	3.122	1.150	16.216
9.00	0.059	3.489	1.207	1.127	1.256	1.553	1.988	1.150	11.771
10.00	0.044	2.621	0.907	0.847	0.898	1.061	1.358	1.150	8.841
11.00	0.033	1.969	0.681	0.636	0.674	0.758	0.927	1.150	6.796
12.00	0.025	1.479	0.512	0.478	0.506	0.569	0.663	1.150	5.357
13.00	0.019	1.111	0.384	0.359	0.380	0.428	0.498	1.150	4.311
14.00	0.014	0.835	0.289	0.270	0.286	0.321	0.374	1.150	3.524
15.00	0.011	0.627	0.217	0.203	0.215	0.241	0.281	1.150	2.934
16.00	0.008	0.471	0.163	0.152	0.161	0.181	0.211	1.150	2.490
17.00	0.006	0.354	0.122	0.114	0.121	0.136	0.158	1.150	2.157
18.00	0.005	0.266	0.092	0.086	0.091	0.102	0.119	1.150	1.906
19.00	0.003	0.200	0.069	0.065	0.068	0.077	0.089	1.150	1.718
20.00	0.003	0.150	0.052	0.048	0.051	0.058	0.067	1.150	1.577
21.00	0.002	0.113	0.039	0.036	0.039	0.043	0.050	1.150	1.471
22.00	0.001	0.085	0.029	0.027	0.029	0.033	0.038	1.150	1.391
23.00	0.001	0.064	0.022	0.021	0.022	0.024	0.028	1.150	1.331
24.00	0.001	0.048	0.017	0.015	0.016	0.018	0.021	1.150	1.286
Maks									79.906

Sumber: Perhitungan

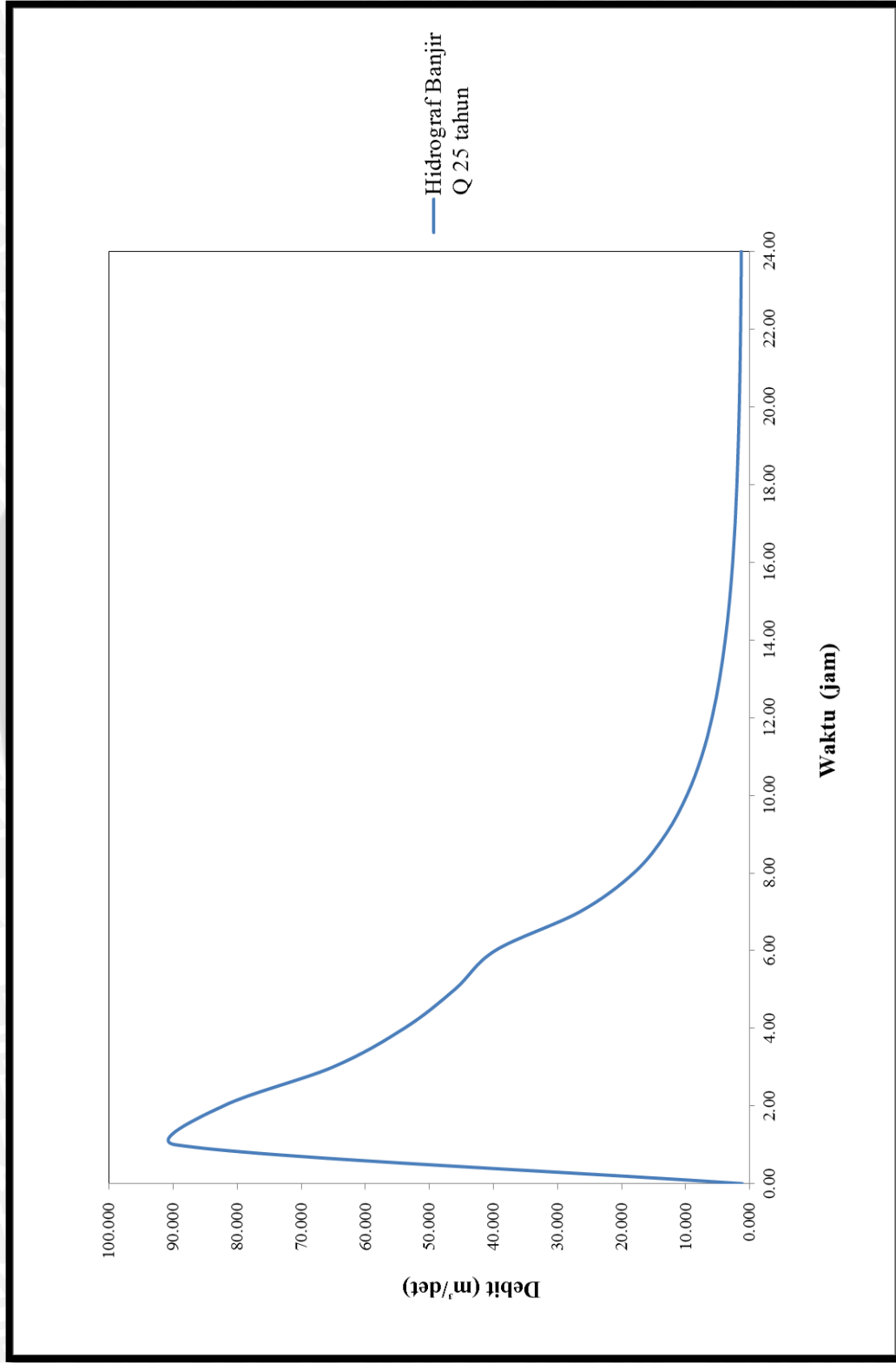


Gambar 4.4 Hidrograf Banjir Q_{10h}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.11. Hidrograf Banjir Q25th

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		66.290	17.230	12.087	9.622	8.126	7.103		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	88.478	0.000					1.150	89.628
2.00	0.875	58.018	22.997	0.000				1.150	82.165
3.00	0.494	32.738	15.080	16.132	0.000			1.150	65.101
4.00	0.314	20.846	8.509	10.578	12.843	0.000		1.150	53.927
5.00	0.215	14.235	5.418	5.969	8.421	10.845	0.000	1.150	46.039
6.00	0.147	9.720	3.700	3.801	4.752	7.111	9.480	1.150	39.715
7.00	0.105	6.947	2.527	2.595	3.026	4.013	6.216	1.150	26.474
8.00	0.079	5.218	1.806	1.772	2.066	2.555	3.508	1.150	18.076
9.00	0.059	3.920	1.356	1.267	1.411	1.745	2.234	1.150	13.083
10.00	0.044	2.945	1.019	0.951	1.008	1.191	1.525	1.150	9.790
11.00	0.033	2.212	0.765	0.715	0.757	0.852	1.041	1.150	7.493
12.00	0.025	1.662	0.575	0.537	0.569	0.640	0.744	1.150	5.877
13.00	0.019	1.248	0.432	0.403	0.427	0.480	0.559	1.150	4.701
14.00	0.014	0.938	0.324	0.303	0.321	0.361	0.420	1.150	3.817
15.00	0.011	0.704	0.244	0.228	0.241	0.271	0.316	1.150	3.154
16.00	0.008	0.529	0.183	0.171	0.181	0.204	0.237	1.150	2.655
17.00	0.006	0.397	0.138	0.128	0.136	0.153	0.178	1.150	2.281
18.00	0.005	0.299	0.103	0.096	0.102	0.115	0.134	1.150	2.000
19.00	0.003	0.224	0.078	0.072	0.077	0.086	0.100	1.150	1.788
20.00	0.003	0.168	0.058	0.054	0.058	0.065	0.075	1.150	1.630
21.00	0.002	0.127	0.044	0.041	0.043	0.049	0.057	1.150	1.510
22.00	0.001	0.095	0.033	0.031	0.033	0.037	0.043	1.150	1.421
23.00	0.001	0.071	0.025	0.023	0.024	0.027	0.032	1.150	1.354
24.00	0.001	0.054	0.019	0.017	0.018	0.021	0.024	1.150	1.303
Maks									89.628

Sumber: Perhitungan

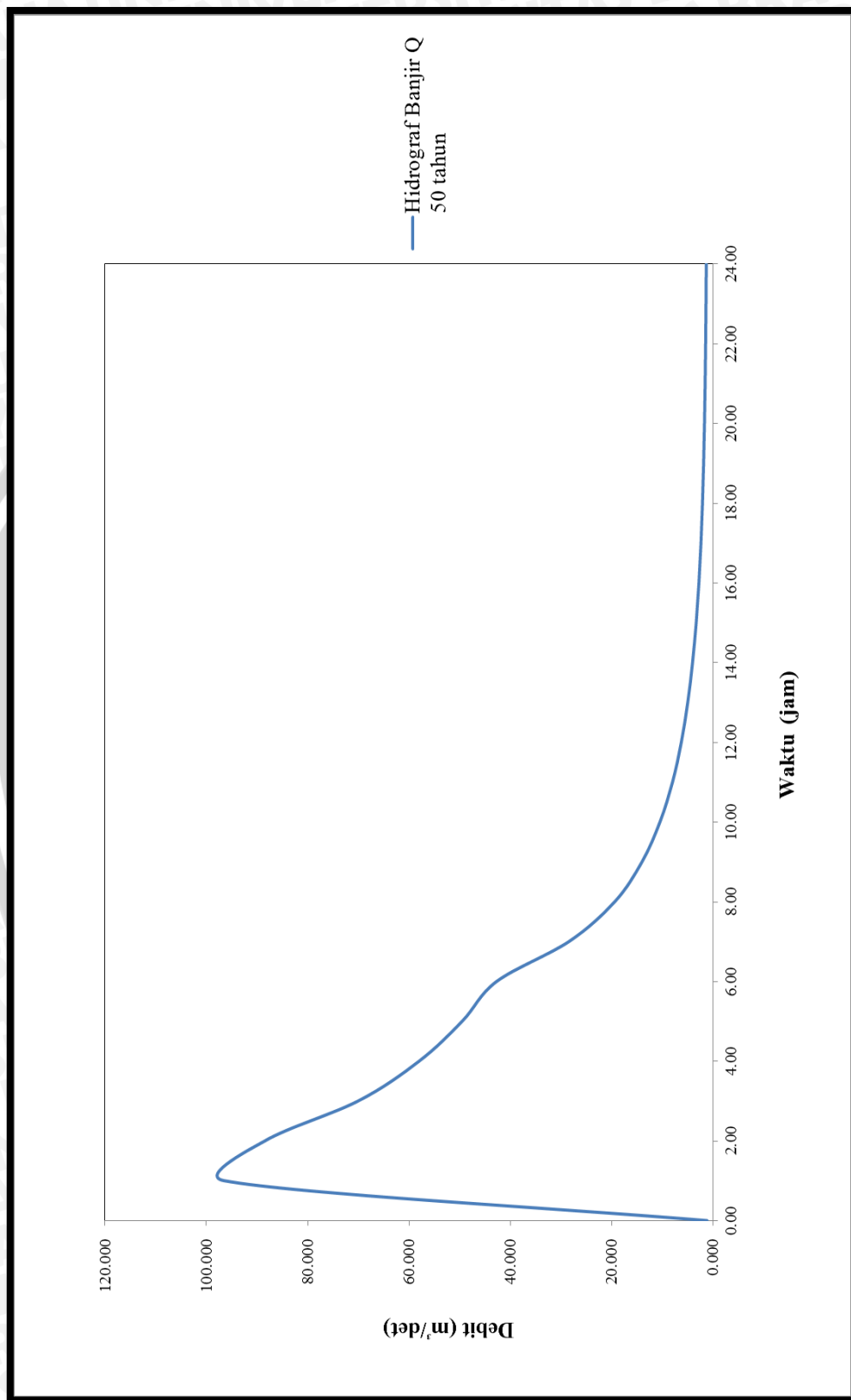


Gambar 4.5 Hidrograf Banjir Q_{25h}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.12. Hidrograf Banjir Q_{50th}

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		71.425	18.565	13.023	10.367	8.755	7.653		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	95.331	0.000					1.150	96.481
2.00	0.875	62.511	24.779	0.000				1.150	88.440
3.00	0.494	35.274	16.248	17.382	0.000			1.150	70.054
4.00	0.314	22.461	9.169	11.398	13.837	0.000		1.150	58.015
5.00	0.215	15.338	5.838	6.432	9.074	11.685	0.000	1.150	49.516
6.00	0.147	10.473	3.987	4.095	5.120	7.662	10.214	1.150	42.702
7.00	0.105	7.485	2.722	2.796	3.260	4.324	6.698	1.150	28.436
8.00	0.079	5.623	1.945	1.910	2.226	2.753	3.779	1.150	19.387
9.00	0.059	4.224	1.461	1.365	1.520	1.880	2.407	1.150	14.007
10.00	0.044	3.173	1.098	1.025	1.086	1.284	1.643	1.150	10.460
11.00	0.033	2.383	0.825	0.770	0.816	0.917	1.122	1.150	7.984
12.00	0.025	1.790	0.619	0.578	0.613	0.689	0.802	1.150	6.243
13.00	0.019	1.345	0.465	0.435	0.461	0.518	0.602	1.150	4.976
14.00	0.014	1.010	0.350	0.326	0.346	0.389	0.453	1.150	4.024
15.00	0.011	0.759	0.263	0.245	0.260	0.292	0.340	1.150	3.309
16.00	0.008	0.570	0.197	0.184	0.195	0.219	0.255	1.150	2.772
17.00	0.006	0.428	0.148	0.138	0.147	0.165	0.192	1.150	2.368
18.00	0.005	0.322	0.111	0.104	0.110	0.124	0.144	1.150	2.065
19.00	0.003	0.242	0.084	0.078	0.083	0.093	0.108	1.150	1.838
20.00	0.003	0.182	0.063	0.059	0.062	0.070	0.081	1.150	1.667
21.00	0.002	0.136	0.047	0.044	0.047	0.052	0.061	1.150	1.538
22.00	0.001	0.102	0.035	0.033	0.035	0.039	0.046	1.150	1.442
23.00	0.001	0.077	0.027	0.025	0.026	0.030	0.034	1.150	1.369
24.00	0.001	0.058	0.020	0.019	0.020	0.022	0.026	1.150	1.315
Maks									96.481

Sumber: Perhitungan

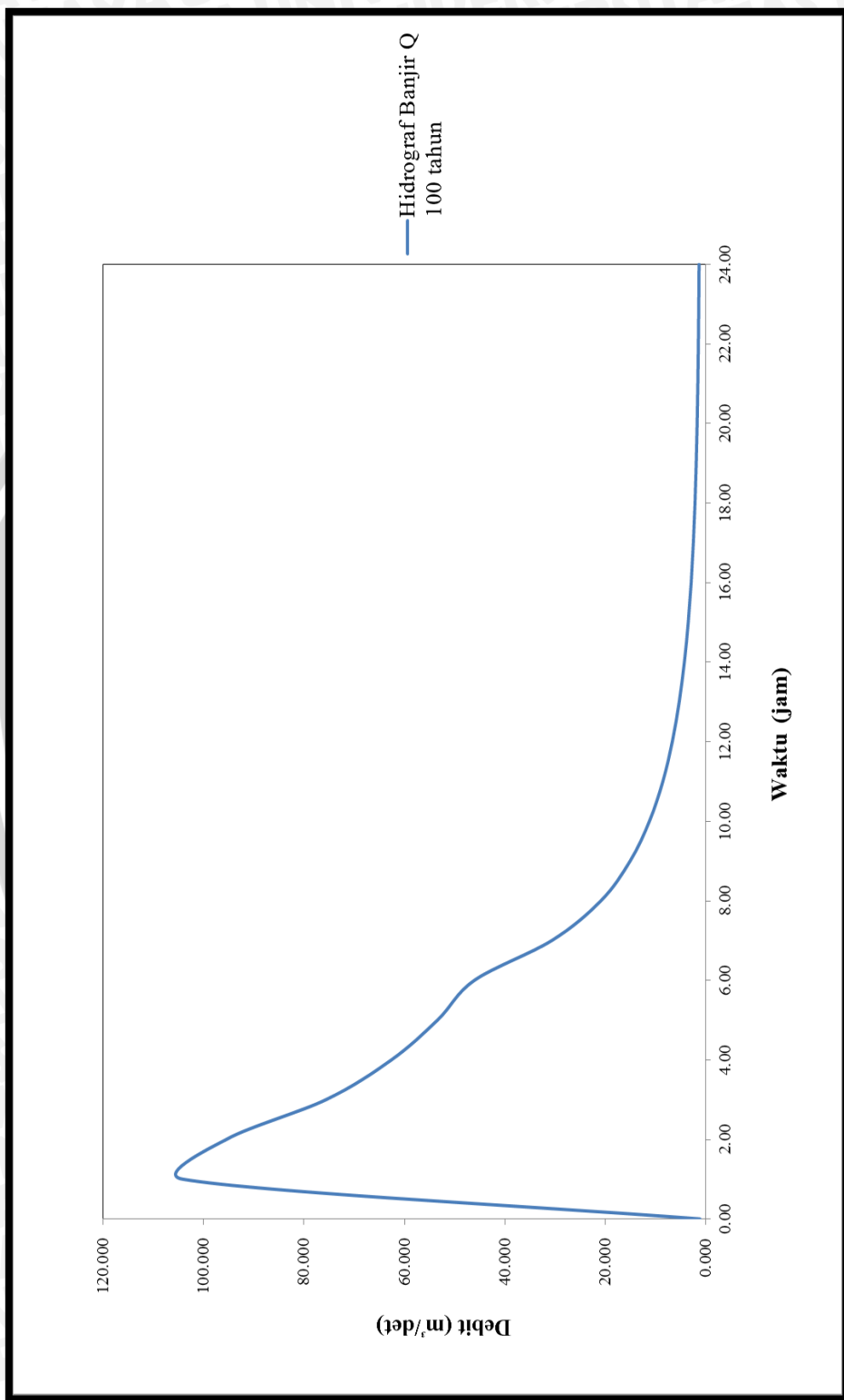


Gambar 4.6 Hidrograf Banjir Q₅₀th
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.13. Hidrograf Banjir Q_{100th}

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		77.164	20.057	14.069	11.201	9.458	8.268		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	102.991	0.000					1.150	104.142
2.00	0.875	67.534	26.770	0.000				1.150	95.454
3.00	0.494	38.109	17.554	18.778	0.000			1.150	75.591
4.00	0.314	24.265	9.905	12.313	14.949	0.000		1.150	62.584
5.00	0.215	16.570	6.307	6.948	9.803	12.624	0.000	1.150	53.403
6.00	0.147	11.315	4.307	4.424	5.532	8.278	11.035	1.150	46.041
7.00	0.105	8.086	2.941	3.021	3.522	4.671	7.236	1.150	30.628
8.00	0.079	6.074	2.102	2.063	2.405	2.974	4.083	1.150	20.852
9.00	0.059	4.563	1.579	1.474	1.642	2.031	2.600	1.150	15.040
10.00	0.044	3.428	1.186	1.108	1.174	1.387	1.775	1.150	11.208
11.00	0.033	2.575	0.891	0.832	0.882	0.991	1.212	1.150	8.533
12.00	0.025	1.934	0.669	0.625	0.662	0.745	0.866	1.150	6.652
13.00	0.019	1.453	0.503	0.469	0.498	0.559	0.651	1.150	5.283
14.00	0.014	1.091	0.378	0.353	0.374	0.420	0.489	1.150	4.255
15.00	0.011	0.820	0.284	0.265	0.281	0.316	0.367	1.150	3.482
16.00	0.008	0.616	0.213	0.199	0.211	0.237	0.276	1.150	2.902
17.00	0.006	0.463	0.160	0.149	0.158	0.178	0.207	1.150	2.466
18.00	0.005	0.348	0.120	0.112	0.119	0.134	0.156	1.150	2.139
19.00	0.003	0.261	0.090	0.084	0.089	0.100	0.117	1.150	1.893
20.00	0.003	0.196	0.068	0.063	0.067	0.075	0.088	1.150	1.708
21.00	0.002	0.147	0.051	0.048	0.050	0.057	0.066	1.150	1.569
22.00	0.001	0.111	0.038	0.036	0.038	0.043	0.050	1.150	1.465
23.00	0.001	0.083	0.029	0.027	0.028	0.032	0.037	1.150	1.387
24.00	0.001	0.062	0.022	0.020	0.021	0.024	0.028	1.150	1.328
Maks									104.142

Sumber: Perhitungan

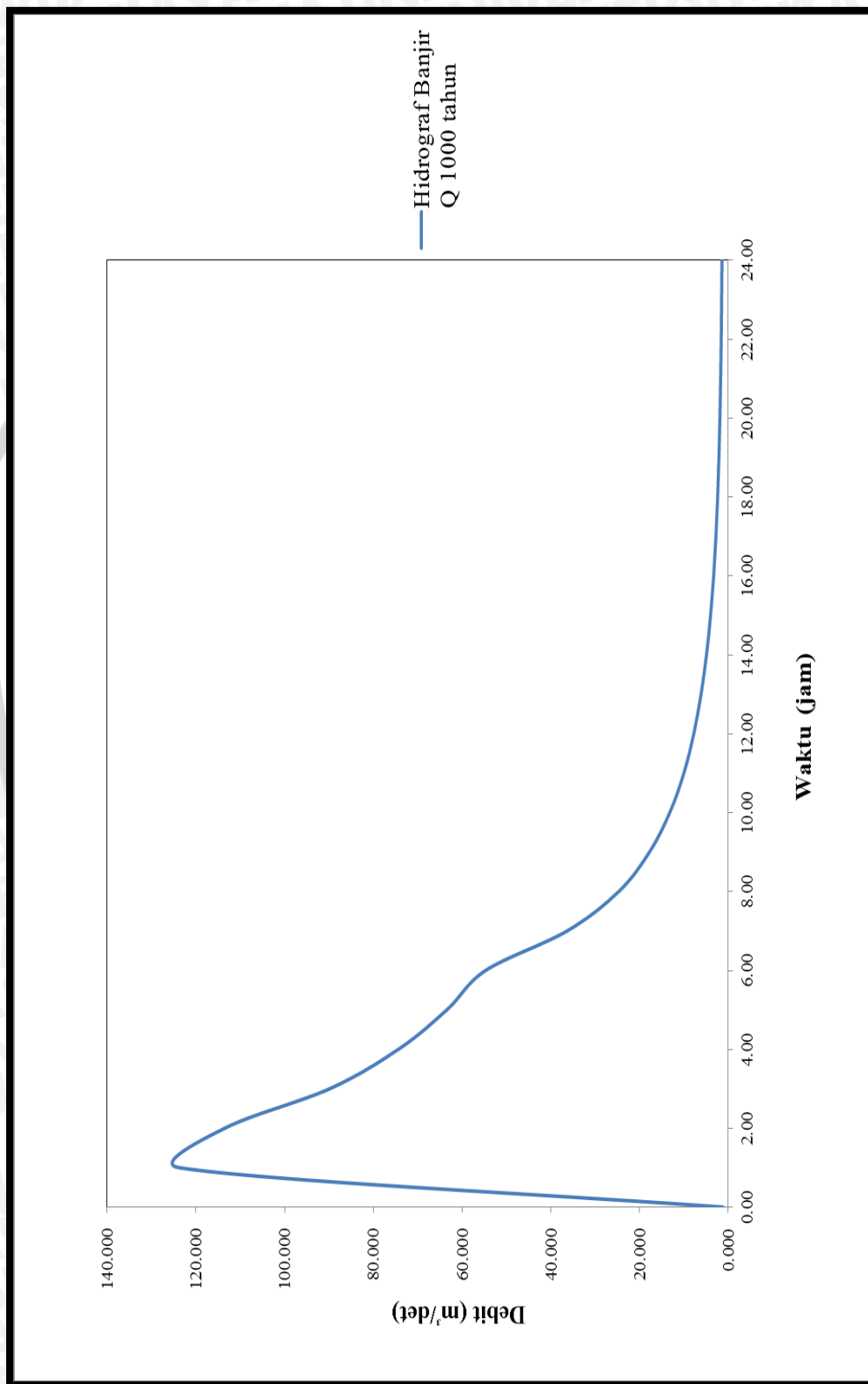


Gambar 4.7 Hidrograf Banjir Q_{100th}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.14. Hidrograf Banjir Q_{1000th}

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		91.898	23.886	16.756	13.339	11.264	9.846		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	122.656	0.000					1.150	123.806
2.00	0.875	80.429	31.881	0.000				1.150	113.460
3.00	0.494	45.385	20.905	22.364	0.000			1.150	89.804
4.00	0.314	28.899	11.796	14.664	17.804	0.000		1.150	74.314
5.00	0.215	19.734	7.511	8.275	11.674	15.035	0.000	1.150	63.379
6.00	0.147	13.475	5.129	5.269	6.588	9.859	13.142	1.150	54.612
7.00	0.105	9.630	3.503	3.598	4.195	5.563	8.618	1.150	36.256
8.00	0.079	7.234	2.503	2.457	2.864	3.542	4.863	1.150	24.614
9.00	0.059	5.434	1.880	1.756	1.956	2.419	3.096	1.150	17.692
10.00	0.044	4.082	1.412	1.319	1.398	1.652	2.114	1.150	13.128
11.00	0.033	3.066	1.061	0.991	1.050	1.180	1.444	1.150	9.943
12.00	0.025	2.303	0.797	0.744	0.789	0.887	1.032	1.150	7.703
13.00	0.019	1.730	0.599	0.559	0.593	0.666	0.775	1.150	6.072
14.00	0.014	1.300	0.450	0.420	0.445	0.500	0.582	1.150	4.848
15.00	0.011	0.976	0.338	0.315	0.334	0.376	0.437	1.150	3.928
16.00	0.008	0.733	0.254	0.237	0.251	0.282	0.329	1.150	3.237
17.00	0.006	0.551	0.191	0.178	0.189	0.212	0.247	1.150	2.718
18.00	0.005	0.414	0.143	0.134	0.142	0.159	0.185	1.150	2.328
19.00	0.003	0.311	0.108	0.100	0.106	0.120	0.139	1.150	2.035
20.00	0.003	0.234	0.081	0.075	0.080	0.090	0.105	1.150	1.815
21.00	0.002	0.175	0.061	0.057	0.060	0.068	0.079	1.150	1.649
22.00	0.001	0.132	0.046	0.043	0.045	0.051	0.059	1.150	1.525
23.00	0.001	0.099	0.034	0.032	0.034	0.038	0.044	1.150	1.432
24.00	0.001	0.074	0.026	0.024	0.025	0.029	0.033	1.150	1.362
Maks									123.806

Sumber: Perhitungan

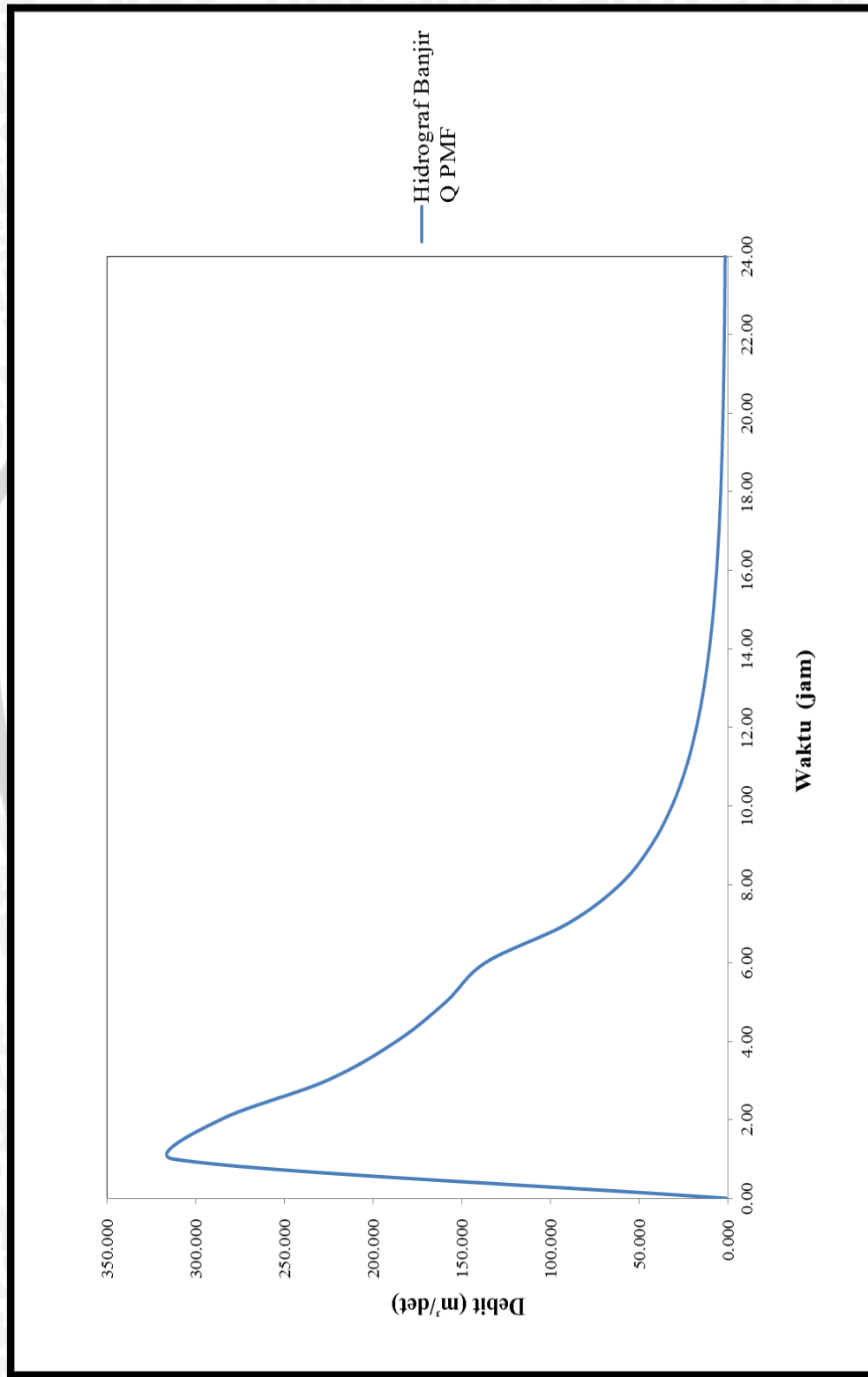


Gambar 4.8 Hidrograf Banjir Q_{1000th}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.15. Hidrograf Banjir QPMF

T	U(t,T) m ³ /det/mm	AKIBAT HUJAN (mm)						Q Baseflow m ³ /det	Q m ³ /det
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		233.348	60.652	42.546	33.871	28.603	25.002		
0.00	0.000	0.000						1.150	1.150
1.00	1.335	311.450	0.000					1.150	312.600
2.00	0.875	204.227	80.952	0.000				1.150	286.330
3.00	0.494	115.242	53.083	56.786	0.000			1.150	226.262
4.00	0.314	73.380	29.954	37.236	45.207	0.000		1.150	186.928
5.00	0.215	50.108	19.073	21.012	29.644	38.176	0.000	1.150	159.163
6.00	0.147	34.217	13.024	13.379	16.728	25.033	33.370	1.150	136.902
7.00	0.105	24.453	8.894	9.136	10.651	14.126	21.882	1.150	90.292
8.00	0.079	18.369	6.356	6.239	7.273	8.995	12.348	1.150	60.729
9.00	0.059	13.799	4.775	4.459	4.967	6.142	7.862	1.150	43.153
10.00	0.044	10.365	3.587	3.349	3.549	4.194	5.369	1.150	31.564
11.00	0.033	7.786	2.694	2.516	2.666	2.997	3.666	1.150	23.477
12.00	0.025	5.849	2.024	1.890	2.003	2.252	2.620	1.150	17.788
13.00	0.019	4.394	1.520	1.420	1.505	1.691	1.968	1.150	13.648
14.00	0.014	3.301	1.142	1.066	1.130	1.271	1.478	1.150	10.539
15.00	0.011	2.479	0.858	0.801	0.849	0.954	1.111	1.150	8.203
16.00	0.008	1.862	0.644	0.602	0.638	0.717	0.834	1.150	6.448
17.00	0.006	1.399	0.484	0.452	0.479	0.539	0.627	1.150	5.130
18.00	0.005	1.051	0.364	0.340	0.360	0.405	0.471	1.150	4.140
19.00	0.003	0.789	0.273	0.255	0.270	0.304	0.354	1.150	3.396
20.00	0.003	0.593	0.205	0.192	0.203	0.228	0.266	1.150	2.837
21.00	0.002	0.445	0.154	0.144	0.153	0.171	0.200	1.150	2.418
22.00	0.001	0.335	0.116	0.108	0.115	0.129	0.150	1.150	2.102
23.00	0.001	0.251	0.087	0.081	0.086	0.097	0.113	1.150	1.865
24.00	0.001	0.189	0.065	0.061	0.065	0.073	0.085	1.150	1.688
Maks									312.60

Sumber: Perhitungan

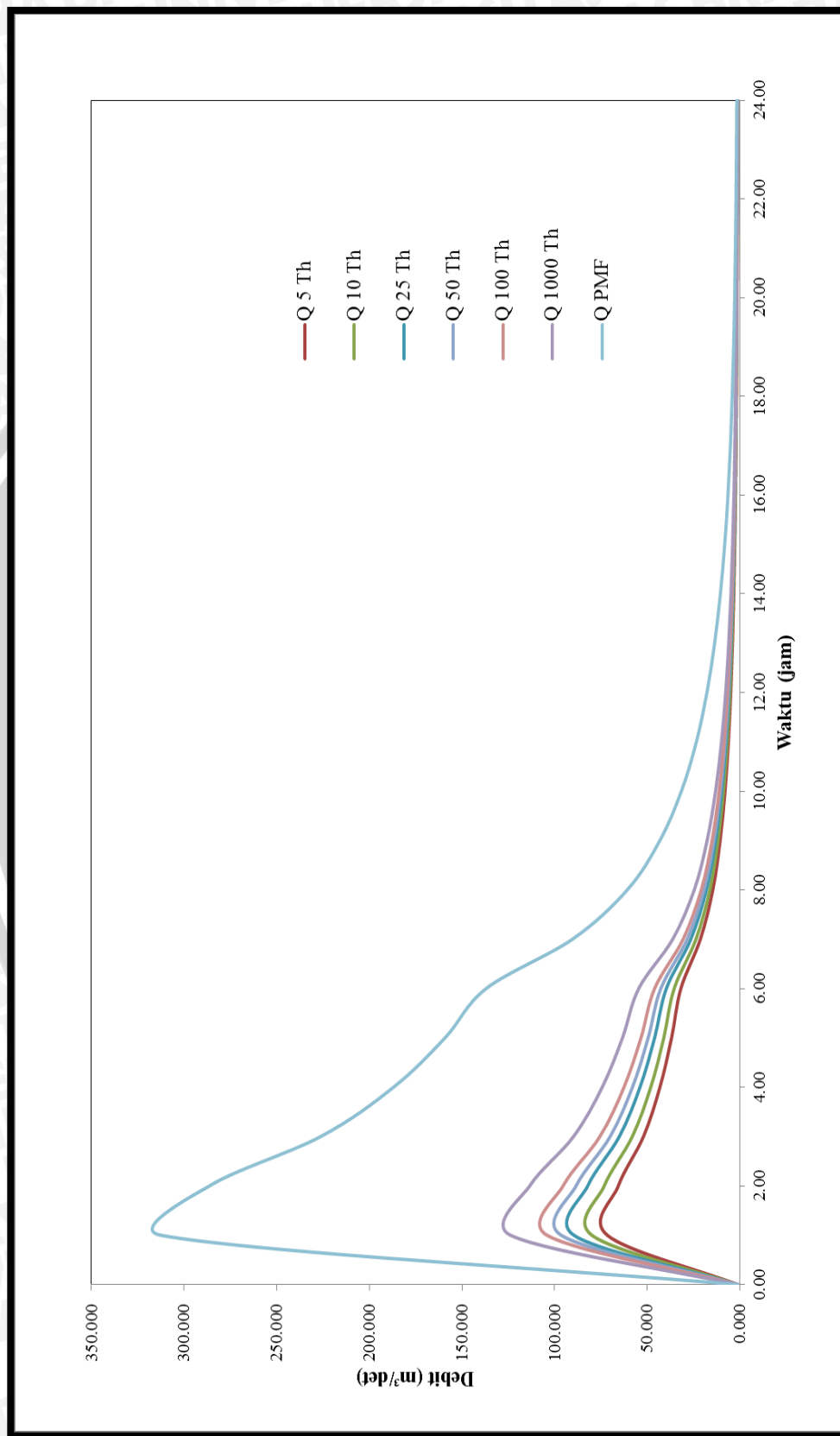


Gambar 4.9 Hidrograf Banjir Q_{PMF}
Sumber: Perhitungan

Tabel 4.16. Rekap Hidrograf Banjir

Waktu	Debit Banjir (m ³ /detik)						
	Q 5 Th	Q 10 Th	Q 25 Th	Q 50 Th	Q 100 Th	Q 1000 Th	Q PMF
0	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
1	71.598	79.906	89.628	96.481	104.142	123.806	312.6
2	65.656	73.263	82.165	88.44	95.454	113.46	286.33
3	52.069	58.074	65.101	70.054	75.591	89.804	226.262
4	43.172	48.127	53.927	58.015	62.584	74.314	186.928
5	36.892	41.107	46.039	49.516	53.403	63.379	159.163
6	31.856	35.477	39.715	42.702	46.041	54.612	136.902
7	21.314	23.691	26.474	28.436	30.628	36.256	90.292
8	14.627	16.216	18.076	19.387	20.852	24.614	60.729
9	10.651	11.771	13.083	14.007	15.04	17.692	43.153
10	8.03	8.841	9.79	10.46	11.208	13.128	31.564
11	6.2	6.796	7.493	7.984	8.533	9.943	23.477
12	4.914	5.357	5.877	6.243	6.652	7.703	17.788
13	3.977	4.311	4.701	4.976	5.283	6.072	13.648
14	3.274	3.524	3.817	4.024	4.255	4.848	10.539
15	2.746	2.934	3.154	3.309	3.482	3.928	8.203
16	2.349	2.49	2.655	2.772	2.902	3.237	6.448
17	2.051	2.157	2.281	2.368	2.466	2.718	5.13
18	1.827	1.906	2	2.065	2.139	2.328	4.14
19	1.658	1.718	1.788	1.838	1.893	2.035	3.396
20	1.532	1.577	1.63	1.667	1.708	1.815	2.837
21	1.437	1.471	1.51	1.538	1.569	1.649	2.418
22	1.366	1.391	1.421	1.442	1.465	1.525	2.102
23	1.312	1.331	1.354	1.369	1.387	1.432	1.865
24	1.272	1.286	1.303	1.315	1.328	1.362	1.688
Maks	71.598	79.906	89.628	96.481	104.142	123.806	312.6

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik rekap hidrograf banjir Nakayasu
Sumber: Perhitungan

4.2. Penentuan Kapasitas Tampungan Waduk

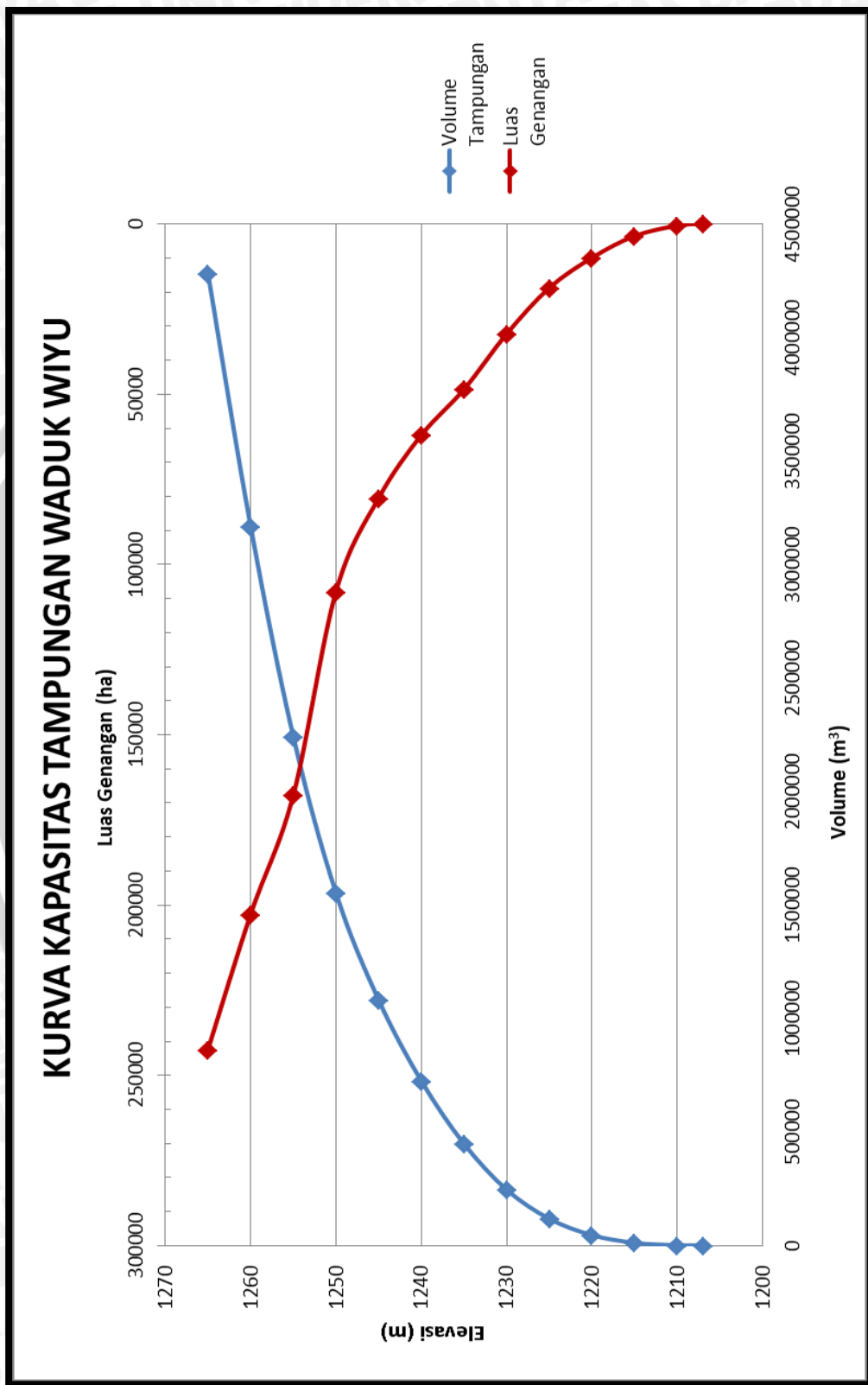
4.2.1. Analisis Lengkung Kapasitas pada Waduk

Analisis ini menghasilkan suatu kurva yang menunjukkan hubungan antara elevasi, volume waduk, serta luas genangan pada sekitar lokasi rencana bendungan. Dari data topografi yang tersedia, kemudian dikonversi menjadi bentuk luasan dan elevasi kemudian dianalisis hingga ditemukan volume tampungan seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.17. Tampungan dan Luas Genangan Waduk pada Tiap Elevasi

No.	Elevasi	ΔH	Selisih dengan Kontur Terendah	Luas Kontur (daerah genangan)	Luas Rata-Rata Antar Kontur	Volume Antar Interval Kontur	Volume Tampungan Waduk
	(m)		(m)	(m ²)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1207.0		0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1210.0	3.0	3.0	568.71	284.35	853.06	853.06
3	1215.0	5.0	8.0	3575.91	2072.31	10361.55	11214.61
4	1220.0	5.0	13.0	9980.51	6778.21	33891.05	45105.66
5	1225.0	5.0	18.0	18803.20	14391.86	71959.28	117064.93
6	1230.0	5.0	23.0	32301.60	25552.40	127762.00	244826.93
7	1235.0	5.0	28.0	48598.50	40450.05	202250.25	447077.18
8	1240.0	5.0	33.0	62053.70	55326.10	276630.50	723707.68
9	1245.0	5.0	38.0	80512.80	71283.25	356416.25	1080123.93
10	1250.0	5.0	43.0	107993.00	94252.90	471264.50	1551388.43
11	1255.0	5.0	48.0	167786.00	137889.50	689447.50	2240835.93
12	1260.0	5.0	53.0	202774.00	185280.00	926400.00	3167235.93
13	1265.0	5.0	58.0	242496.00	222635.00	1113175.00	4280410.93

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.11 Kurva kapasitas tampungan Waduk Konto Wiyu
Sumber: Perhitungan

4.3. Penelusuran Banjir pada Pelimpah

4.3.1. Penentuan Koefisien Debit Pelimpah

Langkah awal penentuan koefisien debit pelimpah adalah dengan cara melakukan perhitungan coba-coba nilai koefisien, perhitungan ini mengikuti prosedur pada persamaan (2-29) sampai (2-32).

Diketahui:

$$\text{Elevasi dasar bendungan} = +1207$$

$$\text{Elevasi ambang pelimpah} = +1240$$

$$\text{Elevasi dasar pelimpah} = +1237$$

$$\text{Tinggi pelimpah} = 3 \text{ m}$$

$$C_d = 2,1 \text{ (asumsi awal dicoba sebesar 2,1)}$$

$$Q_{1000th} = 123,806 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{PMF} = 312,600 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Lebar pelimpah rencana} = 20 \text{ m}$$

$$\text{Koef. Pilar } (K_p) = 0,01$$

$$\text{Koef. Abutmen } (K_a) = 0,1$$

$$\text{Jumlah pilar} = 0$$

Maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned} B &= B' - 2(n \cdot K_p + K_a) \cdot H_d \\ &= 20 - 2(0 + 0,1) \cdot H_d \\ &= 20 - 0,2 H_d \end{aligned}$$

Menurut persamaan (2-29), pada saat $H = H_d$ atau $C = C_d$ maka:

$$\begin{aligned} Q &= C \cdot B \cdot H^{3/2} \\ 123,806 &= 2 \cdot (2 - 0,2H_d) \cdot (H_d^{3/2}) \end{aligned}$$

Didapatkan H_d sebesar 2,155 m

Cek nilai $C_d = 2$ dengan rumus Iwasaki:

$$\begin{aligned} C_d &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{H_d}{W}\right)^{0,99} \\ &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{2,155}{3}\right)^{0,99} \\ &= 2,170 > \text{nilai } C_d \text{ asumsi } (C_d \text{ asumsi} = 2,1) \end{aligned}$$

Untuk itu perlu dicoba lagi nilai C_d supaya C_d asumsi = C_d hitung, selanjutnya dicoba nilai $C_d = 2,170$. Dengan prosedur sama seperti perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai $H_d = 2,039$ m.

$$\begin{aligned}
 C_d &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{H_d}{W}\right)^{0,99} \\
 &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{2,240}{3}\right)^{0,99} \\
 &= 2,171 = \text{nilai } C_d \text{ asumsi } (C_d \text{ asumsi} = 2,170)
 \end{aligned}$$

Karena hasil belum sama, untuk itu perlu dicoba lagi nilai C_d supaya C_d asumsi = C_d hitung, selanjutnya dicoba nilai $C_d = 2,171$. Dengan prosedur sama seperti perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai $H_d = 2,038$ m.

$$\begin{aligned}
 C_d &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{H_d}{W}\right)^{0,99} \\
 &= 2,2 - 0,0416 \cdot \left(\frac{2,239}{3}\right)^{0,99} \\
 &= 2,171 = \text{nilai } C_d \text{ asumsi } (C_d \text{ asumsi} = 2,171)
 \end{aligned}$$

Maka nilai C_d yang dipakai adalah 2,171 dan $H_d = 2,038$ m dari nilai ini dapat dihitung :

$$C_d = 1,6 \cdot \frac{1+2a \left(\frac{H}{H_d}\right)}{1+a \left(\frac{H}{H_d}\right)}$$

Karena $H = H_d$ maka

$$2,171 = 1,6 \cdot \frac{1+2a}{1+a}$$

Didapatkan nilai $a = 0,556$

Sehingga didapatkan persamaan C_d sebagai berikut:

$$C_d = 1,6 \cdot \frac{1 + 2(0,556) \left(\frac{H}{2,239}\right)}{1 + 0,556 \left(\frac{H}{2,239}\right)}$$

Kontrol debit Q_{1000th} :

$$\begin{aligned}
 B &= 20 - 0,2 H_d \\
 &= 20 - 0,2 \cdot 2,038 \\
 &= 19,592 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= C \cdot B \cdot H^{3/2} \\
 &= 2,171 \cdot 19,592 \cdot 2,171^{3/2} \\
 &= 123,806 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan C_d dan H_d dengan kala ulang banjir selanjutnya, dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.18. Tabel Perhitungan C_d

Debit Rencana	Q (m^3/dt)	L (m)	H_d (m)	B_{eff} (m)	C ($\text{m}^{1/2}/\text{dt}$)	Q (m^3/dt)
$Q_{1000\text{th}}$	123.806	20.000	2.038	19.592	2.171	123.806
$1.2 \times Q_{1000\text{th}}$	148.567	20.000	2.277	19.545	2.213	148.567
Q_{PMF}	312.600	20.000	3.583	19.283	2.390	312.600

Sumber: Perhitungan

4.3.2. Perhitungan Routing Banjir

Perhitungan menggunakan input data $Q_{1000\text{th}}$, $1.2 \times Q_{1000\text{th}}$, dan Q_{PMF} . Persamaan yang digunakan seperti pada rumus (2-27) dan (2-28). Berikut ini merupakan perhitungan fungsi tampungan untuk penelusuran banjir melalui pelimpah Bendungan Wiyu.

Diketahui data – data perhitungan routing untuk $Q_{1000\text{th}}$ sebagai berikut:

- EL. Dasar waduk : +1207
- EL. Ambang pelimpah : +1240
- Tinggi pelimpah : 3 m
- Nilai c : 2,171
- Δt : 3600
- Lebar ambang pelimpah : 20 m

Langkah perhitungan fungsi tampungan untuk penelusuran banjir melalui pelimpah

1. Elevasi Muka Air = +1242
2. H = 2,00 m
3. S = $866.274,18 \text{ m}^3$ (Hasil interpolasi elevasi muka air dan volume tampungan waduk dari perhitungan kapasitas Tampungan waduk)
4. ΔS = $S_n - S_{n-1}$
= $866.274,18 - 723.707,68$
= 142567 m^3
5. $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ = $\frac{142567}{3600}$
= $39,60 \text{ m}^3/\text{dt}$

$$\begin{aligned}
 6. \quad Q &= C B H^{3/2} \\
 &= 2,171 \times 20 \times 2^{3/2} \\
 &= 122,83 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \quad \psi &= \frac{\Delta S}{\Delta t} - \frac{Q}{2} \\
 &= 39,60 - \frac{122,83}{2} \\
 &= -21,81 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8. \quad \phi &= \frac{\Delta S}{\Delta t} + \frac{Q}{2} \\
 &= 39,60 + \frac{122,83}{2} \\
 &= 101,02 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.19. Perhitungan Fungsi Tampungan untuk Penelusuran Banjir $Q_{1000\text{th}}$ Melalui Pelimpah Bendungan Konto Wiyu

Elevasi M.A	H	S	ΔS	$\frac{\Delta S}{\Delta t}$	Q	ψ	ϕ
(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
1	2	3	4	5	6	7	8
1240.00	0.00	723707.68	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1242.00	2.00	866274.18	142567	39.60	122.83	-21.81	101.02
1244.00	4.00	1008840.68	285133	79.20	347.43	-94.51	252.92
1246.00	6.00	1174376.83	450669	125.19	638.26	-193.94	444.32
1248.00	8.00	1362882.63	639175	177.55	982.67	-313.79	668.88
1250.00	10.00	1551388.43	827681	229.91	1373.32	-456.75	916.57
1252.00	12.00	1827167.43	1103460	306.52	1805.28	-596.12	1209.15
1254.00	14.00	2102946.43	1379239	383.12	2274.91	-754.33	1520.58
1256.00	16.00	2426115.93	1702408	472.89	2779.40	-916.81	1862.59
1258.00	18.00	2796675.93	2072968	575.82	3316.50	-1082.43	2234.08
1260.00	20.00	3167235.93	2443528	678.76	3884.33	-1263.41	2620.92
1262.00	22.00	3612505.93	2888798	802.44	4481.32	-1438.21	3043.10
1264.00	24.00	4057775.93	3334068	926.13	5106.09	-1626.91	3479.17

Sumber: Perhitungan

Langkah perhitungan penelusuran banjir kala ulang 1000 tahun (pada jam ke-

1) adalah:

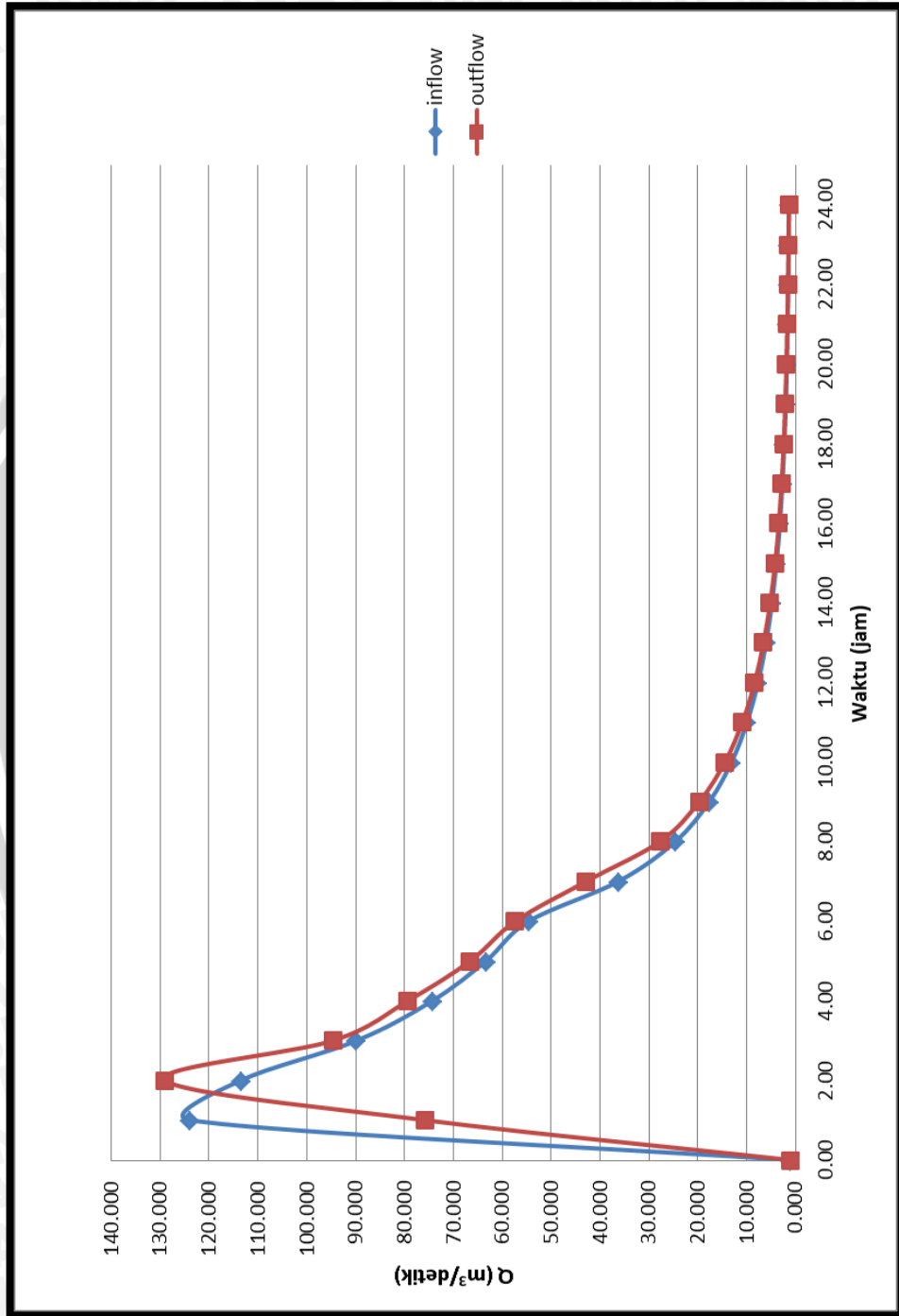
- 1) Debit *inflow* (I) dari perhitungan banjir rancangan *Nakayasu*.
- 2) $0,5 \cdot (I_1 + I_2) = 62,48 \text{ m}^3/\text{detik}$

- 3) ψ diperoleh dari Tabel 4.19 dengan cara interpolasi, untuk *outflow* sebesar 1,15 m³/detik, diperoleh harga $\psi = -0,20$
- 4) $\phi = 0,5 \cdot (I_1 + I_2) + \psi$
 $= 62,48 + (-0,20)$
 $= 62,27$
- 5) *Outflow* pada jam ke-1 diperoleh dari Tabel 4.19 untuk nilai $\phi = 62,27$, didapatkan nilai $Q_{outflow} = 75,72$ m³/detik.
- 6) Tinggi air (H) juga didapatkan dari Tabel 4.19 dengan prosedur yang sama seperti di atas. H pada jam ke-1 mencapai tinggi 1,23 m di atas ambang pelimpah.
- 7) Perhitungan dilakukan seterusnya sampai menemukan *outflow* terbesar.

Tabel 4.20. Penelusuran Banjir Q_{1000th} Waduk Konto Wiyu

Waktu	Inflow	$\frac{(I_1 + I_2)}{2}$	ψ	ϕ	Outflow	H	Elevasi
(jam)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m)	(m)
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	1.150	0.00			1.15	0.02	1240.02
1.00	123.806	62.48	-0.20	62.27	75.72	1.23	1241.23
2.00	113.460	118.63	-13.45	105.19	128.99	2.05	1242.05
3.00	89.804	101.63	-23.81	77.82	94.63	1.54	1241.54
4.00	74.314	82.06	-16.81	65.25	79.34	1.29	1241.29
5.00	63.379	68.85	-14.09	54.76	66.58	1.08	1241.08
6.00	54.612	59.00	-11.82	47.17	57.36	0.93	1240.93
7.00	36.256	45.43	-10.19	35.25	42.86	0.70	1240.70
8.00	24.614	30.44	-7.61	22.82	27.75	0.45	1240.45
9.00	17.692	21.15	-4.93	16.22	19.73	0.32	1240.32
10.00	13.128	15.41	-3.50	11.91	14.48	0.24	1240.24
11.00	9.943	11.54	-2.57	8.96	10.90	0.18	1240.18
12.00	7.703	8.82	-1.94	6.89	8.37	0.14	1240.14
13.00	6.072	6.89	-1.49	5.40	6.57	0.11	1240.11
14.00	4.848	5.46	-1.17	4.29	5.22	0.09	1240.09
15.00	3.928	4.39	-0.93	3.46	4.21	0.07	1240.07
16.00	3.237	3.58	-0.75	2.83	3.45	0.06	1240.06
17.00	2.718	2.98	-0.61	2.36	2.88	0.05	1240.05
18.00	2.328	2.52	-0.51	2.01	2.45	0.04	1240.04
19.00	2.035	2.18	-0.43	1.75	2.12	0.03	1240.03
20.00	1.815	1.92	-0.38	1.55	1.88	0.03	1240.03
21.00	1.649	1.73	-0.33	1.40	1.70	0.03	1240.03
22.00	1.525	1.59	-0.30	1.29	1.56	0.03	1240.03
23.00	1.432	1.48	-0.28	1.20	1.46	0.02	1240.02
24.00	1.362	1.40	-0.26	1.14	1.38	0.02	1240.02
Maksimum					128.99	2.05	1242.05

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.12 Grafik Hubungan *Inflow* dan *Outflow* pada
Penelusuran Banjir Waduk Wiyu untuk Q_{100th}
Sumber: Perhitungan

Diketahui data – data perhitungan routing untuk $1,2 \times Q_{1000th}$ sebagai berikut:

- EL. Dasar waduk : +1207
- EL. Ambang pelimpah : +1240
- Tinggi pelimpah : 3 m
- Nilai c : 2,213
- Δt : 3600
- Lebar ambang pelimpah : 20 m

Langkah perhitungan fungsi tampungan untuk penelusuran banjir melalui pelimpah:

1. Elevasi Muka Air = +1242
2. H = 2,00 m
3. S = 866.274,18 m³ (Hasil interpolasi elevasi muka air dan volume tampungan waduk dari perhitungan kapasitas Tampungan waduk)
4. ΔS = $S_n - S_{n-1}$
 = 866.274,18 – 723.707,68
 = 142567 m³
5. $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ = $\frac{142567}{3600}$
 = 39,60 m³/dt
6. Q = $C L H^{3/2}$
 = 2,213 $\times$ 20 $\times$ 2^{3/2}
 = 125,17 m³/dt
7. ψ = $\frac{\Delta S}{\Delta t} - \frac{Q}{2}$
 = 39,60 – $\frac{125,17}{2}$
 = - 22,98 m³/dt
8. ϕ = $\frac{\Delta S}{\Delta t} + \frac{Q}{2}$
 = 39,60 + $\frac{125,17}{2}$
 = 102,19 m³/dt

Tabel 4.21. Perhitungan Fungsi Tampungan untuk Penelusuran Banjir $1,2 \times Q_{1000th}$ Melalui Pelimpah Bendungan Konto Wiyu

Elevasi M.A	H	S	ΔS	$\frac{\Delta S}{\Delta t}$	Q	ψ	ϕ
(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
1	2	3	4	5	6	7	8
1240.00	0.00	723707.68	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1242.00	2.00	866274.18	142567	39.60	125.17	-22.98	102.19
1244.00	4.00	1008840.68	285133	79.20	354.02	-97.81	256.22
1246.00	6.00	1174376.83	450669	125.19	650.39	-200.01	450.38
1248.00	8.00	1362882.63	639175	177.55	1001.33	-323.12	678.22
1250.00	10.00	1551388.43	827681	229.91	1399.41	-469.79	929.61
1252.00	12.00	1827167.43	1103460	306.52	1839.57	-613.27	1226.30
1254.00	14.00	2102946.43	1379239	383.12	2318.12	-775.94	1542.18
1256.00	16.00	2426115.93	1702408	472.89	2832.20	-943.21	1888.99
1258.00	18.00	2796675.93	2072968	575.82	3379.50	-1113.93	2265.58
1260.00	20.00	3167235.93	2443528	678.76	3958.12	-1300.30	2657.82
1262.00	22.00	3612505.93	2888798	802.44	4566.44	-1480.78	3085.66
1264.00	24.00	4057775.93	3334068	926.13	5203.08	-1675.41	3527.67

Sumber: Perhitungan

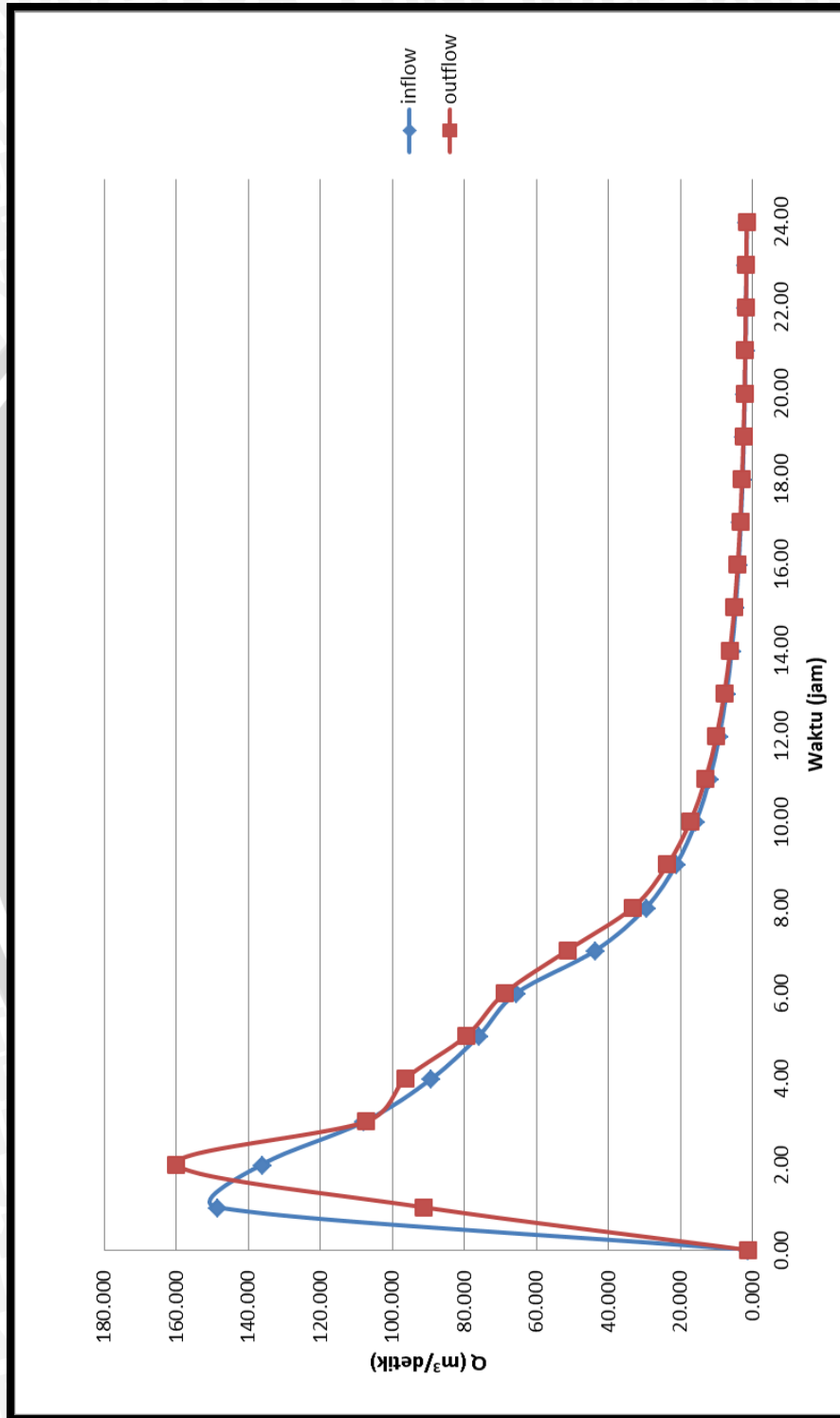
Langkah perhitungan penelusuran banjir (pada jam ke-1) adalah:

- 1) Debit *inflow* (I) dari perhitungan banjir rancangan *Nakayasu*.
- 2) $0,5 \cdot (I_1 + I_2) = 74,86 \text{ m}^3/\text{detik}$
- 3) ψ diperoleh dari Tabel 4.21 dengan cara interpolasi, untuk *outflow* sebesar 1,15 m³/detik, diperoleh harga $\psi = -0,21$
- 4) $\phi = 0,5 \cdot (I_1 + I_2) + \psi$
 $= 74,86 + (-0,21)$
 $= 74,65$
- 5) *Outflow* pada jam ke-1 diperoleh dari Tabel 4.21 untuk nilai $\phi = 74,65$, didapatkan nilai $Q_{outflow} = 91,44 \text{ m}^3/\text{detik}$.
- 6) Tinggi air (H) juga didapatkan dari Tabel 4.21 dengan prosedur yang sama seperti di atas. H pada jam ke-1 mencapai tinggi 1,46 m di atas ambang pelimpah.
- 7) Perhitungan dilakukan seterusnya sampai menemukan *outflow* terbesar.

Tabel 4.22. Penelusuran Banjir $1,2 \times Q_{1000th}$ Waduk Konto Wiyu

Waktu (jam)	Inflow (m ³ /det)	$(I_1 + I_2)$	ψ (m ³ /det)	ϕ (m ³ /det)	Outflow (m ³ /det)	H (m)	Elevasi (m)
		2					
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	1.150	0.00			1.15	0.02	1240.02
1.00	148.567	74.86	-0.21	74.65	91.44	1.46	1241.46
2.00	136.152	142.36	-16.79	125.57	159.91	2.30	1242.30
3.00	107.765	121.96	-34.34	87.62	107.32	1.71	1241.71
4.00	89.176	98.47	-19.70	78.77	96.48	1.54	1241.54
5.00	76.055	82.62	-17.71	64.90	79.50	1.27	1241.27
6.00	65.535	70.79	-14.60	56.20	68.84	1.10	1241.10
7.00	43.508	54.52	-12.64	41.88	51.30	0.82	1240.82
8.00	29.537	36.52	-9.42	27.10	33.20	0.53	1240.53
9.00	21.230	25.38	-6.10	19.29	23.63	0.38	1240.38
10.00	15.753	18.49	-4.34	14.15	17.34	0.28	1240.28
11.00	11.932	13.84	-3.18	10.66	13.06	0.21	1240.21
12.00	9.243	10.59	-2.40	8.19	10.03	0.16	1240.16
13.00	7.287	8.26	-1.84	6.42	7.87	0.13	1240.13
14.00	5.817	6.55	-1.44	5.11	6.26	0.10	1240.10
15.00	4.713	5.27	-1.15	4.12	5.04	0.08	1240.08
16.00	3.884	4.30	-0.93	3.37	4.13	0.07	1240.07
17.00	3.261	3.57	-0.76	2.81	3.45	0.06	1240.06
18.00	2.793	3.03	-0.63	2.39	2.93	0.05	1240.05
19.00	2.442	2.62	-0.54	2.08	2.55	0.04	1240.04
20.00	2.178	2.31	-0.47	1.84	2.26	0.04	1240.04
21.00	1.979	2.08	-0.41	1.66	2.04	0.03	1240.03
22.00	1.830	1.90	-0.37	1.53	1.87	0.03	1240.03
23.00	1.718	1.77	-0.34	1.43	1.75	0.03	1240.03
24.00	1.634	1.68	-0.32	1.35	1.66	0.03	1240.03
Maksimum					159.91	2.30	1242.30

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.13 Grafik Hubungan *Inflow* dan *Outflow* pada
Penelusuran Banjir Waduk Wiyu untuk $1,2 \times Q_{1000th}$
Sumber: Perhitungan

Diketahui data – data perhitungan routing untuk Q_{PMF} sebagai berikut:

- EL. Dasar waduk : +1207
- EL. Ambang pelimpah : +1240
- Tinggi pelimpah : 3 m
- Nilai c : 2,390
- Δt : 3600
- Lebar ambang pelimpah : 20 m

Langkah perhitungan fungsi tampungan untuk penelusuran banjir melalui pelimpah:

1. Elevasi Muka Air = +1242
2. H = 2,00 m
3. S = 866.274,18 m³ (Hasil interpolasi elevasi muka air dan volume tampungan waduk dari perhitungan kapasitas Tampungan waduk)
4. ΔS = $S_n - S_{n-1}$
 $= 866.274,18 - 723.707,68$
 $= 142567 \text{ m}^3$
5. $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ = $\frac{142567}{3600}$
 $= 39,60 \text{ m}^3/\text{dt}$
6. Q = $C L H^{3/2}$
 $= 2,390 \times 20 \times 2^{3/2}$
 $= 135,22 \text{ m}^3/\text{dt}$
7. ψ = $\frac{\Delta S}{\Delta t} - \frac{Q}{2}$
 $= 39,60 - \frac{135,22}{2}$
 $= -28,01 \text{ m}^3/\text{dt}$
8. ϕ = $\frac{\Delta S}{\Delta t} + \frac{Q}{2}$
 $= 39,60 + \frac{135,22}{2}$
 $= 107,21 \text{ m}^3/\text{dt}$

Tabel 4.23. Perhitungan Fungsi Tampang untuk Penelusuran Banjir Q_{PMF} Melalui Pelimpah Bendungan Konto Wiyu

Elevasi M.A	H	S	ΔS	$\frac{\Delta S}{\Delta t}$	Q	ψ	ϕ
(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
1	2	3	4	5	6	7	8
1240.00	0.00	723707.68	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1242.00	2.00	866274.18	142567	39.60	135.22	-28.01	107.21
1244.00	4.00	1008840.68	285133	79.20	382.47	-112.03	270.44
1246.00	6.00	1174376.83	450669	125.19	702.65	-226.14	476.51
1248.00	8.00	1362882.63	639175	177.55	1081.80	-363.35	718.45
1250.00	10.00	1551388.43	827681	229.91	1511.86	-526.02	985.84
1252.00	12.00	1827167.43	1103460	306.52	1987.39	-687.18	1300.21
1254.00	14.00	2102946.43	1379239	383.12	2504.40	-869.08	1635.32
1256.00	16.00	2426115.93	1702408	472.89	3059.79	-1057.00	2002.79
1258.00	18.00	2796675.93	2072968	575.82	3651.07	-1249.71	2401.36
1260.00	20.00	3167235.93	2443528	678.76	4276.19	-1459.34	2816.85
1262.00	22.00	3612505.93	2888798	802.44	4933.39	-1664.25	3269.14
1264.00	24.00	4057775.93	3334068	926.13	5621.19	-1884.47	3736.73

Sumber: Perhitungan

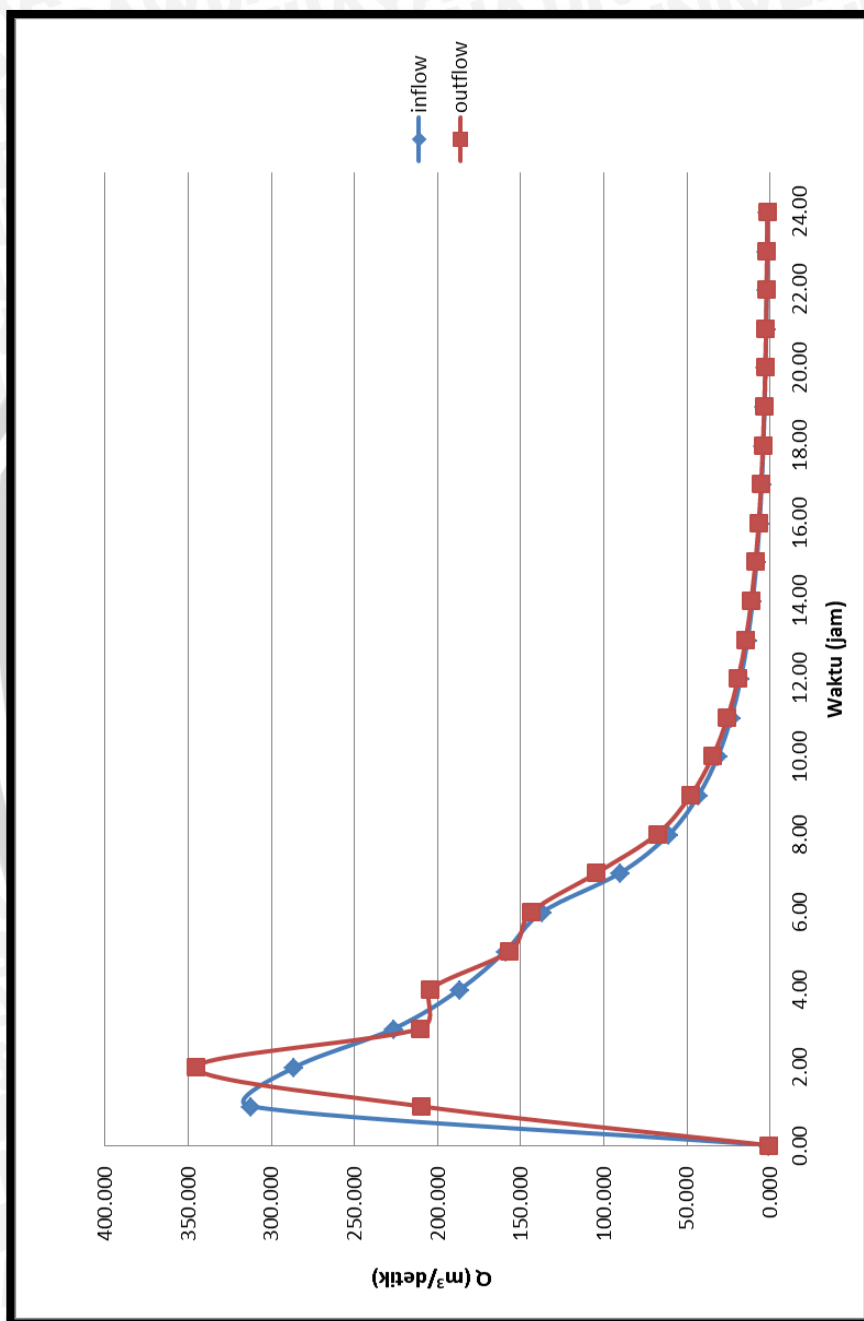
Langkah perhitungan penelusuran banjir (pada jam ke-1) adalah:

- 1) Debit *inflow* (I) dari perhitungan banjir rancangan *Nakayasu*.
- 2) $0,5 \cdot (I_1 + I_2) = 156,88 \text{ m}^3/\text{detik}$
- 3) ψ diperoleh dari Tabel 4.23 dengan cara interpolasi, untuk *outflow* sebesar 1,15 m³/detik, diperoleh harga $\psi = -0,24$
- 4) $\phi = 0,5 \cdot (I_1 + I_2) + \psi$
 $= 156,88 + (-0,24)$
 $= 156,64$
- 5) *Outflow* pada jam ke-1 diperoleh dari Tabel 4.23 untuk nilai $\phi = 156,64$, didapatkan nilai $Q_{outflow} = 210,09 \text{ m}^3/\text{detik}$.
- 6) Tinggi air (H) juga didapatkan dari Tabel 4.23 dengan prosedur yang sama seperti di atas. H pada jam ke-1 mencapai tinggi 2,61 m di atas ambang pelimpah.
- 7) Perhitungan dilakukan seterusnya sampai menemukan *outflow* terbesar.

Tabel 4.24. Penelusuran Banjir Q_{PMF} Waduk Konto Wiyu

Waktu	Inflow	$(I_1 + I_2)$	ψ	ϕ	Outflow	H	Elevasi
		2					
(jam)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m)	(m)
2	3	4	5	6	7	7	7
0.00	1.150	0.00			1.15	0.02	1240.02
1.00	312.600	156.88	-0.24	156.64	210.09	2.61	1242.61
2.00	286.330	299.46	-53.45	246.01	345.47	3.70	1243.70
3.00	226.262	256.30	-99.46	156.84	210.39	2.61	1242.61
4.00	186.928	206.59	-53.55	153.04	204.64	2.56	1242.56
5.00	159.163	173.05	-51.60	121.45	156.78	2.17	1242.17
6.00	136.902	148.03	-35.34	112.70	143.53	2.07	1242.07
7.00	90.292	113.60	-30.83	82.76	104.39	1.54	1241.54
8.00	60.729	75.51	-21.62	53.89	67.97	1.01	1241.01
9.00	43.153	51.94	-14.08	37.86	47.75	0.71	1240.71
10.00	31.564	37.36	-9.89	27.47	34.64	0.51	1240.51
11.00	23.477	27.52	-7.18	20.34	25.66	0.38	1240.38
12.00	17.788	20.63	-5.32	15.32	19.32	0.29	1240.29
13.00	13.648	15.72	-4.00	11.72	14.78	0.22	1240.22
14.00	10.539	12.09	-3.06	9.03	11.39	0.17	1240.17
15.00	8.203	9.37	-2.36	7.01	8.84	0.13	1240.13
16.00	6.448	7.33	-1.83	5.49	6.93	0.10	1240.10
17.00	5.130	5.79	-1.44	4.35	5.49	0.08	1240.08
18.00	4.140	4.63	-1.14	3.50	4.41	0.07	1240.07
19.00	3.396	3.77	-0.91	2.85	3.60	0.05	1240.05
20.00	2.837	3.12	-0.75	2.37	2.99	0.04	1240.04
21.00	2.418	2.63	-0.62	2.01	2.53	0.04	1240.04
22.00	2.102	2.26	-0.52	1.74	2.19	0.03	1240.03
23.00	1.865	1.98	-0.45	1.53	1.93	0.03	1240.03
24.00	1.688	1.78	-0.40	1.38	1.74	0.03	1240.03
Maksimum					345.47	3.70	1243.70

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Inflow dan Outflow pada Penelusuran Banjir Waduk Wiyu untuk PMF

Sumber: Perhitungan

Dari hasil analisa di atas diperoleh bahwa :

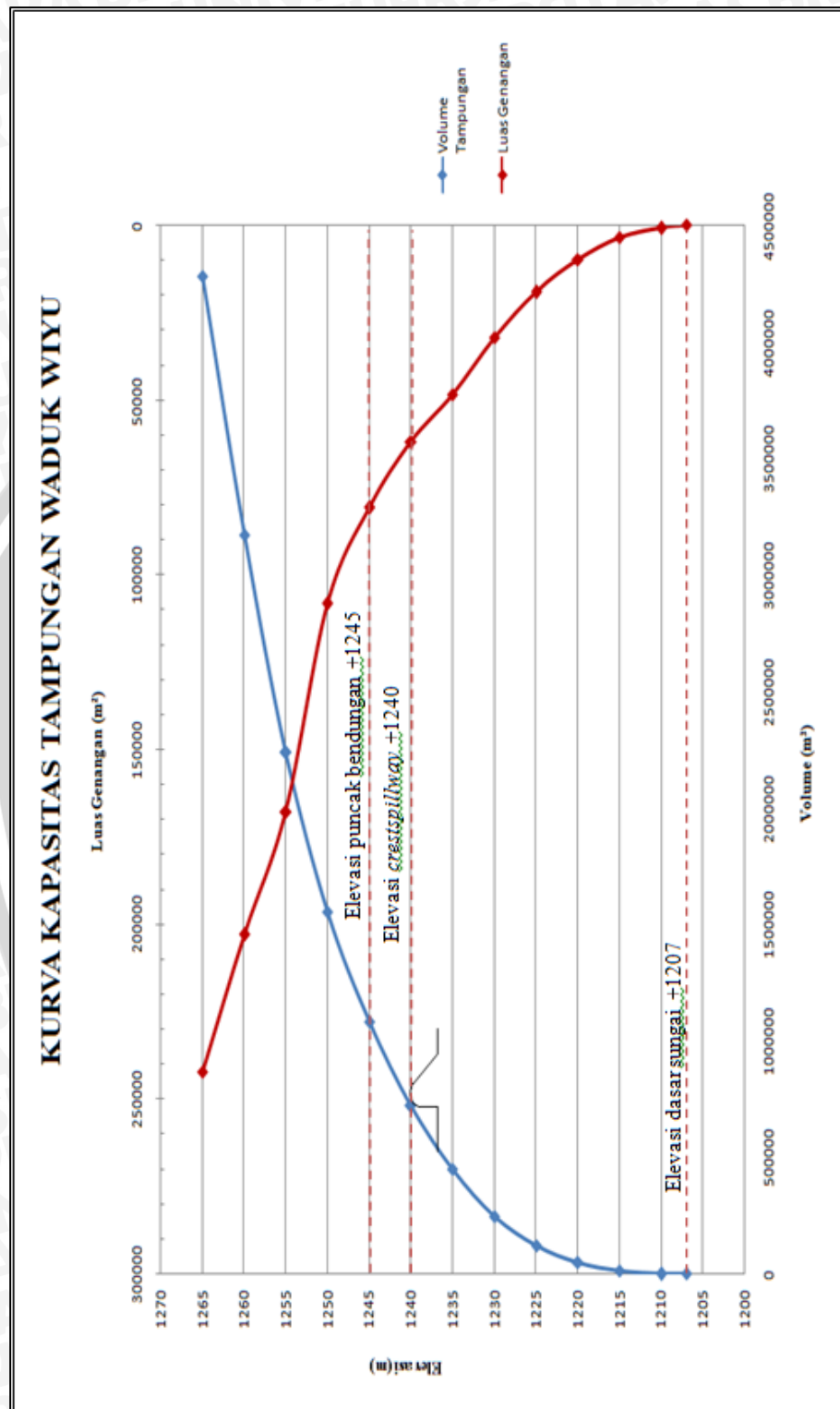
$$Q_{outflow} \text{ untuk } T_r \text{ 1000 th} = 128,99 \text{ m}^3/\text{dt pada elevasi } + 1242,05$$

$$Q_{outflow} \text{ untuk } T_r \text{ 1,2 . 1000 th} = 159,91 \text{ m}^3/\text{dt pada elevasi } + 1242,30$$

$$Q_{outflow} \text{ untuk } PMF = 345,47 \text{ m}^3/\text{dt pada elevasi } + 1243,70$$

Hasil di atas selanjutnya dipergunakan sebagai acuan dasar untuk merencanakan dimensi (tinggi) tubuh bendungan.





Gambar 4.15 Kurva kapasitas tampungan Waduk Konto Wiyu dan elevasi rencana puncak bendungan
Sumber: Perhitungan

4.4. Perencanaan Teknis Tubuh Bendungan

4.4.1. Timbunan Tubuh Bendungan

4.4.1.1. Material Timbunan Batu dan Rip-rap

Material batu untuk urugan tubuh bendungan dan bahan konstruksi menggunakan jenis batuan yang banyak ditemukan di sekitar sungai Konto atau sekitar lokasi calon bendungan, yaitu jenis batu andesit. Sesuai dengan ketentuan dan syarat material batu sebagai bahan urugan digunakan material yang berdiameter antara 45 – 100 cm, dengan presentase fraksi batuan lebih kecil antara 5 – 10%. Hasil pengujian batuan adalah sebagai berikut :

- Kuat tekan batuan 564.073 kg/cm²
- Nilai *Specific Gravity* sebesar 2,538 (*Bulk Condition*)
- *Absorption* 3,74%
- *Abrasion (Los Angeles)* sebesar 9,9 – 32,80%

Berdasarkan pengamatan di lapangan, perkiraan cadangan batu dari endapan Sungai Konto Wiyu adalah 80.000 m³, namun bila mengambil material bahan bangunan cukup banyak dari endapan sungai setempat harus memperhitungkan dampak pengambilan material tersebut terhadap lingkungan sungai yang ada. Karena itu, selain dari lokasi rencana bendungan, material batu juga dapat diambil dari Kecamatan Ngantang ataupun dari lokasi Gunung Kelud, berjarak kira-kira 25 km dari lokasi rencana bendungan. Volume cadangannya kira-kira 100 x 50 x 300 m = 1.500.000 m³.

Penentuan desain rip-rap bendungan meliputi desain kecepatan angin (*wind design*), menghitung tinggi ombak (*wave height*), kisaran ukuran material rip-rap dan gradasi yang dapat diterima. Rip-rap dipasang pada lereng udik bendungan dengan ketebalan rencana 50 cm. Untuk menentukan diameter rata-rata batu hamparan pelindung (D₅₀) dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- a) Panjang lintasan ombak (*Fetch*) dapat ditentukan sebagai berikut :

Dari peta genangan diperoleh perhitungan di bawah ini :

Tabel 4.25. Perhitungan *Fetch*

Sudut	X_i	$\cos \alpha$	$X_i \cdot \cos \alpha$
20	136.489	0.940	128.258
15	250.490	0.966	241.955
10	285.697	0.985	281.357
5	299.291	0.996	298.152
0	322.074	1.000	322.074
-5	347.255	0.996	345.934
-10	499.588	0.985	491.998
-15	488.459	0.966	471.815
-20	364.841	0.940	342.838
Jumlah		8.773	2924.380

Sumber: Perhitungan

Maka panjang lintasan gelombang dapat dihitung:

$$F = \frac{\sum x_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

$$= \frac{2924,380}{8,773}$$

$$= 333,330 \text{ m}$$

Maka hasil nilai *Fetch* yang telah diperoleh di atas akan digunakan dalam perhitungan desain gradasi rip-rap (diketahui kecepatan angin sebesar 20 m/dt)

- Tinggi ombak dapat ditentukan menggunakan grafik 2.14 (dengan $F = 333,330$ m dan kecepatan angin = 20 m/dt). Permukaan berupa hamparan batu dengan kemiringan 1 : 3, didapatkan tinggi ombak akibat angin 0,55 m.
- Dengan mempertimbangkan kerusakan yang dapat ditoleransi, berat rip-rap dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (Sr - 1)^3 (\cot \alpha)}$$

Diketahui :

$$H = 0,55 \text{ m}$$

$$\gamma_r = 1,75 \text{ t/m}^3 \text{ (berat jenis batuan)}$$

$$\gamma_a = 1,025 \text{ t/m}^3 \text{ (berat jenis air laut)}$$

$$K_D = 4,0$$

$$\begin{aligned} S_r &= \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \\ &= \frac{1,75}{1,025} \\ &= 1,707 \text{ t/m}^3 \\ \alpha &= 18,435^\circ \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} W_{50} &= \frac{1,75 \cdot 0,55^3}{4 \cdot (1,707 - 1)^3 (\cot 18,435^\circ)} \\ W_{50} &= \frac{0,291}{4,241} \\ &= 0,0687 \text{ ton} \approx 70 \text{ kg} \end{aligned}$$

d) Menentukan ukuran D_{50} :

$$\begin{aligned} V_{50} &= \frac{W_{50}}{\gamma_r} = 0,75 \cdot (D_{50})^3 \\ \frac{W_{50}}{\gamma_r} &= 0,75 \cdot (D_{50})^3 \\ \frac{0,0687}{1,75} &= 0,75 \cdot (D_{50})^3 \\ 0,052 &= (D_{50})^3 \\ D_{50} &= 0,374 \text{ m} \approx 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka diameter rata-rata batu hamparan pelindung (D_{50}) adalah sebesar 40 cm.

4.4.1.2. Material Zona Inti

Material timbunan zona inti kedap air menggunakan bahan yang diperoleh dari lokasi rencana *borrow area* yaitu di sekitar lokasi genangan calon bendungan, yang terbentuk dari pelapukan batuan dasar yaitu andesit. Material pada lokasi ini berjenis *silty sand* yang memiliki koefisien permeabilitas dan indeks plastisitas yang memenuhi persyaratan sebagai material inti kedap air, dimana $k = 2,86 \cdot 10^{-7}$ cm/detik dan $I_p = 22,67\%$. Untuk dimensi direncanakan berdasarkan RSNI T-01-2002 tentang Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan, yaitu ketebalan puncak 6 m, lebar alasnya 22 m, tinggi mencapai 37,5 m, dan kemiringan lereng inti direncanakan 1 : 0,213. Ketebalan inti direncanakan sesuai syarat dimana tebal inti antara 30% – 50% dari tinggi tekanan air.

4.4.1.3. Material Filter Halus dan Kasar

Zona filter merupakan daerah peralihan yang berfungsi menahan keluarnya butiran halus dari lapisan inti guna mencegah erosi buluh, dan meloloskan air yang merembes melalui tubuh bendungan. Material filter menggunakan pasir yang dapat diambil dari Waduk Selorejo, Kecamatan Ngantang, jaraknya kira-kira 30 km dari lokasi rencana bendungan, dan direncanakan berdasarkan syarat dan ketentuan yang terdapat pada RSNI T-10-2004 tentang Tata Cara Penentuan Gradasi Bahan Filter Pelindung pada Bendungan Tipe Urugan, dimana material tanah dasar atau material yang akan dilindungi dikategorikan dalam kategori 3 dengan persentase material halus sebesar 38,701%. Tebal filter pasir halus di kedua sisi lereng zona inti kedap air direncanakan 2 m dan tebal filter pasir kasar 2 m.

Adapun spesifikasi material filter kasar dan halus adalah sebagai berikut :

Tabel 4.26. Spesifikasi Material Filter

No	Material	γ_{sat}	γ_{wet}	K	C	Φ
		(ton/m ³)	(ton/m ³)	(cm/dt)	(ton/m ²)	(°)
1	Filter Halus	1,922	1,586	$1,963 \cdot 10^{-2}$	0	30
2	Filter Kasar	1,987	1,736	$5,5 \cdot 10^{-3}$	0	35

Sumber: Data

Syarat gradasi butiran material filter dapat ditentukan dengan cara menentukan batas-batas zona gradasi butiran filter yang diijinkan berdasarkan hasil pengujian analisa ayakan pada material yang dilindungi, dalam hal ini material inti bendungan. Adapun batas-batas tersebut dapat ditentukan sebagai berikut:

Dari grafik hasil pengujian analisa ayakan material ini diketahui:

$$B_{15} = 0,0087 \text{ mm}$$

$$B_{85} = 0,2904 \text{ mm}$$

$$B_{50} = 0,0900 \text{ mm}$$

Syarat gradasi filter:

$$a. \frac{F_{15}}{B_{15}} > 5$$

$$F_{15} > 5 \cdot B_{15}$$

$$F_{15} > 5 \cdot 0,0087 \text{ mm}$$

$$F_{15} > 0,044 \text{ mm}$$

$$b. \frac{F_{15}}{B_{85}} < 5$$

$$F_{15} < 5 \cdot B_{85}$$

$$F_{15} < 5 \cdot 0,2904 \text{ mm}$$

$$F_{15} < 1,452 \text{ mm}$$

$$c. \frac{F_{50}}{B_{50}} \leq 25$$

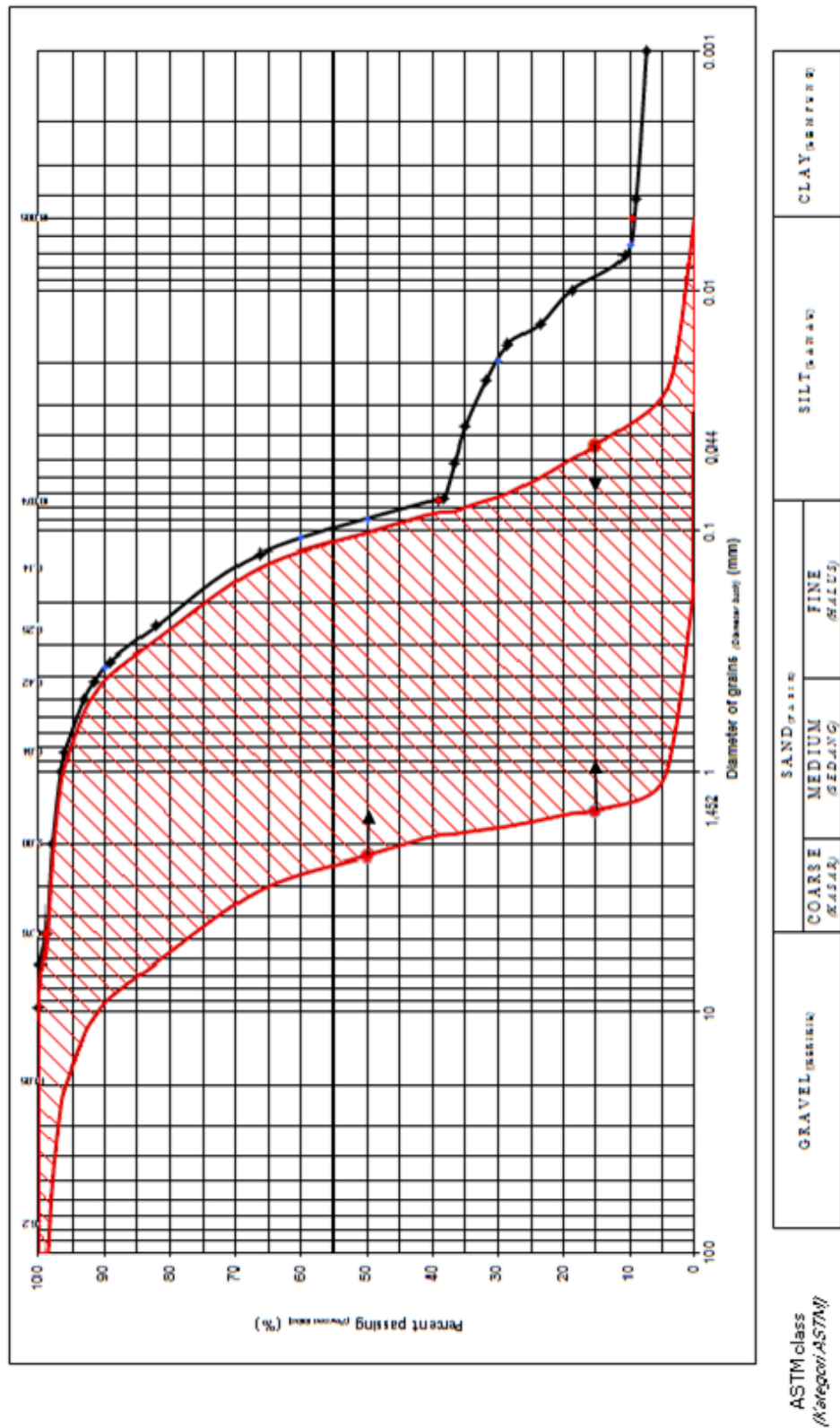
$$F_{50} \leq 25 \cdot B_{50}$$

$$F_{15} \leq 25 \cdot 0,09 \text{ mm}$$

$$F_{15} \leq 2,25 \text{ mm}$$

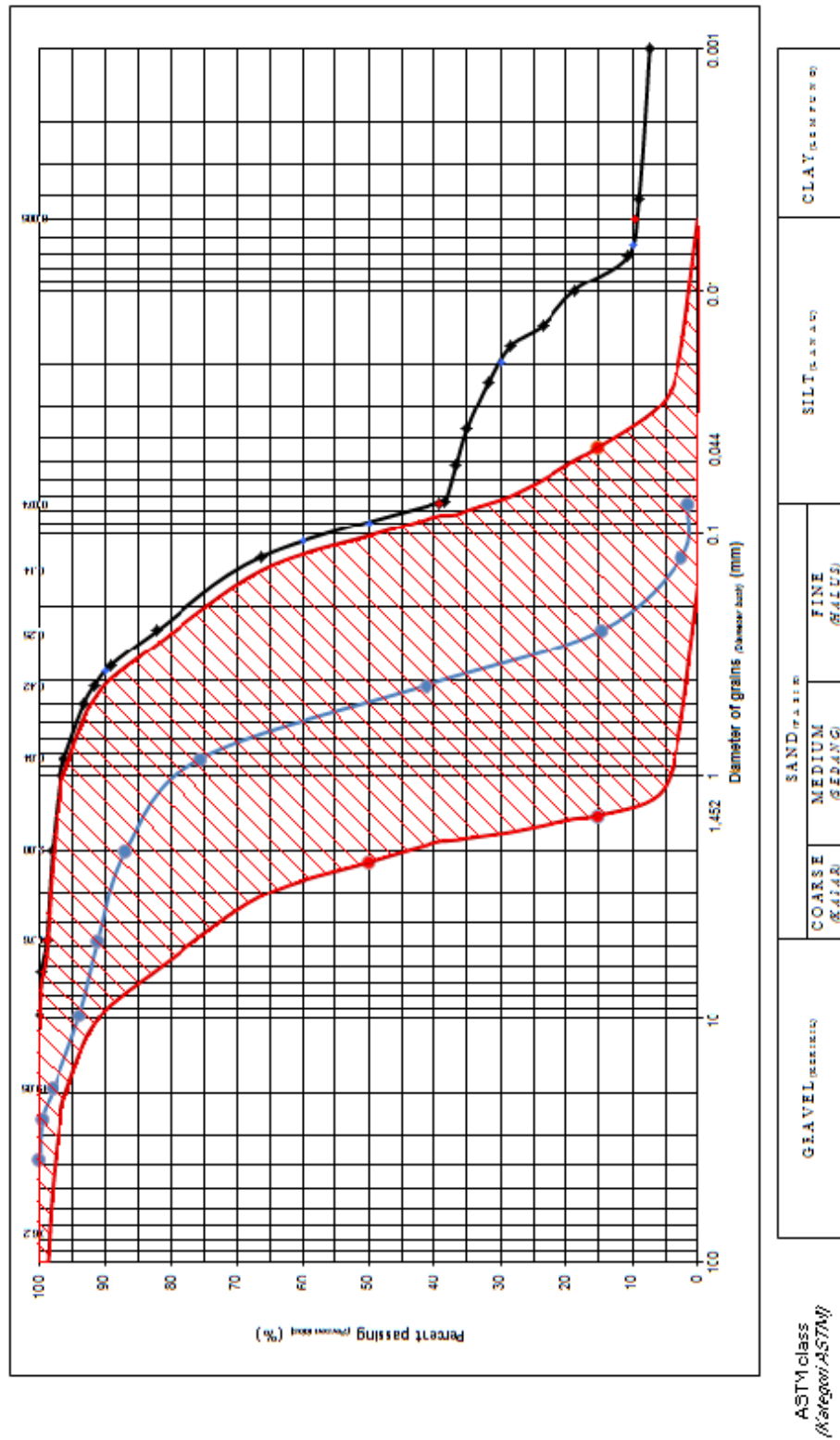
Batas-batas yang telah dihitung di atas kemudian akan digunakan untuk menentukan batas zona gradasi filter yang diijinkan, yang dapat dilihat pada gambar 4.16. Kemudian berdasarkan data material filter yang telah diuji, akan dicek apakah grafik gradasi filternya sesuai atau masuk di dalam zona gradasi yang telah dibuat, dapat dilihat pada gambar 4.17.





Gambar 4.16 Batas zona gradasi filter yang diijinkan

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.17 Gradasi filter yang telah diuji
Sumber: Perhitungan

4.4.2. Dimensi Tubuh Bendungan

4.4.2.1. Tinggi Jagaan Bendungan

Tinggi jagaan tubuh bendungan merupakan perbedaan elevasi antara permukaan maksimum air waduk dengan elevasi mercu bendungan. Besarnya tinggi jagaan pada tubuh bendungan Wiyu dicari dengan tahapan sebagai berikut :

- Dari perhitungan penelusuran banjir, dapat diketahui bahwa kenaikan tinggi muka air waduk akibat banjir $Q_{1000 \text{ th}}$ mencapai elevasi +1242,05 dan $1,2 \times Q_{1000 \text{ th}}$ mencapai elevasi +1242,30. Sehingga kenaikan tinggi air waduk akibat banjir abnormal adalah sebesar :

$$\Delta H = 1242,30 - 1242,05 = 0,25 \text{ m}$$

- Tinggi ombak akibat tiupan angin (h_w) berdasarkan perhitungan sebelumnya diperoleh sebesar 0,55 m.

- Tinggi ombak akibat gempa (h_e)

$$h_e = \frac{k \cdot t}{2\pi} \cdot \sqrt{g \cdot H_0}$$

dengan $H_0 = 33 \text{ m}$, $k = 0,14$, $t = 1 \text{ detik}$

$$\begin{aligned} h_e &= \frac{0,14 \cdot 1}{2\pi} \cdot \sqrt{9,81 \cdot 33} \\ &= 0,401 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tinggi muka air waduk akibat kemacetan pintu (h_a) adalah 0 karena pelimpah tidak menggunakan pintu.
- Angka tambahan tinggi jagaan yang didasarkan pada tipe bendungan (h_i) direncanakan 1 m, mengingat limpasan melalui mercu bendungan urugan akan sangat berbahaya (Sosrodarsono, 1989:173).

Dari data di atas, maka tinggi jagaan dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$H_f \geq 0,25 + 0,55 + (0,401 \cdot 0,5) + 0 + 1$$

$$H_f \geq 2 \text{ m}$$

Maka diambil tinggi jagaan H_f sebesar 2 m dari tinggi muka air normal.

Dari perhitungan tinggi jagaan di atas, maka dapat ditentukan elevasi mercu dan tinggi bendungan sebagai berikut:

$$\text{Elevasi mercu bendungan} = 1242,05 + 2,00 = 1244,05$$

$$\text{Tinggi bendungan} = 1244,05 - 1207,00 = 37,05 \text{ m}$$

Untuk antisipasi terjadinya konsolidasi setelah pelaksanaan penimbunan, maka perlu penambahan ketinggian bendungan sebesar 1% dari rencana ketinggian sebelumnya, maka

$$\Delta H = (0,01 \cdot 37,05) + 37,05 = 37,421 \text{ m} \approx 38 \text{ m}$$

Elevasi mercu bendungan adalah $1207 + 38 = +1245$.

4.4.2.2. Lebar Mercu Bendungan

Lebar Bendungan Konto Wiyu dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2-36) atau Tabel 2.11.

$$\begin{aligned} B &= 3,6 \cdot H^{1/3} - 3 \\ &= 3,6 \cdot 38^{1/3} - 3 \\ &= 9,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan lebar puncak bendungan 9,1 m dan demi alasan keamanan maka dibulatkan menjadi 10 m. Jika dilihat pada tabel, bendungan dengan tinggi 30 – 50 m mempunyai lebar puncak rencana antara 8 – 10 m.

4.4.2.3. Kemiringan Lereng Bendungan

Untuk menentukan kemiringan tubuh bendungan, sebagai pendekatan dapat digunakan Persamaan (2-37) dan (2-38) dengan data yang telah diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \gamma_{sat} &= 2,35 \text{ ton/m}^3 & \phi &= 37^\circ \\ \gamma_{sub} &= 1,35 \text{ ton/m}^3 & k &= 0,14 \\ \gamma' &= \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sub}} \\ &= \frac{2,35}{1,35} \\ &= 1,74 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

$$FS_{\text{hulu}} = \frac{m - k \cdot \gamma}{1 + k \cdot \gamma \cdot m} \cdot \text{tg } \phi \geq 1,1$$

$$1,1 = \frac{m - 0,14 \cdot 1,74}{1 + 0,14 \cdot 1,74 \cdot m} \cdot \text{tg } 37^\circ$$

$$1,1 = \frac{m - 0,244}{1 + 0,244 \cdot m} \cdot \text{tg } 37^\circ$$

$$1,460 = \frac{m - 0,244}{1 + 0,244 \cdot m}$$

$$1,704 = 0,644 m$$

$$m = 2,646$$

Dari perhitungan di atas didapatkan kemiringan lereng bagian hulu bendungan utama 1 : 2,646. Agar lebih memberikan keamanan yang cukup terhadap longsoran maka kemiringan dibulatkan menjadi 1 : 3.

Perhitungan kemiringan lereng bagian hilir bendungan adalah sebagai berikut:

$$FS_{\text{hilir}} = \frac{n-k}{1+k \cdot n} \operatorname{tg} \phi \geq 1,1$$

$$1,1 = \frac{n-0,14}{1+0,14 n} \cdot \operatorname{tg} 37^{\circ}$$

$$1,460 = \frac{n-0,14}{1+0,14 n}$$

$$1,600 = 0,796 n$$

$$n = 2,011 \quad \text{untuk keamanan dibulatkan menjadi } n = 2,2$$

Dari perhitungan di atas didapatkan kemiringan lereng tubuh bendungan bagian hulu (m) adalah 3 atau dan kemiringan tubuh bendungan untuk bagian hilir (n) adalah 2,2. Apabila nanti kemiringan ini tidak memenuhi syarat stabilitas, maka nilai ini dapat diubah.

4.5. Perbaikan Pondasi Bendungan Konto Wiyu

Perbaikan pondasi Bendungan Konto Wiyu menggunakan metode *grouting*. Dalam memilih bahan *grouting*, maka harus diketahui tujuan perbaikan tanah itu, apakah untuk menghentikan rembesan air atau untuk memperbesar kekuatan tanah tersebut. Demikian pula harus diketahui apakah bahan-bahan itu cocok dengan karakteristik mekanika tanah-tanah pondasi itu.

Berdasarkan hasil uji permeabilitas yang dilakukan pada titik pemboran, baik dalam posisi melintang atau memanjang pada rencana as bendungan, menunjukkan hasil bahwa pondasi Bendungan Wiyu memerlukan perbaikan dengan metode *grouting*, dimana pada kedalaman tanah antara 0 sampai > 5 m di bawah permukaan tanah memiliki nilai koefisien rembesan k pada ordo 10^{-4} cm/detik. Dengan demikian tujuan dari *grouting* ini adalah pencegahan dan larangan yang menimbulkan sumber air dalam galian terusan (termasuk saluran terlindungi), dan pembatasan kecepatan aliran air tanah. Adapun bagian yang di *grout* adalah retakan lapisan tembus air atau tanah pondasi yang tembus air.

Bahan *grouting* yang sesuai dengan kondisi lokasi rencana bendungan ini adalah bahan *grouting* semi suspensi : *water glass* yang diberi air, susu semen dengan partikel suspensi. Mengingat volume bahan stabilitas untuk *grouting* tergantung dari tekstur tanah dari tanah pondasi yang bersangkutan, maka lebih baik tekstur tanah harus ditentukan sebanyak mungkin dengan percobaan lapangan.

4.5.1. Perencanaan *Grouting*

4.5.1.1. Kedalaman *Curtain Grouting*

Sepanjang as bendungan dibawah permukaan pondasi perlu dilaksanakan tirai yang kedap air untuk menahan kebocoran dan memperkecil rembesan air. Sementasi pondasi merupakan cara yang tepat untuk memperbaiki kondisi yang jelek pada formasi-formasi batuan yang lebih dalam.

Sesuai dengan ketinggian hidrostatik di muka bendungan, perencanaan kedalaman sementasi tirai mengacu pada kriteria USBR:

$$D = \frac{1}{3} \times h + C$$

dimana,

D = Kedalaman pengeboran (m)

h = Tinggi tekanan statis air (m)

C = Koefisien (antara 8 s/d 20)

Sehingga kedalaman *curtain grouting* Bendungan KontoWiyu adalah sebagai berikut,

Diketahui :

$$h = 33 \text{ m}$$

$$C = 14$$

$$D = \frac{1}{3} \times h + C$$

$$D = \frac{1}{3} \times 33 + 14$$

$$D = 25 \text{ m}$$

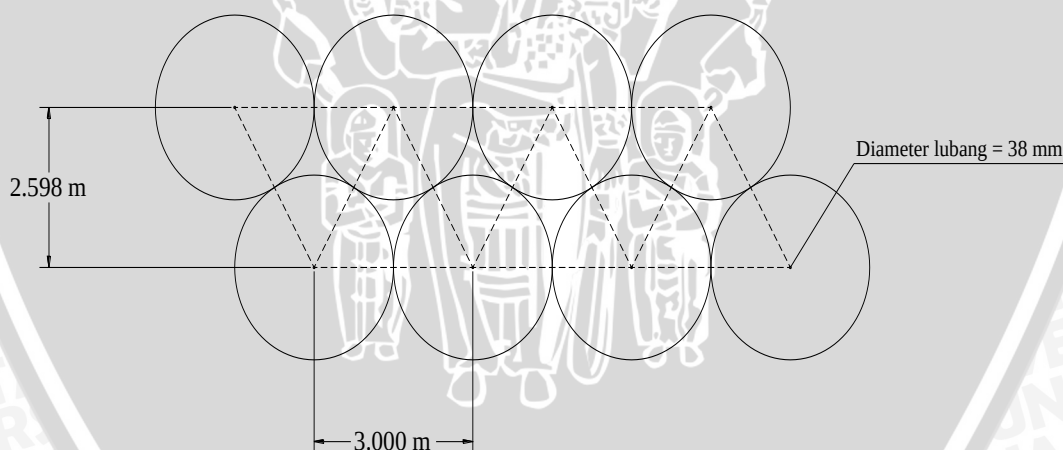
Jadi, kedalaman *curtain grouting* rencana adalah 25 m. Analisa kedalaman dengan rumus empirik tersebut hasilnya dianggap sama sepanjang pondasi as bendungan.

4.5.1.2. Penempatan Lubang-Lubang Bor untuk Sementasi

Mengingat adanya ketidakpastian dari hasil-hasil sementasi pada masing-masing lubang, maka sementasi yang dilakukan hanya dengan sebaris lubang-lubang bor saja sebaiknya dihindarkan, karena sukar untuk memastikan apakah pelaksanaan sementasi tersebut telah cukup memadai.

Pengalaman-pengalaman menunjukkan, bahwa walaupun tirai tidak terlalu dalam, akan tetapi sering dibuat lebih dari dua baris pengeboran, agar hasil sementasinya dapat diandalkan. Diameter lubang-lubang bor biasanya sebesar 1,5 inch yang pengeborannya dilakukan dengan menggunakan mata-bor tipe EX. Kadang-kadang dilakukan juga pengeboran-pengeboran dengan diameter yang lebih besar, tetapi paling besar menggunakan ukuran diameter 2 sampai dengan 3 inch dengan mata bor tipe NX.

Dalam kasus pelaksanaan sementasi di bawah pondasi bendungan Wiyu, direncanakan pengeboran yang terdiri atas 2 baris dengan jarak antar lubang-lubang bor adalah 300 cm. Untuk *grouting* dengan semen lubang berdiameter 38 mm umumnya yang dipakai. Adapun gambar rencana penempatan lubang-lubang *grouting* dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Sketsa rencana penempatan lubang-lubang sementasi

Sumber : Perencanaan

4.5.1.3. Pelaksanaan *Grouting*

Sementasi dilaksanakan dengan menginjeksikan bubur semen sebagai bahan perekat ke dalam batuan-batuan yang mengandung rekahan, sehingga rekahan tersebut dapat terisi oleh bahan perekat dan dengan demikian batuan tersebut menjadi masif kembali. Tergantung dari jenis batuan serta karakteristik rekahan, maka bahan perekat itupun sangat banyak ragamnya, antara lain adukan

semen, adukan semen bercampur pasir halus, bubur tanah liat, cairan aspal, bentonit, cairan gelas, dan banyak lagi zat-zat kimiawi lainnya.

Injeksi biasanya dilaksanakan sesudah dilakukan pengeboran, pencucian pada lubang bor, dan pengujian permeabilitas pada lapisan pondasi. Berdasarkan angka Lugeon dari hasil pengujian permeabilitas pada setiap lubang bor, maka dapat ditetapkan tekanan injeksinya pada masing-masing lubang bor yang bersangkutan. Selain itu pada pelaksanaan injeksi tekanan-tekanan yang diberikan biasanya antara dua sampai tiga kali tinggi air di dalam waduk. Sebelum dilaksanakan injeksi biasanya kedalaman lubang bor dibagi menjadi dua sampai empat tingkatan dan injeksi dilakukan secara bertingkat pula.

Kepekatan bubur sementasi dari adukan semen yang dipergunakan bertingkat-tingkat pula, dimulai dari yang paling encer, yaitu dengan perbandingan antara semen dan air dalam berat 1 : 8 dan berakhir dengan perbandingan 1 : 1.

4.5.2. Efektivitas Pekerjaan *Grouting*

4.5.2.1. Efektivitas Pelaksanaan *Grouting*

Besarnya efektivitas *grouting* yang ditunjukkan oleh besarnya pengaruh *grouting* terhadap kelulusan air batuan sebelum dilakukan *grouting*. Dalam kasus ini direncanakan efektivitas pelaksanaan *grouting* sebesar 50%, dan K sebelum *grouting* adalah $9,496 \times 10^{-6}$ m/det. Maka, kelulusan air sesudah *digrouting* dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{fs} = 100 - \frac{K_g}{K} \times 100\%$$

$$50\% = 100 - \frac{K_g}{9,496 \times 10^{-6}} \times 100\%$$

$$K_g = 4,748 \times 10^{-6} \text{ m/det}$$

4.5.2.2. Efektivitas *Grouting* terhadap Kemampuan Mengurangi Debit Rembesan

Apabila diketahui data-data sebagai berikut:

$$K_1 = 9,496 \times 10^{-6} \text{ m/det}$$

$$H = 33 \text{ m}$$

$$Z_f = 42 \text{ m (dilihat dari data bore hole)}$$

$$L_1 = 209,200 \text{ m}$$

$$L_2 = 559,808 \text{ cm} = 5,598 \text{ m}$$

Perhitungan debit rembesan sebelum digROUTING:

$$\begin{aligned} Q_o &= \frac{K_1 \cdot H \cdot Z_f}{L_1} \\ &= \frac{9,496 \times 10^{-6} \cdot 33 \cdot 42}{209,200} \\ &= 6,291 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt.m} \end{aligned}$$

Direncanakan Efisiensi E_c sebesar 60%

Maka perhitungan debit setelah *grouting* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{Q_o - Q}{Q_o} \times 100\% \\ 60\% &= \frac{6,291 \times 10^{-5} - Q}{6,291 \times 10^{-5}} \times 100\% \\ 0,60 &= \frac{6,291 \times 10^{-5} - Q}{6,291 \times 10^{-5}} \\ 3,775 \times 10^{-5} &= 6,291 \times 10^{-5} - Q \\ Q &= 2,516 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Menentukan koefisien permeabilitas setelah *grouting* :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot H \cdot Z_f}{K_2 \cdot L_1 + K_1 \cdot L_2} \\ 2,516 \cdot 10^{-5} &= \frac{9,496 \times 10^{-6} \cdot K_2 \cdot 33 \cdot 42}{(K_2 \cdot 209,20) + (9,496 \times 10^{-6} \cdot 5,598)} \\ 2,516 \cdot 10^{-5} &= \frac{0,013 \cdot K_2}{209,20 \cdot K_2 + 5,316 \cdot 10^{-5}} \\ 0,013 \cdot K_2 &= 2,516 \cdot 10^{-5} (209,20 \cdot K_2 + 5,316 \cdot 10^{-5}) \\ 0,013 \cdot K_2 &= 5,264 \cdot 10^{-3} \cdot K_2 + 1,338 \cdot 10^{-9} \\ 1,338 \cdot 10^{-9} &= 0,013 \cdot K_2 - 5,264 \cdot 10^{-3} \cdot K_2 \\ 1,338 \cdot 10^{-9} &= 7,736 \cdot 10^{-3} \cdot K_2 \\ K_2 &= 1,730 \cdot 10^{-7} \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Maka dengan efisiensi E_c sebesar 60% menghasilkan debit setelah *grouting* sebesar $2,516 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan kelulusan air $1,730 \cdot 10^{-7} \text{ m/dt}$.

4.6. Analisa Rembesan pada Bendungan Konto Wiyu

4.6.1. Rembesan pada Inti Bendungan

Untuk menentukan total rembesan yang terjadi pada inti bendungan, dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Penentuan Format Garis Depresi

$$\text{Tinggi air di hulu } (h) = 33 \text{ m}$$

$$l_1 = 7,04 \text{ m}$$

$$0,3 \cdot l_1 = 2,112 \text{ m}$$

$$l_2 = 14,96 \text{ m}$$

$$d = 0,3 \cdot l_1 + l_2$$

$$= 2,112 + 14,96$$

$$= 17,072 \text{ m}$$

Dengan demikian, maka

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$= \sqrt{33^2 + 17,072^2} - 17,072$$

$$= 20,08 \text{ m}$$

$$p = \frac{Y_0}{2}$$

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

Parabola bentuk dasar dapat ditentukan melalui persamaan :

$$X = \frac{Y^2 - 4p^2}{4p}$$

maka

$$Y = \sqrt{2Y_0X + Y_0^2}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 20,08 X + 20,08^2}$$

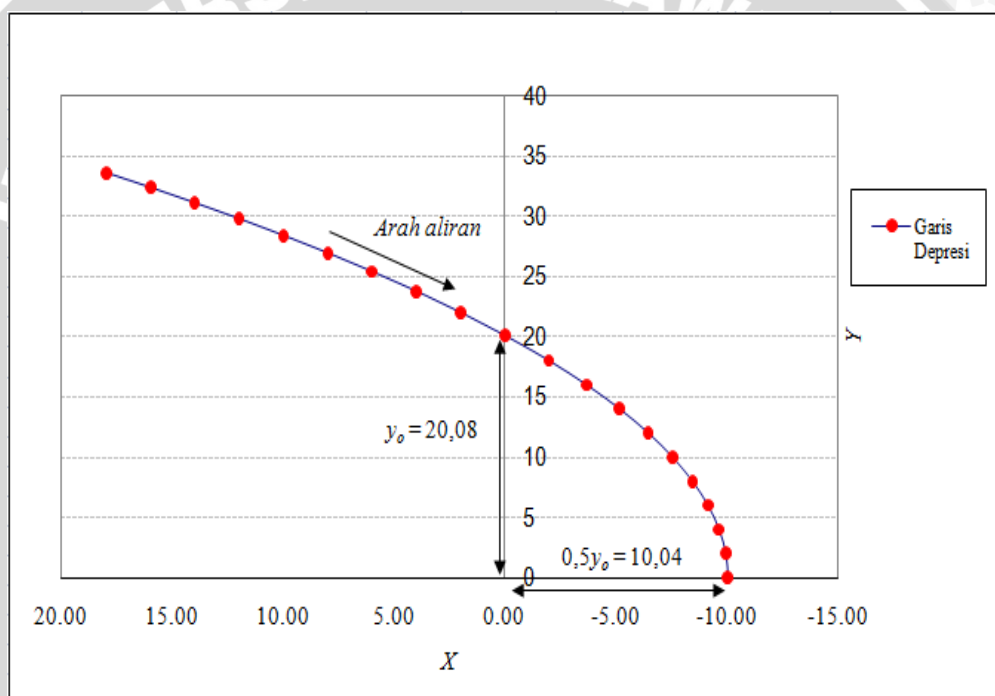
$$= \sqrt{40,16 X + 403,30}$$

Sehingga diperoleh koordinat parabola :

Tabel 4.27. Koordinat Titik Garis Depresi

X	Y	X	Y
-10.04	0	0	20.08
-9.94	2	2	21.99
-9.64	4	4	23.75
-9.14	6	6	25.38
-8.45	8	8	26.92
-7.55	10	10	28.37
-6.46	12	12	29.75
-5.16	14	14	31.07
-3.67	16	16	32.34
-1.97	18	18	33.56

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.19 Formasi garis depresi pada tubuh bendungan

Sumber: Perhitungan

Bentuk dari parabola yang didapat melalui perhitungan di atas merupakan garis depresi teoritis sehingga harus disesuaikan dengan garis aliran yang sesungguhnya. Penyesuaian titik-titik perpotongan dari parabola dasar ke garis aliran sesungguhnya menurut *Cassagrande* adalah sebagai berikut :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{0,21} = 4,69$$

$$\alpha = 77,96^{\circ} \rightarrow \text{dilihat dari grafik 2.26, maka didapat nilai } C = 0,28$$

$$\begin{aligned} a + \Delta a &= \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} \\ &= \frac{20,08}{1 - \cos 77,96^\circ} \\ &= 25,38 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} = 0,28$$

$$\Delta a = 7,11 \text{ m, maka } a = 18,27 \text{ m}$$

Persamaan untuk garis aliran adalah :

$$k_1 = 2,86 \cdot 10^{-9} \text{ m/det}$$

$$k_2 = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m/det}$$

$$h_2 = \frac{k_1}{k_2} \cdot Y_0$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2,86 \cdot 10^{-9}}{1,96 \cdot 10^{-4}} \cdot 20,08 \\ &= 2,93 \cdot 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \sqrt{2h_2X + h_2^2} \\ &= \sqrt{2 \cdot 2,93 \cdot 10^{-4}X + (2,93 \cdot 10^{-4})^2} \\ &= \sqrt{5,85 \cdot 10^{-4}X + 8,56 \cdot 10^{-8}} \end{aligned}$$

Maka diperoleh koordinat garis aliran sebagai berikut :

Tabel 4.28. Koordinat Garis Aliran

X	Y
0	0.0003
5	0.0541
10	0.0765
15	0.0937
20	0.1082
25	0.1210
30	0.1325
35	0.1431
40	0.1530
45	0.1623
50	0.1711
55	0.1794
60	0.1874

Sumber: Perhitungan

b. Kapasitas Aliran Filtrasi

Dari gambar penentuan garis depresi dan *flownet* diperoleh data :

$$N_f = 9, N_p = 10$$

Data lain yang terkait,

$$H = 33 \text{ m}$$

$$L = 176,164 \text{ m (panjang profil melintang tubuh bendungan)}$$

$$k = 2,86 \cdot 10^{-7} \text{ cm/det} \approx 2,86 \cdot 10^{-9} \text{ m/det}$$

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot h \cdot L$$

$$= \frac{9}{10} \cdot 2,86 \cdot 10^{-9} \cdot 33 \cdot 176,164$$

$$= 1,496 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$$

$$= 1,293 \text{ m}^3/\text{hari}$$

c. Gejala Sufosi (*Piping*)

Adanya rembesan air yang melalui tubuh bendungan dapat mengakibatkan terjadinya gejala piping yang pada akhirnya akan membahayakan stabilitas bendungan. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$G_s = 2,5845$$

$$l = 0,709 \text{ m (didapatkan dari gambar flownet)}$$

$$e = 3,134$$

$$n = 75,81\%$$

$$h = 0,476 \text{ m (didapatkan dari gambar flownet)}$$

$$\text{Maka, } i_e = \frac{h}{l} = \frac{0,476}{0,709} = 0,671 \text{ (maximum exit gradient)}$$

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = \frac{2,58 - 1}{1 + 3,134} = 4,719$$

$$SF = \frac{i_c}{i_e} \text{ dimana SF (faktor aman) ditentukan 4 (Christady, 2010:220)}$$

$$\frac{i_c}{i_e} \geq 4$$

$$\frac{4,719}{0,671} \geq 4$$

$$7,029 \geq 4$$

Oleh karena $i_e < i_c$ dan $\frac{i_c}{i_e} \geq$ angka keamanan 4, maka bendungan aman terhadap bahaya *piping*.

Selain dengan analisis di atas, perlu juga adanya kontrol besar kecepatan aliran rembesan yang melalui tubuh bendungan, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V &= \frac{k \cdot i}{n} \\ &= \frac{2,86 \cdot 10^{-9} \cdot 0,671}{0,7581} \\ &= 2,531 \cdot 10^{-9} \text{ m/det} \end{aligned}$$

Kecepatan kritis dapat dihitung dengan persamaan :

$$v_c = \sqrt{\frac{w_{ef} \cdot g}{F \cdot \gamma_w}}$$

dimana

$$\begin{aligned} w_{ef} &= (G_s - 1) \cdot \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 \\ &= (2,58 - 1) \cdot \frac{1}{6} \cdot 3,14 \cdot 0,01^3 \\ &= 8,29 \cdot 10^{-7} \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,01^2 \\ &= 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_c &= \sqrt{\frac{(8,29 \cdot 10^{-7}) \cdot 9,81}{(7,85 \cdot 10^{-5}) \cdot 1000}} \\ &= 0,01 \text{ cm/det} \approx 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m/det} \end{aligned}$$

Oleh karena $v < v_c$, maka bendungan aman terhadap bahaya *piping*.

4.6.2. Kontrol Rembesan

Total rembesan bendungan baik yang melalui inti maupun yang melalui pondasi bendungan perlu dicek apakah memenuhi syarat yaitu hanya diperkenankan antara 2 – 5% dari debit rata-rata tahunan sungai. Diketahui debit

rata-rata tahunan adalah sebesar $4,474 \text{ m}^3/\text{det}$. Q_{ijin} rembesan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= 2\% \times 4,474 \text{ m}^3/\text{det} \\ &= 0,0895 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Maka nilai Q_{total} rembesan dan pondasi harus lebih kecil daripada Q_{ijin} tersebut.

Kontrol rembesan total dapat dihitung:

a. Rembesan total tanpa *grouting*

$$\begin{aligned} Q_f \text{ inti} &= 1,496 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det} \\ Q_f \text{ pondasi} &= 6,291 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det} \cdot \text{m} \\ &= 6,291 \cdot 10^{-5} \times 176,164 \\ &= 0,011 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_f \text{ total} &= Q_f \text{ inti} + Q_f \text{ pondasi} \\ &= 1,496 \cdot 10^{-5} + 0,011 \\ &= 0,0111 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase} &= \frac{Q_f \text{ total}}{Q_{\text{rerata tahunan}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0111}{4,474} \times 100\% \\ &= 0,248\% \end{aligned}$$

$Q_f \text{ total}$ sebelum *grouting* $= 0,0111 \text{ m}^3/\text{det} < Q_{ijin} = 0,0895 \text{ m}^3/\text{det}$ maka bendungan dinyatakan aman terhadap rembesan.

b. Rembesan total setelah *grouting*

$$\begin{aligned} Q_f \text{ inti} &= 1,496 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det} \\ Q_f \text{ pondasi} &= 2,516 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det} \cdot \text{m} \\ &= 2,516 \cdot 10^{-5} \times 176,164 \\ &= 4,432 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_f \text{ total} &= Q_f \text{ inti} + Q_f \text{ pondasi} \\ &= 1,496 \cdot 10^{-5} + 4,432 \cdot 10^{-3} \\ &= 4,447 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase} &= \frac{Q_f \text{ total}}{Q_{\text{rerata tahunan}}} \times 100\% \\ &= \frac{4,447 \cdot 10^{-3}}{4,474} \times 100\% \\ &= 0,099\% \end{aligned}$$

Q_f total setelah grouting = $4,447 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} < Q_{ijin} = 0,0895 \text{ m}^3/\text{det}$ maka bendungan dinyatakan aman terhadap rembesan.

4.7. Analisa *Settlement* pada Inti Bendungan

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*), karena itu perlu adanya analisis penurunan inti bendungan sehingga dapat digunakan sebagai dasar penambahan volume inti demi keamanan tubuh bendungan.

Besarnya penurunan tubuh bendungan (ΔH) segera sesudah bendungan selesai dibangun dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot T$$

diketahui $\gamma = 1,334 \text{ ton/m}^3$

$H = 37,5 \text{ m}$ (tinggi inti bendungan)

$T = 0,3$

$m_v = 0,0062 \text{ m}^2/\text{ton}$

$E = \frac{1}{m_v} = \frac{1}{0,0062} = 161,290 \text{ ton/m}^2$

maka

$$\Delta H = \frac{1}{2 \times 161,290} \cdot 1,334 \cdot 37,5^2 \cdot 0,3$$

$$= 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,334 \cdot 37,5^2 \cdot 0,3$$

$$= 1,745 \text{ m}$$

Prosentase *settlement* yang terjadi:

$$P = \frac{\Delta H}{H} = \frac{1,745}{37,5} \times 100\% = 4,653\%$$

Dari perhitungan di atas maka diperoleh penurunan total sebesar 1,745 m dengan presentase sebesar 4,653% dari tinggi inti tubuh bendungan.

4.8. Analisa Stabilitas Lereng Tubuh Bendungan

Perhitungan stabilitas lereng pada tubuh Bendungan Wiyu menggunakan metode irisan bidang luncur bundar *Fellenius*, yang akan dianalisis berdasarkan kondisi-kondisi sebagai berikut :

- a. Pada lereng hulu bendungan
 - Waduk kosong saat keadaan normal

- Muka air waduk pada elevasi *NWL* saat keadaan normal
 - Muka air waduk pada elevasi *FWL* saat keadaan normal
 - Waduk kosong saat terjadi gempa
 - Muka air waduk pada elevasi *NWL* saat terjadi gempa
 - Muka air waduk pada elevasi *FWL* saat terjadi gempa
 - Waduk saat mengalami penurunan muka air mendadak (*rapid draw down*)
- b. Pada lereng hilir bendungan
- Waduk kosong saat keadaan normal
 - Muka air waduk pada elevasi *NWL* saat keadaan normal
 - Muka air waduk pada elevasi *FWL* saat keadaan normal
 - Waduk kosong saat terjadi gempa
 - Muka air waduk pada elevasi *NWL* saat terjadi gempa
 - Muka air waduk pada elevasi *FWL* saat terjadi gempa

Adapun data yang tersedia adalah sebagai berikut :

Tabel 4.29. Data Material Timbunan

<i>Zona Timbunan</i>	γ_{wet} t/m ³	γ_{sat} t/m ³	<i>c</i> (ton/m ²)	ϕ (°)	<i>K</i> cm/dt
Core	1.334	1.383	3.200	21.420	0.000000286
Filter Halus	1.586	1.922	0	30	0.01963
Filter kasar	1.736	1.987	0	35	0.0055
Timbunan batu	1.750	2.350	0	37	0
Rip-Rap	1.750	2.350	0	37	0

Sumber : Data

4.8.1. Analisa Stabilitas Lereng Kondisi Tanpa Gempa

- a. Bagian hulu bendungan saat waduk kosong dalam kondisi tanpa gempa.
1. Menentukan jari-jari bidang longsor (*R*) sehingga tepi lingkaran menyinggung dasar pondasi dan mengenai semua jenis material timbunan tubuh bendungan.
 2. Membagi bidang longsor menjadi beberapa bagian sama lebar, kemudian masing-masing pias dihitung luas (*A*) dan gaya beratnya (*W*). Pada perhitungan, untuk pias 1 didapatkan nilai:

$$A = 7,374 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} W &= A \cdot \gamma \\ &= 7,374 \cdot 1,750 \\ &= 12,905 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

3. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = -31,592^\circ$
4. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor tubuh bendungan

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 12,905 \cdot \sin (-31,592^\circ) \\ &= -6,760 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

5. Menghitung momen yang menahan bidang longsor pada bendungan

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 12,905 \cdot \cos (-31,592^\circ) \\ &= 10,992 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

maka

$$N \tan \phi = 10,992 \cdot \tan \phi$$

Dimana ϕ merupakan sudut geser tiap jenis bahan timbunan, untuk zona timbunan batu dan rip-rap nilai $\phi = 37^\circ$, ϕ bahan filter = 35° dan ϕ bahan inti = $21,42^\circ$.

$$\begin{aligned} N \tan \phi &= 10,992 \cdot \tan 37^\circ \\ &= 8,283 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

6. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran

$$C \cdot l = \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360}$$

C adalah angka kohesi tiap jenis bahan timbunan. Untuk timbunan batu dan filter nilai C dianggap 0 ton/m², dan nilai C bahan inti adalah 3,2 ton/m². Sedangkan θ_c adalah sudut antara 2 garis yang menyinggung zona kedap air dan r adalah jari-jari bidang luncur bundar. Dalam perhitungan ini diketahui $\theta_c = 15,308^\circ$ dan $r = 66,583$ m.

$$\begin{aligned} C \cdot l &= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360} \\ &= 56,949 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

7. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor dihitung, selanjutnya mencari nilai faktor keamanan (SF), jika $W \cos \alpha = N$ dan $W \sin \alpha = T$, maka:

$$SF = \frac{\sum \{C + (N - U - N_e) \cdot \tan \phi\}}{\sum (T + T_e)}$$

Nilai U muncul ketika waduk terisi air, nilai N_e dan T_e muncul ketika waduk dalam kondisi gempa.

Pada perhitungan kali ini, kondisi waduk kosong saat keadaan normal sehingga:

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum \{C + N \cdot \tan \phi\}}{\sum T} \\ &= \frac{56,949 + 2274,763}{602,426} \\ &= 3,871 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 3,871. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk kondisi akhir pelaksanaan (waduk kosong) faktor aman minimumnya adalah 1,25. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

- b. Bagian hulu bendungan saat muka air waduk pada elevasi NWL dalam kondisi tanpa gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, nilai W merupakan jumlah dari W basah dan kering dari masing-masing zona, karena pada saat waduk terisi air, sebagian pias terendam air. Selain itu juga harus memperhitungkan berat air di atas timbunan.

Contoh pada pias 22 :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_w &= 0,152 \text{ m}^2 \\ A_{\text{batuan1}} &= 95,783 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)} \\ A_{\text{batuan2}} &= 1,546 \text{ m}^2 \text{ (kering)} \\ \gamma_w &= 1 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 2,35 \text{ t/m}^3 \\ \gamma &= 1,75 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_w &= A_w \cdot \gamma_w \\ &= 0,152 \cdot 1 \\ &= 0,152 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{basah}} &= A_{\text{batuan1}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 95,783 \cdot 2,35 \\ &= 225,090 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{kering}} &= A_{\text{batuan2}} \cdot \gamma \\ &= 1,546 \cdot 1,75 \\ &= 2,706 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_w + W_{\text{basah}} + W_{\text{kering}} \\ &= 0,152 + 225,090 + 2,706 \\ &= 227,948 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 227,948 \cdot \sin 26,513^\circ \\ &= 101,756 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 227,948 \cdot \cos 26,513^\circ \\ &= 203,975 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan dapat diperoleh dari dengan persamaan

$$U = \frac{u \cdot b}{\cos \alpha}$$

dimana u adalah tekanan air rata-rata yang diperoleh dengan persamaan:

$$\begin{aligned} u &= h_w \cdot \gamma_w \quad (h_w = \text{tinggi pias basah} = 23,998 \text{ m}) \\ u &= 23,998 \cdot 1 \\ &= 23,998 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} U &= \frac{23,998 \cdot 4}{\cos 26,513^\circ} \\ &= 107,274 \text{ t/m} \end{aligned}$$

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583$ m dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$\begin{aligned} C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\ &= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360} \\ &= 56,949 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum \{C \cdot l + (N - U) \tan \phi\}}{\sum T} \\ &= \frac{(56,949 + 2019,775)}{431,365} \\ &= 4,814 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 4,814. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk terisi air faktor aman minimumnya adalah 1,5. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

- c. Bagian hulu bendungan saat muka air waduk mengalami penurunan mendadak dalam kondisi tanpa gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, nilai W merupakan jumlah dari W basah dan kering dari masing-masing zona, karena pada saat waduk terisi air, sebagian pias terendam air. Saat terjadi penurunan muka air cepat, berat air akan berkurang, namun pias yang sebelumnya terendam air masih dalam keadaan jenuh.

Contoh pada pias 4:

$$\text{Diketahui } A_w = 32,261 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{batuan}} = 11,338 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,35 \text{ t/m}^3$$

$$W_w = A_w \cdot \gamma_w$$

$$= 32,261 \cdot 1$$

$$= 32,261 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 11,338 \cdot 2,35 \\
 &= 26,645 \text{ t/m} \\
 W_{\text{total}} &= W_w + W_{\text{batuan}} \\
 &= 32,261 + 26,645 \\
 &= 58,906 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 T &= W \cdot \sin \alpha \\
 &= 58,906 \cdot \sin (-30,281^\circ) \\
 &= -29,703 \text{ ton/m} \\
 N &= W \cdot \cos \alpha \\
 &= 58,906 \cdot \cos (-30,281^\circ) \\
 &= 50,869 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan dapat diperoleh dari dengan persamaan

$$U = \frac{u \cdot b}{\cos \alpha}$$

dimana u adalah tekanan air rata-rata yang diperoleh dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 u &= h_w \cdot \gamma_w \quad (h_w = \text{tinggi pias basah} = 2,915 \text{ m}) \\
 u &= 2,915 \cdot 1 \\
 &= 2,915 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{2,915 \cdot 4}{\cos(-30,281^\circ)} \\
 &= 13,502 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583 \text{ m}$ dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$\begin{aligned}
 C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\
 &= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360} \\
 &= 56,949 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum \{C.l + (N - U) \tan \phi\}}{\sum T} \\ &= \frac{(56,949 + 1608,372)}{637,163} \\ &= 2,614 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 2,614. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk mengalami penurunan muka air cepat faktor aman minimumnya adalah 1,2. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

d. Bagian hilir bendungan bendungan saat akhir pelaksanaan, muka air waduk pada elevasi *NWL*, dan *FWL*, dalam kondisi tanpa gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, pada hilir bendungan tidak terdapat genangan air, maka perhitungan pada setiap kondisi dianggap sama.

Contoh pada pias 19:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{\text{batuan}} &= 43,444 \text{ m}^2 \\ A_{\text{filter kasar}} &= 10,419 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)} \\ \gamma_{\text{batuan}} &= 1,750 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_{\text{filter kasar}} &= 1,736 \text{ t/m}^3 \\ W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 43,444 \cdot 1,750 \\ &= 76,027 \text{ t/m} \\ W_{\text{filter}} &= A_{\text{filter}} \cdot \gamma_{\text{filter}} \\ &= 10,419 \cdot 1,736 \\ &= 18,088 \text{ t/m} \\ W_{\text{total}} &= W_{\text{batuan}} + W_{\text{filter}} \\ &= 76,027 + 18,088 \\ &= 94,114 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 94,114 \cdot \sin 41,618^\circ \\ &= 62,507 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 94,114 \cdot \cos 41,618^\circ \\ &= 70,359 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan tidak ada karena tidak terdapat genangan air pada hilir bendungan.

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 80 \text{ m}$ dan $\theta_c = 9,763^\circ$

$$\begin{aligned} C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\ &= \frac{3,2 \cdot 9,763^\circ \cdot 2\pi \cdot 80}{360} \\ &= 43,639 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum \{C \cdot l + (N - U) \tan \phi\}}{\sum T} \\ &= \frac{(43,639 + 1905,444)}{600,336} \\ &= 3,247 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 3,247. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), faktor aman minimumnya adalah 1,5. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.30 sampai dengan Tabel 4.44.

Tabel 4.30. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T1

C Urugan batu		=		0.00 ton/m ²		r		=		66.583 m					
C Filter		=		0.00 ton/m ²		θc		=		15.308 °					
C Inti		=		3.20 ton/m ²											
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	φ (°)	tan φ	N tan φ (t/m)	C.I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Urugan batu & nip-rap	4000	7.374	1.750	12.905	12.905	-31.592	-0.524	0.852	-6.760	10.992	37.000	0.754	8.283	
2	Urugan batu & nip-rap	4000	17.565	1.750	30.739	30.739	-27.632	-0.464	0.886	-14.257	27.233	37.000	0.754	20.522	
3	Urugan batu & nip-rap	4000	27.253	1.750	47.693	47.693	-23.811	-0.404	0.915	-19.255	43.634	37.000	0.754	32.880	
4	Urugan batu & nip-rap	4000	38.989	1.750	68.230	68.230	-20.099	-0.344	0.939	-23.447	64.075	37.000	0.754	48.284	
5	Urugan batu & nip-rap	4000	49.612	1.750	86.821	86.821	-16.473	-0.284	0.959	-24.619	83.257	37.000	0.754	62.739	
6	Urugan batu & nip-rap	4000	59.143	1.750	103.501	103.501	-12.914	-0.223	0.975	-23.131	100.883	37.000	0.754	76.021	
7	Urugan batu & nip-rap	4000	67.635	1.750	118.361	118.361	-9.405	-0.163	0.987	-19.342	116.770	37.000	0.754	87.992	
8	Urugan batu & nip-rap	4000	75.123	1.750	131.466	131.466	-5.932	-0.103	0.995	-13.587	130.762	37.000	0.754	98.536	
9	Urugan batu & nip-rap	4000	81.634	1.750	142.859	142.859	-2.480	-0.043	0.999	-6.182	142.725	37.000	0.754	107.551	
10	Urugan batu & nip-rap	4000	87.179	1.750	152.563	152.563	0.963	0.017	1.000	2.564	152.542	37.000	0.754	114.948	
11	Urugan batu & nip-rap	4000	91.761	1.750	160.582	160.582	4.410	0.077	0.997	12.348	160.106	37.000	0.754	120.649	
12	Urugan batu & nip-rap	4000	95.372	1.750	166.902	166.902	7.872	0.137	0.991	22.859	165.329	37.000	0.754	124.584	
13	Urugan batu & nip-rap	4000	97.993	1.750	171.488	171.488	11.364	0.197	0.980	33.790	168.126	37.000	0.754	126.692	
14	Urugan batu & nip-rap	4000	99.592	1.750	174.286	174.286	14.899	0.257	0.966	44.812	166.426	37.000	0.754	126.918	
15	Urugan batu & nip-rap	4000	100.124	1.750	175.216	175.216	18.493	0.317	0.948	55.577	166.169	37.000	0.754	125.217	
16	Urugan batu & nip-rap	4000	99.526	1.750	174.171	174.171	22.164	0.377	0.926	65.707	161.301	37.000	0.754	121.549	
17	Urugan batu & nip-rap	4000	97.715	1.750	171.000	171.000	25.934	0.437	0.899	74.785	153.780	37.000	0.754	115.882	
18	Urugan batu & nip-rap	4000	94.577	1.750	165.509	165.509	29.829	0.497	0.868	82.326	143.581	37.000	0.754	108.196	
19	Urugan batu & nip-rap	4000	89.070	1.750	155.872	157.283	33.882	0.557	0.830	87.683	130.574	37.000	0.754	98.335	
	Filter halus		0.890	1.586	1.411							30.000	0.577	75.387	
	Urugan batu & nip-rap		43.987	1.750	76.977							37.000	0.754	81.771	
20	Filter halus	4000	32.057	1.586	50.842	137.967	38.139	0.618	0.787	85.205	108.513	30.000	0.577	62.650	
	Inti		7.608	1.334	10.149							21.420	0.392	42.570	
	Urugan batu & nip-rap		2.638	1.750	4.617							37.000	0.754	56.894	
21	Inti	4000	56.095	1.334	74.831	102.668	42.660	0.678	0.735	69.573	75.501	21.420	0.392	29.619	
	Filter halus		14.641	1.586	23.221							30.000	0.577	43.591	56.949
	Urugan batu & nip-rap		2.000	1.750	3.500	77.326	47.537	0.738	0.675	57.044	52.204	37.000	0.754	39.338	
22	Inti	4000	55.342	1.334	73.826							21.420	0.392	20.479	
	Urugan batu & nip-rap		2.326	1.750	4.070							37.000	0.754	25.662	
23	Inti	4000	16.247	1.334	21.673	56.481	52.920	0.798	0.603	45.060	34.054	21.420	0.392	13.359	
	Filter halus		15.204	1.586	24.113							30.000	0.577	19.661	
	Filter kasar		3.816	1.736	6.625							35.000	0.700	23.845	
24	Urugan batu & nip-rap	2.949	3.869	1.750	6.771	16.085	58.209	0.850	0.603	13.672	9.688	37.000	0.754	7.308	
	Filter kasar		5.365	1.736	9.314							35.000	0.700	6.791	
	Jumlah									602.426				2274.763	56.949

3.871

Keterangan :

1 Nomor itisan bidang luncur (nomor pias)

2 Jenis material tiap pias

3 Lebar tiap pias

4 Luasan menurut zona tiap pias

5 Berat tanah menurut zona tiap pias

6 Gaya berat = (4) x (5)

7 Gaya berat total tiap pias

8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias

9 Sin (θ)

Cos (θ)

10 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)

11 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)

13 Sudut geser menurut zona timbunan

14 Tan (13)

15 (12) x (14)

16 $C \times \theta_z \times 2\pi \times r$

360

Tabel 4.31. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T2

C Urugan batu		=		0.00 ton/m ²		r		=		70.218 m					
C Filter		=		0.00 ton/m ²		θ _c		=		13.802 °					
C Inti		=		3.20 ton/m ²											
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	φ (°)	tan φ	N tan φ (t/m)	C . I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Ungran batu & rip-rap	4.000	7.279	1.750	12.738	12.738	-29.326	-0.490	0.872	-46.239	11.106	37.000	0.754	8.369	
2	Ungran batu & rip-rap	4.000	19.902	1.750	34.828	34.828	-25.646	-0.433	0.901	-15.074	31.397	37.000	0.754	23.659	
3	Ungran batu & rip-rap	4.000	27.400	1.750	47.950	47.950	-22.077	-0.376	0.927	-18.022	44.435	37.000	0.754	33.484	
4	Ungran batu & rip-rap	4.000	36.623	1.750	64.091	64.091	-18.596	-0.319	0.948	-20.438	60.745	37.000	0.754	45.774	
5	Ungran batu & rip-rap	4.000	46.817	1.750	81.930	81.930	-15.184	-0.262	0.965	-21.459	79.070	37.000	0.754	59.583	
6	Ungran batu & rip-rap	4.000	55.995	1.750	97.991	97.991	-11.827	-0.205	0.979	-20.084	95.911	37.000	0.754	72.274	
7	Ungran batu & rip-rap	4.000	64.199	1.750	112.349	112.349	-8.510	-0.148	0.989	-16.626	111.112	37.000	0.754	83.729	
8	Ungran batu & rip-rap	4.000	71.460	1.750	125.055	125.055	-5.222	-0.091	0.996	-11.382	124.536	37.000	0.754	93.845	
9	Ungran batu & rip-rap	4.000	77.797	1.750	136.145	136.145	-1.952	-0.034	0.999	-4.637	136.066	37.000	0.754	102.533	
10	Ungran batu & rip-rap	4.000	83.220	1.750	145.634	145.634	1.313	0.023	1.000	3.337	145.596	37.000	0.754	109.714	
11	Ungran batu & rip-rap	4.000	87.729	1.750	153.525	153.525	4.581	0.080	0.997	12.262	153.035	37.000	0.754	115.320	
12	Ungran batu & rip-rap	4.000	91.317	1.750	159.804	159.804	7.865	0.137	0.991	21.868	158.301	37.000	0.754	119.288	
13	Ungran batu & rip-rap	4.000	93.966	1.750	164.440	164.440	11.175	0.194	0.981	31.870	161.322	37.000	0.754	121.565	
14	Ungran batu & rip-rap	4.000	95.648	1.750	167.384	167.384	14.523	0.251	0.968	41.975	162.035	37.000	0.754	122.102	
15	Ungran batu & rip-rap	4.000	96.324	1.750	168.566	168.566	17.923	0.308	0.951	51.874	160.386	37.000	0.754	120.859	
16	Ungran batu & rip-rap	4.000	95.939	1.750	167.893	167.893	21.389	0.365	0.931	61.230	156.330	37.000	0.754	117.803	
17	Ungran batu & rip-rap	4.000	94.422	1.750	165.239	165.239	24.940	0.422	0.907	69.676	149.831	37.000	0.754	112.905	
18	Ungran batu & rip-rap	4.000	91.680	1.750	160.439	160.439	28.596	0.479	0.878	76.791	140.668	37.000	0.754	106.152	
19	Ungran batu & rip-rap	4.000	87.585	1.750	153.273	153.273	32.385	0.536	0.844	82.094	129.435	37.000	0.754	97.536	
20	Ungran batu & rip-rap	4.000	78.847	1.750	137.982	142.933	36.339	0.593	0.806	84.697	115.136	37.000	0.754	86.761	
	Filter halus		3.122	1.586	4.951							30.000	0.577	66.474	
21	Ungran batu & rip-rap	4.000	27.161	1.750	47.531	119.473	40.506	0.650	0.760	77.601	90.840	37.000	0.754	68.453	
	Filter halus		12.801	1.334	17.077							21.420	0.392	35.636	
	Ungran batu & rip-rap	4.000	34.593	1.586	54.865							30.000	0.577	52.446	
22	Ungran batu & rip-rap	4.000	2.000	1.750	3.500			0.707	0.708	59.772	59.874	21.420	0.392	23.489	
	Filter halus		54.514	1.334	72.722	84.603	44.951					30.000	0.577	34.569	
	Ungran batu & rip-rap	4.000	2.000	1.750	3.500	60.193	49.771	0.763	0.646	45.956	38.875	21.420	0.392	15.251	54.149
	Filter halus		41.806	1.334	55.770							37.000	0.754	29.295	
	Filter halus		0.582	1.586	0.924							30.000	0.577	22.445	
24	Ungran batu & rip-rap	4.837	3.031	1.750	5.304	36.879	55.729	0.826	0.563	30.476	20.767	21.420	0.392	8.147	
	Filter halus		11.139	1.586	17.667							30.000	0.577	11.990	
	Filter kasar		5.844	1.736	10.146							35.000	0.700	14.541	
	Jumlah									617.517				2196.757	54.149

SF
3.645

Keterangan :

1 Nomor tisan bidang lurus (nomor r pias)

2 Jenis material tiap pias

3 Lebar tiap pias

4 Luasan menurut zona tiap pias

5 Berat tanah menurut zona tiap pias

6 Gaya berat = (4) x (5)

7 Gaya berat total tiap pias

8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias

9 Sin (θ)

10 Cos (θ)

11 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)

12 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)

13 Sudut geser menurut zona timbunan

14 Tan (13)

15 (12) x (14)

16 $C \times \theta_c \times 2\pi \times r$

360

Tabel 4.32. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T3

C Urugan batu		=		0.00 ton/m ²		r		=		73.852 m					
C Filter		=		0.00 ton/m ²		θc		=		12.386 °					
C Inti		=		3.20 ton/m ²											
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	φ (°)	tan φ	N tan φ (t/m)	C, I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Urugan batu & rip-rap	4.000	6.883	1.750	12.045	12.045	-27.199	-0.457	0.889	-5.506	102.13	37.000	0.754	8.073	
2	Urugan batu & rip-rap	4.000	19.845	1.750	34.729	34.729	-23.761	-0.403	0.915	-13.993	31.786	37.000	0.754	23.952	
3	Urugan batu & rip-rap	4.000	29.393	1.750	51.438	51.438	-20.411	-0.349	0.937	-17.939	48.208	37.000	0.754	36.328	
4	Urugan batu & rip-rap	4.000	35.330	1.750	61.828	61.828	-17.133	-0.295	0.956	-18.214	59.084	37.000	0.754	44.523	
5	Urugan batu & rip-rap	4.000	44.228	1.750	77.398	77.398	-13.912	-0.240	0.971	-18.609	75.128	37.000	0.754	56.613	
6	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.058	1.750	92.852	92.852	-10.735	-0.186	0.982	-17.295	91.227	37.000	0.754	68.744	
7	Urugan batu & rip-rap	4.000	60.973	1.750	106.703	106.703	-7.592	-0.132	0.991	-14.097	105.768	37.000	0.754	79.702	
8	Urugan batu & rip-rap	4.000	67.998	1.750	118.996	118.996	-4.471	-0.078	0.997	-9.276	118.634	37.000	0.754	89.397	
9	Urugan batu & rip-rap	4.000	74.147	1.750	129.757	129.757	-1.363	-0.024	1.000	-3.086	129.720	37.000	0.754	97.751	
10	Urugan batu & rip-rap	4.000	79.427	1.750	138.998	138.998	1.741	0.030	1.000	4.223	138.933	37.000	0.754	104.694	
11	Urugan batu & rip-rap	4.000	83.839	1.750	146.718	146.718	4.849	0.085	0.996	12.402	146.193	37.000	0.754	110.164	
12	Urugan batu & rip-rap	4.000	87.374	1.750	152.904	152.904	7.973	0.139	0.990	21.209	151.426	37.000	0.754	114.108	
13	Urugan batu & rip-rap	4.000	90.015	1.750	157.527	157.527	11.120	0.193	0.981	30.381	154.569	37.000	0.754	116.476	
14	Urugan batu & rip-rap	4.000	91.738	1.750	160.542	160.542	14.301	0.247	0.969	39.656	155.567	37.000	0.754	117.228	
15	Urugan batu & rip-rap	4.000	92.508	1.750	161.888	161.888	17.529	0.301	0.954	48.759	154.371	37.000	0.754	116.327	
16	Urugan batu & rip-rap	4.000	92.275	1.750	161.482	161.482	20.815	0.355	0.935	57.383	150.942	37.000	0.754	113.743	
17	Urugan batu & rip-rap	4.000	90.980	1.750	159.214	159.214	24.174	0.410	0.912	65.200	145.252	37.000	0.754	109.455	
18	Urugan batu & rip-rap	4.000	88.540	1.750	154.944	154.944	27.624	0.464	0.886	71.843	137.282	37.000	0.754	103.450	
19	Urugan batu & rip-rap	4.000	84.850	1.750	148.487	148.487	31.187	0.518	0.855	76.891	127.028	37.000	0.754	95.722	
20	Urugan batu & rip-rap	4.000	79.770	1.750	139.597	139.597	34.890	0.572	0.820	79.850	114.504	37.000	0.754	86.285	
21	Urugan batu & rip-rap	4.000	65.582	1.750	114.769	126.708	38.767	0.626	0.780	79.339	98.794	37.000	0.754	74.447	
	Filter halus		75.28	1.586	11.940							30.000	0.577	0.000	
22	Urugan batu & rip-rap	4.000	12.858	1.750	22.502	98.583	42.869	0.680	0.733	67.068	72.252	37.000	0.754	54.446	
	Inti		20.759	1.334	27.693							21.420	0.392	0.000	
	Filter halus		30.510	1.586	48.389							30.000	0.577	0.000	
23	Urugan batu & rip-rap	4.000	2.000	1.750	3.500	66.182	47.263	0.734	0.679	48.609	44.913	37.000	0.754	33.844	51.109
	Inti		46.737	1.334	62.346							21.420	0.392	0.000	
	Filter halus		0.211	1.586	0.335							30.000	0.577	0.000	
24	Urugan batu & rip-rap	4.000	2.000	1.750	3.500	42.379	52.059	0.789	0.615	33.422	26.057	37.000	0.754	19.635	
	Inti		22.361	1.334	29.830							21.420	0.392	0.000	
	Filter halus		57.06	1.586	9.049							30.000	0.577	0.000	
	Urugan batu & rip-rap	4.000	1.395	1.750	2.441							37.000	0.754	4.529	
25	Filter halus	2.549	2.566	1.586	4.070	10.863	56.407	0.833	0.553	9.049	6.011	30.000	0.577	0.000	
	Filter kasar		2.507	1.736	4.353							35.000	0.700	0.000	
Jumlah										627.268				1879.638	51.109

Keterangan:

- 1 Nomor irisan bidang lintar (nomor pias)
- 2 Jenis material tiap pias
- 3 Lebar tiap pias
- 4 Luasan menurut zona tiap pias
- 5 Berat tanah menurut zona tiap pias
- 6 Gaya berat = (4) x (5)
- 7 Gaya berat total tiap pias
- 8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- 9 Sin (θ)

- 10 Cos (θ)
- 11 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- 12 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- 13 Sudut geser menurut zona timbunan
- 14 Tan (θ)
- 15 (12) x (14)
- 16 $C \times \theta_e \times 2\pi \times r$

$$360$$

Tabel 4.33. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Kono Wiyu saat NWL Kondisi Tumpu Cempa dengan Titik Berat T1

$$= \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{0.00 \text{ ton/m}^2} = \frac{66.383 \text{ m}}{15.368^\circ} = \frac{f}{6c}$$

C	No.	Zona	b (m)	A		7		W		W _{res} (mm)	α	sin α	cos α	T	N	h _m (m)	U	φ	tan φ	(h _m -U) tan φ (mm)	C / I	
				3	4	5	6	7	10													11
1	Air	2	4,000	11,721	1,000	11,721	54,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,949	
	Air		4,000	49,947	1,000	49,947	49,947	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Air		4,000	63,335	1,000	63,335	63,335	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Air		4,000	75,337	1,000	75,337	75,337	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Air		4,000	76,036	1,000	76,036	76,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Urugan batu & rp-up		4,000	92,996	2,350	218,846	92,996	2,350	218,846	92,996	2,350	218,846	92,996	2,350	218,846	92,996	2,350	218,846	92,996	2,350		218,846
2	Air	2	4,000	76,000	1,000	76,000	120,214	27,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,949		
	Air		4,000	73,272	1,000	73,272	141,528	23,245	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	29,058	2,350	68,286	29,058	2,350	68,286	29,058	2,350	68,286	29,058	2,350	68,286	29,058	2,350	68,286	29,058		2,350	68,286
	Urugan batu & rp-up		4,000	40,664	2,350	95,500	40,664	2,350	95,500	40,664	2,350	95,500	40,664	2,350	95,500	40,664	2,350	95,500	40,664		2,350	95,500
	Air		4,000	62,005	1,000	62,005	182,734	15,382	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	57,772	1,000	57,772	199,424	12,382	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
3	Air	2	4,000	60,400	2,350	142,152	60,400	2,350	142,152	60,400	2,350	142,152	60,400	2,350	142,152	60,400	2,350	142,152	60,400	2,350	56,949	
	Air		4,000	51,139	1,000	51,139	213,684	4,679	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Urugan batu & rp-up		4,000	61,746	2,350	181,746	61,746	2,350	181,746	61,746	2,350	181,746	61,746	2,350	181,746	61,746	2,350	181,746	61,746	2,350		181,746
	Urugan batu & rp-up		4,000	76,168	2,350	178,904	76,168	2,350	178,904	76,168	2,350	178,904	76,168	2,350	178,904	76,168	2,350	178,904	76,168	2,350		178,904
	Air		4,000	41,272	1,000	41,272	199,424	12,382	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Urugan batu & rp-up		4,000	62,532	2,350	193,950	62,532	2,350	193,950	62,532	2,350	193,950	62,532	2,350	193,950	62,532	2,350	193,950	62,532	2,350		193,950
4	Air	2	4,000	35,039	1,000	35,039	242,579	1,483	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,949		
	Air		4,000	30,005	1,000	30,005	242,671	4,331	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	52,772	1,000	52,772	250,477	8,397	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	56,342	2,350	225,504	56,342	2,350	225,504	56,342	2,350	225,504	56,342	2,350	225,504	56,342	2,350	225,504	56,342		2,350	225,504
	Air		4,000	19,030	1,000	19,030	250,405	11,884	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	98,301	2,350	231,006	98,301	2,350	231,006	98,301	2,350	231,006	98,301	2,350	231,006	98,301	2,350	231,006	98,301		2,350	231,006
5	Air	2	4,000	14,005	1,000	14,005	248,999	15,437	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,949		
	Urugan batu & rp-up		4,000	99,742	2,350	234,933	99,742	2,350	234,933	99,742	2,350	234,933	99,742	2,350	234,933	99,742	2,350	234,933	99,742		2,350	234,933
	Air		4,000	92,772	1,000	92,772	248,525	19,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	92,772	1,000	92,772	248,525	19,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Air		4,000	10,939	1,000	10,939	248,999	15,437	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	
	Urugan batu & rp-up		4,000	99,333	2,350	234,932	99,333	2,350	234,932	99,333	2,350	234,932	99,333	2,350	234,932	99,333	2,350	234,932	99,333		2,350	234,932
6	Air	2	4,000	0,152	1,000	0,152	227,948	26,513	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,949		
	Urugan batu & rp-up		4,000	95,783	2,350	225,000	95,783	2,350	225,000	95,783	2,350	225,000	95,783	2,350	225,000	95,783	2,350	225,000	95,783		2,350	225,000
	Urugan batu & rp-up		4,000	15,546	1,750	214,105	15,546	1,750	214,105	15,546	1,750	214,105	15,546	1,750	214,105	15,546	1,750	214,105	15,546		1,750	214,105
	Urugan batu & rp-up		4,000	87,251	2,350	205,040	87,251	2,350	205,040	87,251	2,350	205,040	87,251	2,350	205,040	87,251	2,350	205,040	87,251		2,350	205,040
	Urugan batu & rp-up		4,000	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277		1,334	25,048
	Filter bahas		4,000	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861		1,750	214,105
7	Urugan batu & rp-up	2	4,000	19,179	2,350	45,067	19,179	2,350	45,067	19,179	2,350	45,067	19,179	2,350	45,067	19,179	2,350	45,067	19,179	2,350	56,949	
	Urugan batu & rp-up		4,000	14,906	1,750	208,085	14,906	1,750	208,085	14,906	1,750	208,085	14,906	1,750	208,085	14,906	1,750	208,085	14,906	1,750		208,085
	Filter bahas		4,000	33,033	1,922	63,484	33,033	1,922	63,484	33,033	1,922	63,484	33,033	1,922	63,484	33,033	1,922	63,484	33,033	1,922		63,484
	Inti		4,000	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586		3,947
	Urugan batu & rp-up		4,000	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383		17,886
	Filter bahas		4,000	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586	3,947	2,468	1,586		3,947
8	Urugan batu & rp-up	2	4,000	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	17,886	12,930	1,383	56,949	
	Filter bahas		4,000	6,633	1,586	10,531	6,633	1,586	10,531	6,633	1,586	10,531	6,633	1,586	10,531	6,633	1,586	10,531	6,633	1,586		10,531
	Inti		4,000	42,944	1,383	59,484	42,944	1,383	59,484	42,944	1,383	59,484	42,944	1,383	59,484	42,944	1,383	59,484	42,944	1,383		59,484
	Urugan batu & rp-up		4,000	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334		25,048
	Inti		4,000	15,596	1,383	22,071	15,596	1,383	22,071	15,596	1,383	22,071	15,596	1,383	22,071	15,596	1,383	22,071	15,596	1,383		22,071
	Urugan batu & rp-up		4,000	36,701	1,334	48,959	36,701	1,334	48,959	36,701	1,334	48,959	36,701	1,334	48,959	36,701	1,334	48,959	36,701	1,334		48,959
9	Urugan batu & rp-up	2	4,000	5,893	1,750	10,313	5,893	1,750	10,313	5,893	1,750	10,313	5,893	1,750	10,313	5,893	1,750	10,313	5,893	1,750	56,949	
	Inti		4,000	9,014	1,383	0,000	9,014	1,383	0,000	9,014	1,383	0,000	9,014	1,383	0,000	9,014	1,383	0,000	9,014	1,383		0,000
	Urugan batu & rp-up		4,000	13,334	1,334	12,633	13,334	1,334	12,633	13,334	1,334	12,633	13,334	1,334	12,633	13,334	1,334	12,633	13,334	1,334		12,633
	Filter bahas		4,000	25,048	1,586	2,468	25,048	1,586	2,468	25,048	1,586	2,468	25,048	1,586	2,468	25,048	1,586	2,468	25,048	1,586		2,468
	Urugan batu & rp-up		4,000	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334	25,048	17,277	1,334		25,048
	Filter bahas		4,000	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750	214,105	12,861	1,750		214,105

0.00 ton/m^2	r	$=$	70.218 m
0.00 ton/m^2	θ_c	$=$	13.802°
3.20 ton/m^2			

No.	Zona	2,20.00 m				W	W _m	α	sin α	cos α	T	N	h _z	U	φ	tan φ	(N/U) tan φ	C/I
		b	A	γ	W													
1	A-E	4.000	11.065	1.000	11.065	11.065	11.065	-53.227	0.901	0.599	8.887	6.642	12	14	15	16	17	18
2	A-E	4.000	30.660	1.000	30.660	30.660	-48.077	-0.744	0.668	-22.812	-20.465	34.226	13	14	15	16	17	18
3	A-E	4.000	47.106	1.000	47.106	47.106	-43.859	-0.687	0.727	-32.365	-30.479	47.479	13	14	15	16	17	18
4	A-E	4.000	61.145	1.000	61.145	61.145	-38.059	-0.630	0.776	-38.529	-36.601	61.001	13	14	15	16	17	18
5	A-E	4.000	73.230	1.000	73.230	73.230	-34.570	-0.573	0.839	-41.566	-39.641	74.065	13	14	15	16	17	18
6	Ungun batu & dipap	4.000	73.232	1.000	73.232	73.232	-34.570	-0.573	0.839	-41.566	-39.641	74.065	13	14	15	16	17	18
7	Ungun batu & dipap	4.000	77.876	1.000	77.876	77.876	-31.077	-0.516	0.866	-44.550	-42.625	78.888	13	14	15	16	17	18
8	Ungun batu & dipap	4.000	74.703	2.350	34.552	112.429	-27.337	-0.459	0.888	-51.530	-49.605	76.692	13	14	15	16	17	18
9	Ungun batu & dipap	4.000	76.000	1.000	76.000	132.920	-23.719	-0.402	0.916	-53.471	-51.546	78.586	13	14	15	16	17	18
10	Ungun batu & dipap	4.000	74.834	1.000	74.834	148.072	-20.159	-0.345	0.938	-51.679	-49.754	76.586	13	14	15	16	17	18
11	Ungun batu & dipap	4.000	31.886	2.350	74.837	169.030	-16.757	-0.288	0.958	-48.733	-46.808	74.837	13	14	15	16	17	18
12	Ungun batu & dipap	4.000	42.222	2.350	99.223	186.356	-13.377	-0.231	0.973	-43.115	-41.190	76.586	13	14	15	16	17	18
13	Ungun batu & dipap	4.000	51.480	1.000	59.140	201.353	-10.043	-0.174	0.985	-35.113	-33.188	76.586	13	14	15	16	17	18
14	Ungun batu & dipap	4.000	53.897	1.000	53.897	214.103	-6.743	-0.117	0.993	-25.139	-23.214	76.586	13	14	15	16	17	18
15	Ungun batu & dipap	4.000	68.211	2.350	80.296	224.664	-3.466	-0.090	0.996	-13.582	-11.657	76.586	13	14	15	16	17	18
16	Ungun batu & dipap	4.000	76.974	2.350	176.100	233.067	-0.209	-0.003	1.000	-0.014	-0.014	76.586	13	14	15	16	17	18
17	Ungun batu & dipap	4.000	43.140	1.000	43.140	233.067	-0.209	-0.003	1.000	-0.014	-0.014	76.586	13	14	15	16	17	18
18	Ungun batu & dipap	4.000	81.020	2.350	189.927	238.887	3.065	0.053	0.999	26.866	24.941	76.586	13	14	15	16	17	18
19	Ungun batu & dipap	4.000	85.753	2.350	201.520	243.432	6.341	0.110	0.994	26.866	24.941	76.586	13	14	15	16	17	18
20	Ungun batu & dipap	4.000	96.179	2.350	225.926	245.353	9.637	0.167	0.986	41.073	39.148	76.586	13	14	15	16	17	18
21	Ungun batu & dipap	4.000	94.591	2.350	223.228	245.035	12.965	0.224	0.975	54.079	52.154	76.586	13	14	15	16	17	18
22	Ungun batu & dipap	4.000	96.139	2.350	225.926	242.890	16.340	0.281	0.960	48.196	46.271	76.586	13	14	15	16	17	18
23	Ungun batu & dipap	4.000	11.140	1.000	11.140	237.335	19.774	0.338	0.941	80.213	23.340	24.075	103.771	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
24	Ungun batu & dipap	4.000	95.271	2.350	223.888	226.095	21.283	0.395	0.919	90.212	21.089	23.830	103.771	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
25	Ungun batu & dipap	4.000	92.659	2.350	217.750	219.463	26.887	0.452	0.882	99.248	19.579	23.291	104.456	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
26	Ungun batu & dipap	4.000	84.890	2.350	199.281	207.785	31.611	0.509	0.861	105.906	17.829	21.215	98.601	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
27	Ungun batu & dipap	4.000	74.381	2.350	175.254	193.102	34.483	0.566	0.824	108.327	15.913	18.662	90.560	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
28	Ungun batu & dipap	4.000	70.193	2.350	162.638	182.408	38.488	0.623	0.782	102.641	12.830	15.701	80.300	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
29	Ungun batu & dipap	4.000	66.689	1.922	39.766	164.719	38.345	0.623	0.782	102.641	12.830	15.701	80.300	37.000	0.754	80.795	68.787	54.149
30	Ungun batu & dipap	4.000	1.035	1.383	1.432	1.035	1.383	1.432	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
31	Ungun batu & dipap	4.000	0.259	2.350	0.607	0.259	2.350	0.607	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
32	Ungun batu & dipap	4.000	5.511	1.750	9.644	5.511	1.750	9.644	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
33	Ungun batu & dipap	4.000	33.552	1.383	46.384	33.552	1.383	46.384	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
34	Ungun batu & dipap	4.000	7.093	1.334	9.375	7.093	1.334	9.375	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
35	Ungun batu & dipap	4.000	51.038	1.552	21.580	51.038	1.552	21.580	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
36	Ungun batu & dipap	4.000	2.000	1.750	3.500	2.000	1.750	3.500	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
37	Ungun batu & dipap	4.000	18.024	1.383	24.932	18.024	1.383	24.932	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
38	Ungun batu & dipap	4.000	32.801	1.334	43.756	32.801	1.334	43.756	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
39	Ungun batu & dipap	4.000	3.958	1.750	6.926	3.958	1.750	6.926	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
40	Ungun batu & dipap	4.000	0.195	1.383	0.269	0.195	1.383	0.269	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
41	Ungun batu & dipap	4.000	19.328	1.334	25.784	19.328	1.334	25.784	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
42	Ungun batu & dipap	4.000	11.722	1.386	16.590	11.722	1.386	16.590	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149
43	Ungun batu & dipap	4.000	5.444	1.738	10.146	5.444	1.738	10.146	0.676	0.733	71.972	77.594	12.260	66.882	30.000	0.577	61.773	54.149

11	Beban komponen angensial yang timbul pada tiap pias = $(7) \times (9)$
12	Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = $(7) \times (10)$
13	Ketinggian pias basah
14	Tekanan air port U = $ub \times \cos \alpha$ (dimana u = $\gamma_w \cdot h_w$)
15	Sudut geser menurut zona timbunan
16	Tan (15)
17	$\frac{(112) - (14) \times (16)}{C \times \theta_2 \times 2\pi \times r}$
18	

	τ	θ_c	r	θ_c
C Urugan batu	0.00 ton/m ²	0.00 ton/m ²	73.852 m	12.386 °
C Filter	0.00 ton/m ²	0.00 ton/m ²		
C Inti	3.20 ton/m ²			

[illegible]

11	Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pas = $(7) \times (9)$	
12	Beban komponen normal yang timbul pada tiap pas = $(7) \times (10)$	
13	Ketinggian pas basah	
14	Tebalan air port $U = \text{th} \cos \alpha$	(dimana $\alpha = \gamma_w \cdot \text{hw}$)
15	Sudut geser menurut zona timbunan	
16	Tan (ϕ)	
17	$\frac{(12) - (14) \times (16)}{C + \phi_c \times 2 \pi \times \frac{r}{r_0}}$	
18	360	

Tabel 4.36. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Koto Wiyu saat FWL Tanpa Gempa dengan Teknik Pisat TI

C. Unggulan		=		0.00 mm/m ²		=		66.583 m		=		15.308 °					
C. Filter		=		0.00 mm/m ²		=		66.583 m		=		15.308 °					
C. Inti		=		3.35 mm/m ²		=											
No.	Zona	h (m)	A (m ²)	z (mm)	W (mm)	W _{es} (mm)	q	sin α	cos α	T (mm)	N (mm)	h _n (m)	U	φ	tan φ	(N - U) tan φ (mm)	C . I
1	Ar	4.00	12.43	1.00	12.43	12.43	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	Ar	4.00	34.697	1.00	34.697	34.697	7	-0.085	-0.936	-0.549	-10.654	6.591					
3	Ar	4.00	52.701	1.00	52.701	52.701	7	-0.076	0.688	-37.729	21.855						
4	Ar	4.00	67.831	1.00	67.831	67.831	7	-0.083	-0.056	-44.486	51.206						
5	Ar	4.00	80.952	1.00	80.952	80.952	7	-0.096	0.003	-48.077	64.014						
6	Unguan batu & rp-ap	4.00	43.44	2.350	11.619	98.372	32.890	-0.536	0.044	-52.686	83.668	1.193	5.651	37.000	0.754	59.337	
7	Ar	4.00	15.890	2.350	37.342	122.542	-0.839	-0.476	0.880	-50.262	107.794	3.967	18.130	37.000	0.754	67.867	
8	Ar	4.00	84.024	1.00	84.024	142.869	-0.453	-0.446	0.910	-50.367	129.950	6.198	27.257	37.000	0.754	77.385	
9	Unguan batu & rp-ap	4.00	39.992	2.350	59.844	165.381	-0.021	-0.355	0.935	-50.788	154.590	9.204	39.388	37.000	0.754	86.811	
10	Unguan batu & rp-ap	4.00	26.659	1.00	26.659	111.887	-0.295	-0.295	0.955	-54.805	177.267	11.914	49.882	37.000	0.754	95.591	
11	Ar	4.00	68.326	1.00	68.326	203.104	-0.310	-0.235	0.972	-47.793	197.401	14.349	59.054	37.000	0.754	104.252	
12	Unguan batu & rp-ap	4.00	62.992	1.00	62.992	218.180	-0.012	-0.175	0.985	-38.235	214.822	16.522	67.127	37.000	0.754	111.266	
13	Unguan batu & rp-ap	4.00	57.759	2.350	39.582	230.321	6.613	-0.115	0.993	-26.593	229.384	18.442	74.262	37.000	0.754	116.883	
14	Unguan batu & rp-ap	4.00	60.430	2.350	189.011	241.336	-3.157	-0.055	0.996	-13.291	240.970	20.118	80.594	37.000	0.754	120.952	
15	Unguan batu & rp-ap	4.00	46.992	1.00	46.992	249.479	0.386	0.005	1.000	1.245	249.476	21.551	86.205	37.000	0.754	123.032	
16	Ar	4.00	41.659	1.00	41.659	255.359	3.731	0.005	0.998	16.617	254.818	22.744	91.169	37.000	0.754	123.318	
17	Unguan batu & rp-ap	4.00	54.240	2.350	229.688	258.864	7.189	0.125	0.992	32.467	256.028	23.695	95.531	37.000	0.754	121.621	
18	Unguan batu & rp-ap	4.00	39.992	1.00	39.992	260.252	10.674	0.185	0.985	48.204	255.748	24.400	99.319	37.000	0.754	117.878	
19	Ar	4.00	25.639	1.00	25.639	259.055	14.159	0.245	0.969	63.568	251.296	24.851	102.537	37.000	0.754	112.055	
20	Unguan batu & rp-ap	4.00	20.326	1.00	20.326	255.575	17.781	0.305	0.952	78.047	243.366	25.038	105.176	37.000	0.754	104.134	
21	Unguan batu & rp-ap	4.00	13.002	2.350	13.002	249.753	21.435	0.385	0.931	91.132	232.124	24.947	107.203	37.000	0.754	94.135	
22	Ar	4.00	9.629	1.00	9.629	240.382	25.184	0.436	0.905	102.280	217.514	24.556	108.541	37.000	0.754	82.117	
23	Ar	4.00	4.306	1.00	4.306	238.292	29.052	0.486	0.874	110.859	199.568	23.841	109.090	37.000	0.754	68.181	
24	Unguan batu & rp-ap	4.00	95.305	2.350	223.867	313.332	33.071	0.546	0.886	116.411	178.771	22.513	107.461	37.000	0.754	53.736	
25	Unguan batu & rp-ap	4.00	6.341	1.750	11.027	182.455	37.283	0.686	0.796	110.547	145.203	19.694	99.008	37.000	0.754	34.410	
	Filter halus		25.385	1.922	48.794									21.420	0.382	18.122	
	Unguan batu & rp-ap													30.000	0.577	26.671	
26	Inti													37.000	0.754	0.382	
	Filter halus													21.420	0.382	0.199	
	Unguan batu & rp-ap													30.000	0.577	0.233	
27	Inti													37.000	0.754	21.774	
	Filter halus													21.420	0.382	11.335	
	Unguan batu & rp-ap													30.000	0.577	16.682	
28	Inti													37.000	0.754	20.232	
	Filter halus													21.420	0.382	8.784	
	Unguan batu & rp-ap													30.000	0.577	6.730	
29	Inti													37.000	0.754	8.162	
	Filter halus													21.420	0.382	20.083	
	Unguan batu & rp-ap													30.000	0.577	56.949	

SF 5.129

Jumlah

Keterangan :

- Nomor Risan bidang lancar (nomor plus)
- Jenis materi (lap plus)
- Lebar tiap plus
- Tanah menurut zona plus
- Berat k (tanah menurut zona tiap plus)
- Gaya berat = (4) x (5)
- Lebar menurut zona plus
- Sudut yang diberikan dari sumbu ingkaran ke masing-masing plus
- Sin (6)
- Cos (6)

11

12

13

14

15

16

17

18

Bahan komponen ungkulan yang timbul pada tiap plus = (7) x (9)
 Berat komponen vertikal yang timbul pada tiap plus = (7) x (10)
 Tegangan plus basah
 Sudut geser menurut zona timbunan
 (dimana u = γw · hw)

$$C \times \theta \times 2.7 \times r$$

Tabel 4.38. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat *FWL* Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T3

C Urgan bami																					
C Fitter																					
C Nut																					
No.	b (m)	Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sin α	cos α	T (mm)	N (mm)	h _s (mm)	U	φ	tan φ	(N-1) tan φ	C, J
1	4.000	AF	11.389	1.000	11.389	11.389	-53.672	-0.908	0.590	-91.99	6.715										18
2	4.000	AF	31.555	1.000	31.555	31.555	-48.878	-0.753	0.658	-23.756	20.740										
3	4.000	AF	48.554	1.000	48.554	44.341	-40.699	0.715	-33.936	34.725											
4	4.000	AF	63.139	1.000	63.139	63.139	-41.133	-0.645	0.785	-47.710	42.888										
5	4.000	AF	76.770	1.000	76.770	76.770	-32.403	-0.586	0.844	-46.467	53.580										
6	4.000	AF	94.340	1.000	94.340	98.919	-28.787	-0.482	0.876	-47.635	86.604	0.099	0.452	37.000							
7	4.000	AF	11.949	2.350	4.579	96.614	123.271	-52.204	-0.427	0.994	-52.669	111.452	3.486	15.423	37.000	0.754	72.384				
8	4.000	AF	13.897	2.350	32.657																
9	4.000	AF	85.907	1.000	85.907	146.172	-21.899	-0.733	0.928	-54.518	135.624	6.579	28.363	37.000	0.754	88.638					
10	4.000	AF	85.200	1.000	85.200	161.111	-18.585	-0.739	0.948	-51.348	152.709	8.086	34.123	37.000	0.754	89.361					
11	4.000	AF	82.613	1.000	82.613	178.185	-15.335	-0.764	0.964	-48.594	189.932	9.964	41.327	37.000	0.754	96.885					
12	4.000	AF	79.189	1.000	77.280	192.686	-12.136	-0.730	0.978	-40.599	188.380	12.287	50.272	37.000	0.754	104.072					
13	4.000	AF	77.215	2.350	15.846																
14	4.000	AF	57.470	2.350	33.055	207.002	-8.975	-0.756	0.988	-32.293	204.468	14.377	58.221	37.000	0.754	110.205					
15	4.000	AF	66.014	1.000	66.014	219.199	-5.845	-0.702	0.995	-22.215	218.061	16.242	65.307	37.000	0.754	115.108					
16	4.000	AF	61.280	1.000	61.280	229.324	-2.730	-0.648	0.999	-10.923	229.064	17.886	71.625	37.000	0.754	118.638					
17	4.000	AF	77.145	2.350	18.044																
18	4.000	AF	82.054	2.350	192.628	243.441	3.480	0.061	0.998	14.777	242.992	20.523	82.244	37.000	0.754	120.677					
19	4.000	AF	86.022	2.350	202.151	247.431	6.594	0.115	0.993	26.413	245.794	21.515	86.633	37.000	0.754	119.937					
20	4.000	AF	91.263	1.000	91.263	268.129	12.869	0.223	0.975	55.571	242.652	22.830	93.600	37.000	0.754	112.669					
21	4.000	AF	92.358	2.350	217.456	248.716	16.090	0.277	0.961	68.327	27.952	21.142	96.342	37.000	0.754	186.032					
22	4.000	AF	23.947	1.000	23.947	242.010	19.342	0.331	0.944	80.155	23.530	23.209	98.389	37.000	0.754	97.933					
23	4.000	AF	92.953	2.350	218.063																
24	4.000	AF	92.029	2.350	216.567	234.881	22.660	0.385	0.923	90.661	216.950	23.019	99.778	37.000	0.754	88.144					
25	4.000	AF	90.163	2.350	211.882	225.062	26.000	0.439	0.898	98.917	202.271	22.553	100.421	37.000	0.754	76.749					
26	4.000	AF	87.102	2.350	204.090	212.637	29.559	0.483	0.870	104.888	184.962	21.789	100.197	37.000	0.754	63.875					
27	4.000	AF	28.814	1.000	28.814	197.088	33.184	0.547	0.837	107.834	164.888	20.697	98.930	37.000	0.754	48.710					
28	4.000	AF	73.556	2.350	173.738																
29	4.000	AF	2.220	1.750	4.760	178.329	36.965	0.801	0.799	107.595	142.865	18.555	92.881	37.000	0.754	37.733					
30	4.000	AF	2.220	1.750	4.760	178.329	36.965	0.801	0.799	107.595	142.865	18.555	92.881	37.000	0.754	37.733					
31	4.000	AF	76.632	1.750	66.244																
32	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
33	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
34	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
35	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
36	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
37	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
38	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
39	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
40	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
41	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
42	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
43	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
44	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
45	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
46	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
47	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
48	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
49	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
50	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
51	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
52	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
53	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
54	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
55	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
56	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
57	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
58	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
59	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
60	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
61	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
62	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
63	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
64	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
65	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
66	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
67	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
68	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
69	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
70	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
71	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
72	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
73	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
74	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
75	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
76	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
77	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
78	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
79	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
80	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
81	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
82	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
83	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
84	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
85	4.000	AF	49.651	1.750	13.536																
86	4.																				

ΣF 4,658

Keterangan :

1 Nomor irisan bidang lancur (nomor pias)

2 Jenks material tiap plas

3. Lebar tiap pias

4. Wasan menurut zona plas

5. Berarti tanah menurut zona tian nine

6 Gaya berat = (4×5)

7 Gaya berat total tiap pias

8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran

9 $S_{in}(8)$

10 Cos (8)

Tabel 4.39. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Kerto Wyo saat Terjadi Penurunan Muka Air Mendadak Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat TI

$$C \text{ Urugan batu} = \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{0.00 \text{ ton/m}^2} = \frac{66.583 \text{ m}}{15.308} = \frac{r}{\theta c}$$

$$C \text{ Filter} = \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{3.20 \text{ ton/m}^2} = \frac{66.583 \text{ m}}{15.308} = \frac{r}{\theta c}$$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	7 (m ²)	W (m ²)	W _{tot} (m ²)	α (°)	sin α	cos α	T (m)	N (m)	h _w (m)	U	φ (°)	tan φ	(N - U) tan φ (m)	C · I
1	Air	4000	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Air	4000	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	Air	4000	21.617	1.000	7.730	7.730	-43.154	-0.684	0.729	-5.291	5.636						
3	Air	4000	32.625	1.000	12.617	12.617	-38.638	-0.624	0.781	-13.488	16.885						
4	Urugan batu & tip-rap	4000	0.943	2.350	1.981	34.606	-34.355	-0.564	0.826	-19.529	28.569	0.000	0.000	37.000	0.754	21.528	
5	Air	4000	32.461	1.000	12.681	12.681	-38.638	-0.624	0.781	-13.488	16.885						
6	Urugan batu & tip-rap	4000	31.349	2.350	21.067	21.067	-38.638	-0.624	0.781	-13.488	16.885						
7	Air	4000	20.324	2.350	47.760	79.667	-26.370	-0.444	0.886	-35.385	71.377	5.071	22.640	37.000	0.754	36.726	
8	Urugan batu & tip-rap	4000	28.335	1.000	28.335	101.619	-22.588	-0.384	0.923	-39.032	93.824	7.889	33.831	37.000	0.754	45.208	
9	Air	4000	42.593	2.350	100.669	123.071	-19.906	-0.324	0.946	-39.077	116.431	10.657	45.059	37.000	0.754	53.783	
10	Urugan batu & tip-rap	4000	17.668	1.000	17.668	141.848	-15.304	-0.264	0.965	-37.439	136.818	13.222	54.832	37.000	0.754	61.780	
11	Air	4000	12.335	1.000	12.335	158.103	-11.763	-0.204	0.979	-32.232	154.783	15.518	63.404	37.000	0.754	68.859	
12	Urugan batu & tip-rap	4000	6.029	2.350	145.748	171.946	-9.268	-0.144	0.989	-24.727	170.159	17.558	70.970	37.000	0.754	74.745	
13	Air	4000	7.001	1.000	176.945	183.549	-4.802	-0.084	0.995	-15.865	182.905	19.349	77.669	37.000	0.754	79.301	
14	Urugan batu & tip-rap	4000	1.762	1.000	177.762	183.549	-4.802	-0.084	0.995	-15.865	182.905	19.349	77.669	37.000	0.754	79.301	
15	Air	4000	83.551	2.350	181.280	198.344	-1.355	-0.024	1.000	-4.433	198.344	20.888	83.615	37.000	0.754	84.906	
16	Urugan batu & tip-rap	4000	87.782	2.350	183.637	198.344	-1.355	-0.024	1.000	-4.433	198.344	20.888	83.615	37.000	0.754	84.906	
17	Air	4000	96.230	2.350	206.965	206.965	-0.909	-0.036	0.999	-3.760	206.965	22.285	88.879	37.000	0.754	90.140	
18	Urugan batu & tip-rap	4000	96.230	2.350	206.965	206.965	-0.909	-0.036	0.999	-3.760	206.965	22.285	88.879	37.000	0.754	90.140	
19	Air	4000	90.630	2.350	231.750	231.750	-12.503	-0.217	0.976	-30.518	236.274	24.668	101.073	37.000	0.754	94.346	
20	Urugan batu & tip-rap	4000	90.630	2.350	231.750	231.750	-12.503	-0.217	0.976	-30.518	236.274	24.668	101.073	37.000	0.754	94.346	
21	Air	4000	100.036	2.350	255.132	255.132	-19.683	-0.337	0.942	-29.596	271.384	25.026	106.316	37.000	0.754	98.717	
22	Urugan batu & tip-rap	4000	100.036	2.350	255.132	255.132	-19.683	-0.337	0.942	-29.596	271.384	25.026	106.316	37.000	0.754	98.717	
23	Air	4000	94.500	2.350	232.821	232.821	-21.384	-0.367	0.918	-32.405	211.688	24.781	107.984	37.000	0.754	79.654	
24	Urugan batu & tip-rap	4000	94.500	2.350	232.821	232.821	-21.384	-0.367	0.918	-32.405	211.688	24.781	107.984	37.000	0.754	79.654	
25	Air	4000	85.575	1.750	4.099	226.173	-27.191	-0.457	0.889	-10.392	201.178	23.642	106.317	37.000	0.754	71.483	
26	Urugan batu & tip-rap	4000	85.575	1.750	4.099	226.173	-27.191	-0.457	0.889	-10.392	201.178	23.642	106.317	37.000	0.754	71.483	
27	Air	4000	67.691	2.350	159.075	159.075	-31.134	-0.517	0.856	-10.913	183.616	21.410	100.651	37.000	0.754	62.971	
28	Urugan batu & tip-rap	4000	67.691	2.350	159.075	159.075	-31.134	-0.517	0.856	-10.913	183.616	21.410	100.651	37.000	0.754	62.971	
29	Air	4000	12.999	1.750	22.748	196.060	-35.248	-0.577	0.817	-113.150	160.115	18.793	92.048	37.000	0.754	51.292	
30	Urugan batu & tip-rap	4000	12.999	1.750	22.748	196.060	-35.248	-0.577	0.817	-113.150	160.115	18.793	92.048	37.000	0.754	51.292	
31	Air	4000	7.407	1.922	142.38	142.38	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
32	Urugan batu & tip-rap	4000	7.407	1.922	142.38	142.38	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
33	Air	4000	12.597	1.750	220.26	142.286	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
34	Urugan batu & tip-rap	4000	12.597	1.750	220.26	142.286	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
35	Air	4000	20.883	1.983	238.867	142.286	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
36	Urugan batu & tip-rap	4000	20.883	1.983	238.867	142.286	-30.302	-0.507	0.863	-92.273	111.974	15.733	81.654	37.000	0.754	22.847	
37	Air	4000	5.652	1.986	6.964	95.102	-44.208	-0.697	0.717	-66.312	68.171	9.720	54.240	37.000	0.754	8.043	
38	Urugan batu & tip-rap	4000	5.652	1.986	6.964	95.102	-44.208	-0.697	0.717	-66.312	68.171	9.720	54.240	37.000	0.754	8.043	
39	Air	4000	11.063	1.986	5.503	95.102	-44.208	-0.697	0.717	-66.312	68.171	9.720	54.240	37.000	0.754	8.043	
40	Urugan batu & tip-rap	4000	11.063	1.986	5.503	95.102	-44.208	-0.697	0.717	-66.312	68.171	9.720	54.240	37.000	0.754	8.043	
41	Air	4000	37.056	1.334	49.432	70.320	-49.230	-0.757	0.653	-53.256	45.921	2.724	16.885	37.000	0.392	11.469	
42	Urugan batu & tip-rap	4000	37.056	1.334	49.432	70.320	-49.230	-0.757	0.653	-53.256	45.921	2.724	16.885	37.000	0.392	11.469	
43	Air	4000	1.315	1.586	2.085	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
44	Urugan batu & tip-rap	4000	1.315	1.586	2.085	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
45	Air	4000	5.542	1.750	9.688	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
46	Urugan batu & tip-rap	4000	5.542	1.750	9.688	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
47	Air	4000	13.889	1.966	22.028	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
48	Urugan batu & tip-rap	4000	13.889	1.966	22.028	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
49	Air	4000	9.182	1.736	15.939	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	
50	Urugan batu & tip-rap	4000	9.182	1.736	15.939	52.303	-56.073	-0.830	0.558	-43.388	29.192	0.000	0.000	37.000	0.577	16.879	

- SF
- 2614
1. Nomor tisan bidang lurus (tonor plus)
2. Jenis material tip pas
3. Berat isian material zona pas
4. Berat isian material zona pas
5. Berat isian material zona pas
6. Gaya berat = (4) x (5)
7. Gaya berat total tip pas
8. Sudut yang dibentuk dari sumbu ingkaran ke masing-masing pas
9. Sin (8)
10. Cos (8)

11. Beban komponen ungkental yang timbul pada tiap pas = (7) x (9)
12. Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pas = (7) x (10)
13. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$
14. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$
15. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$
16. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$
17. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$
18. Tegangan pas = $\frac{11}{14}$

$$C \times \theta_2 \times 2\pi \times r$$

$$= \frac{66.583 \text{ m}}{15.308} = \frac{r}{\theta c}$$

Tabel 4.40. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Terjadi Penurunan Muka Air Mendadak Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pesat T2

C Urugan batu
C Filter
C Inti

$\frac{0,00 \text{ ton/m}^2}{3,20 \text{ ton/m}^2}$
 $\frac{0,00 \text{ ton/m}^2}{3,20 \text{ ton/m}^2}$
 $\frac{0,00 \text{ ton/m}^2}{3,20 \text{ ton/m}^2}$

$r = 70,218 \text{ m}$
 $\theta c = 13,802^\circ$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	7 (m)	W (m)	W _{net} (m)	α (°)	sin α	cos α	T (m)	N (m)	h _w (m)	U	φ (°)	tan φ	(N-U) tan φ (m)	C. I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Air	4,000	7,425	1,000	7,425	7,425	-42,103	-0,670	0,742	-49,78	5,599						
2	Air	4,000	20,854	1,000	20,854	20,854	-37,843	-0,613	0,790	-12,794	16,468						
3	Air	4,000	32,417	1,000	32,417	32,417	-33,817	-0,557	0,831	-18,042	26,933						
4	Urugan batu & tip-ap	4,000	37,362	1,000	37,362	49,159	-29,972	-0,500	0,866	-24,559	42,585	1,214	5,606	37,000	0,754	27,866	
5	Air	4,000	32,790	1,000	32,790	75,427	-26,270	-0,443	0,897	-33,384	67,637	4,685	20,888	37,000	0,754	35,220	
6	Urugan batu & tip-ap	4,000	26,226	2,350	61,632												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	29,579	1,000	29,579	93,632	-22,683	-0,386	0,923	-36,108	86,390	6,569	28,479	37,000	0,754	43,638	
7	Urugan batu & tip-ap	4,000	34,772	2,350	81,714												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	24,526	1,000	24,526	130,329	-15,766	-0,272	0,962	-35,412	125,426	11,296	46,950	37,000	0,754	59,136	
8	Urugan batu & tip-ap	4,000	18,018	1,000	18,018	146,967	-12,400	-0,215	0,977	-31,559	143,538	13,632	55,630	37,000	0,754	66,093	
9	Urugan batu & tip-ap	4,000	54,489	2,350	120,048												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	13,585	1,000	13,585	161,301	-9,078	-0,158	0,997	-25,450	159,280	15,724	63,684	37,000	0,754	72,030	
10	Urugan batu & tip-ap	4,000	62,689	2,350	147,716												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	8,352	1,000	8,352	174,407	-5,796	-0,101	0,995	-17,482	173,524	17,579	70,676	37,000	0,754	76,748	
11	Air	4,000	70,279	2,350	166,156												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	2,918	1,000	2,918	183,336	-2,513	-0,044	0,999	-40,039	183,660	19,203	76,886	37,000	0,754	80,083	
12	Urugan batu & tip-ap	4,000	76,774	2,350	180,418												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	0,006	1,000	0,006	183,336											
13	Urugan batu & tip-ap	4,000	82,553	2,350	193,529												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	87,019	2,350	204,456												
14	Urugan batu & tip-ap	4,000	90,767	2,350	215,302												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	93,579	2,350	219,909												
15	Urugan batu & tip-ap	4,000	95,429	2,350	224,259												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
16	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
17	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
18	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
19	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
20	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
21	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
22	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
23	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Urugan batu & tip-ap	4,000	96,281	2,350	226,261												
	Filter halus																
	Urugan batu & tip-ap																
24	Inti	4,000	15,570	1,750	27,246												
	Filter halus																
	Urugan batu & tip-ap																
25	Inti	4,000	33,011	1,383	49,357												
	Filter halus																
	Urugan batu & tip-ap																
26	Inti	4,000	10,666	1,383	13,910												
	Filter halus																
	Urugan batu & tip-ap																
27	Inti	5,524	11,722	1,386	18,590												
	Filter halus																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																
	Urugan batu & tip-ap																

Tabel 4.41: Stabilitas Lereng Hulu Bendungan Kanto Wiyu saat Terjadi Penurunan Muka Air Mendadak Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T3

C Urugan batu		=		0,00 ton/m ²		r =		73,852 m		=		12,386 °					
C Filter		=		0,00 ton/m ²		θc =											
C Ind		=		3,20 ton/m ²													
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	7 (m ²)	W (m)	W _{sat} (m)	α (°)	sin α	cos α	T (m)	N (m)	h _w (m)	U	φ (°)	tan φ	(N - U) tan φ	C. I
1	Air	4,000	7,153	1,000	7,153	7,153	-41,089	-0,657	0,754	-4,701	5,381	12	13	14	15	16	17
2	Air	4,000	20,164	1,000	20,164	20,164	-37,060	-0,603	0,798	-12,160	16,085	16,085					
3	Air	4,000	31,457	1,000	31,457	31,457	-33,392	-0,549	0,836	-17,267	26,294	26,294					
4	Urugan batu & rp-ap	4,000	40,665	1,000	40,665	42,138	-29,653	-0,495	0,869	-20,848	36,620	0,000	0,000	37,000	0,754	27,595	
5	Air	38,776	1,000	38,776	64,526	64,526	-26,141	-0,441	0,898	-28,429	57,926	27,52	12,282	37,000	0,754	34,410	
6	Urugan batu & rp-ap	4,000	10,998	2,350	33,383	88,631	-22,732	-0,386	0,922	-34,249	81,746	5,903	25,601	37,000	0,754	42,309	
7	Urugan batu & rp-ap	4,000	23,425	2,350	55,048	105,240	-19,406	-0,332	0,943	-34,974	99,280	7,804	33,086	37,000	0,754	49,873	
8	Air	31,174	2,350	72,880	30,381	119,236	-16,147	-0,278	0,961	-33,160	114,532	9,393	39,115	37,000	0,754	56,831	
9	Urugan batu & rp-ap	4,000	37,726	2,350	88,656	135,931	-12,940	-0,224	0,975	-30,439	132,479	11,764	48,282	37,000	0,754	63,447	
10	Air	47,017	2,350	110,489	20,109	159,687	-9,775	-0,170	0,985	-25,584	148,469	13,901	56,423	37,000	0,754	69,384	
11	Urugan batu & rp-ap	4,000	55,365	2,350	130,578	163,311	-6,639	-0,116	0,993	-18,881	162,216	15,811	63,671	37,000	0,754	74,259	
12	Air	14,776	2,350	148,776	17,836	173,836	-3,523	-0,061	0,998	-10,683	173,527	17,500	70,133	37,000	0,754	77,914	
13	Urugan batu & rp-ap	4,000	60,853	2,350	164,414	182,350	-0,417	-0,007	1,000	-1,327	182,345	18,971	75,886	37,000	0,754	80,223	
14	Air	75,847	2,350	178,241	190,224	190,224	2,687	0,047	0,999	8,918	190,015	20,225	80,989	37,000	0,754	82,157	
15	Urugan batu & rp-ap	4,000	80,984	2,350	190,029	199,772	5,299	0,101	0,995	-20,105	198,750	21,262	85,485	37,000	0,754	85,351	
16	Urugan batu & rp-ap	4,000	88,274	2,350	207,444	207,444	8,928	0,155	0,988	-32,184	204,931	22,078	89,395	37,000	0,754	87,063	
17	Urugan batu & rp-ap	4,000	90,639	2,350	213,002	213,002	12,085	0,209	0,978	-44,595	208,281	22,659	92,731	37,000	0,754	87,073	
18	Urugan batu & rp-ap	4,000	92,076	2,350	216,378	216,378	15,729	0,264	0,965	-57,120	208,730	23,029	95,401	37,000	0,754	85,331	
19	Urugan batu & rp-ap	4,000	92,545	2,350	217,481	217,481	18,523	0,318	0,948	-69,081	206,215	23,147	97,646	37,000	0,754	81,812	
20	Urugan batu & rp-ap	4,000	91,987	2,350	216,192	216,192	21,610	0,372	0,928	-80,382	200,680	23,010	99,150	37,000	0,754	76,515	
21	Urugan batu & rp-ap	4,000	90,362	2,350	212,359	212,359	25,125	0,425	0,905	-90,163	192,259	22,603	99,860	37,000	0,754	69,627	
22	Urugan batu & rp-ap	4,000	86,940	2,350	204,310	205,343	28,697	0,480	0,877	-98,620	180,156	21,902	99,876	37,000	0,754	60,496	
23	Urugan batu & rp-ap	4,000	78,232	2,350	183,846	192,989	32,229	0,534	0,845	-103,121	163,128	19,573	92,624	37,000	0,754	53,129	
24	Urugan batu & rp-ap	4,000	67,361	2,350	158,297	176,773	36,039	0,588	0,809	-104,030	142,922	16,857	83,389	37,000	0,754	44,854	
25	Urugan batu & rp-ap	4,000	35,699	2,350	83,884	148,195	39,930	0,643	0,766	-95,238	113,541	13,730	71,682	37,000	0,754	31,542	
Filter halus	Inti		15,881	1,750	27,010									37,000	0,754	16,421	
	Filter halus		0,552	1,383	0,763									21,420	0,302	16,421	
	Urugan batu & rp-ap		18,586	1,922	35,729									30,000	0,577	24,167	
Urugan batu & rp-ap	Inti	4,000	4,391	1,750	7,684	91,952	44,173	0,697	0,717	64,075	65,952	10,118	56,427	37,000	0,754	7,177	
	Filter halus		27,189	1,383	37,610									21,420	0,302	10,536	
	Urugan batu & rp-ap		8,928	1,334	11,909									37,000	0,754	16,563	
Urugan batu & rp-ap	Inti		10,540	1,922	20,259									30,000	0,577	12,705	
	Filter halus		9,122	1,586	14,467									35,000	0,700	15,409	
	Urugan batu & rp-ap	4,000	2,000	1,750	3,500	59,333	48,676	0,751	0,660	44,558	39,179	2,034	12,321	37,000	0,754	20,238	
Urugan batu & rp-ap	Inti		8,764	1,383	12,124									21,420	0,302	10,536	
	Filter halus		32,765	1,334	43,709									37,000	0,754	16,563	
	Urugan batu & rp-ap		2,785	1,750	4,974									30,000	0,577	8,633	
28	Inti	5,331	11,659	1,334	15,553	37,900	54,534	0,814	0,581	30,856	22,086	0,000	0,000	21,420	0,302	12,705	
Filter kasar	Inti		8,272	1,586	13,119									35,000	0,700	15,409	
	Filter kasar		2,507	1,736	4,353									35,000	0,700	15,409	
	Jumlah									670,353						1562,299	51,109

SF 2,407

- Keterangan :
- Nomor irisan bidang lintar (nomor pias)
 - Jenis material tiap pias
 - Lebar tiap pias
 - Lusian menurut zona pias
 - Berat isi tanah menurut zona tiap pias
 - Caya bent = (4 × 6)
 - Caya bent total tiap pias
 - Sudut yang diberikan dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
 - Sin (θ)
 - Cos (θ)
 - Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (C × θ)
 - Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (C × θ)
 - Ketinggian pias basah
 - Tekanan air pori U = ub/cos α (dimana u = r.w. . h.w)
 - Sudut geser menurut zona tirbanan
 - Tan (15)
 - {(12) - (14)} x (16)
C × θ_g × 2π × r
360

Tabel 4.42. Stabilitas Lereng Hilir Tubuh Bendungan Koto Wiwu saat Kosong, NWL, dan FWL Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T1

$$\begin{aligned} C \text{ Unguan batu} &= \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{0.00 \text{ ton/m}^2} = \frac{r}{\theta c} = \frac{80 \text{ m}}{9.763^\circ} \\ C \text{ Filter} &= \\ C \text{ Inti} &= \end{aligned}$$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{sat} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	φ (°)	tan φ	N tan φ (t/m)	C. I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Unguan batu & rip-rap	4.000	5.559	1.750	9.728	9.888	-13.641	-0.236	0.972	-2.332	9.609	37.000	0.754	7.241	
	Filter kasar		0.083	1.736	0.161							35.000	0.700	6.729	
2	Unguan batu & rip-rap	4.000	13.987	1.750	24.477	28.627	-10.710	-0.186	0.983	-5.320	28.128	37.000	0.754	21.196	
	Filter kasar		2.391	1.736	4.150							35.000	0.700	19.696	
3	Unguan batu & rip-rap	4.000	21.230	1.750	37.204	45.883	-7.807	-0.136	0.991	-6.233	45.458	37.000	0.754	34.255	
	Filter kasar		5.000	1.736	8.679							35.000	0.700	31.830	
4	Unguan batu & rip-rap	4.000	28.532	1.750	49.931	61.710	-4.924	-0.086	0.996	-5.297	61.483	37.000	0.754	46.331	
	Filter kasar		6.785	1.736	11.779							35.000	0.700	43.051	
5	Unguan batu & rip-rap	4.000	35.805	1.750	62.659	76.132	-2.054	-0.036	0.999	-2.729	76.083	37.000	0.754	57.332	
	Filter kasar		7.761	1.736	13.473							35.000	0.700	53.274	
6	Unguan batu & rip-rap	4.000	39.979	1.750	69.962	83.737	0.811	0.014	1.000	1.185	83.728	37.000	0.754	63.094	
	Filter kasar		7.935	1.736	13.774							35.000	0.700	58.627	
7	Unguan batu & rip-rap	4.000	40.651	1.750	71.140	83.825	3.679	0.064	0.998	5.379	83.652	37.000	0.754	63.036	
	Filter kasar		7.307	1.736	12.685							35.000	0.700	58.574	
8	Unguan batu & rip-rap	4.000	46.714	1.750	81.750	91.947	6.555	0.114	0.993	10.496	91.346	37.000	0.754	68.834	
	Filter kasar		5.874	1.736	10.197							35.000	0.700	63.961	
9	Unguan batu & rip-rap	4.000	53.987	1.750	94.477	100.768	9.448	0.164	0.986	16.541	99.401	37.000	0.754	74.904	
	Filter kasar		3.624	1.736	6.291							35.000	0.700	69.601	
10	Unguan batu & rip-rap	4.000	61.044	1.750	106.827	108.138	12.366	0.214	0.977	23.158	105.629	37.000	0.754	79.897	
	Filter kasar		0.755	1.736	1.311							35.000	0.700	73.962	
11	Unguan batu & rip-rap	4.000	65.128	1.750	113.974	115.974	15.317	0.264	0.964	30.107	109.926	37.000	0.754	82.935	
12	Unguan batu & rip-rap	4.000	67.564	1.750	118.238	118.238	18.310	0.314	0.949	37.145	112.251	37.000	0.754	84.587	
13	Unguan batu & rip-rap	4.000	69.064	1.750	120.862	120.862	21.356	0.364	0.931	44.013	112.563	37.000	0.754	84.822	
14	Unguan batu & rip-rap	4.000	69.571	1.750	121.750	121.750	24.466	0.414	0.910	50.423	110.818	37.000	0.754	83.507	
15	Unguan batu & rip-rap	4.000	69.015	1.750	120.777	120.777	27.656	0.464	0.886	56.060	106.978	37.000	0.754	80.614	
16	Unguan batu & rip-rap	4.000	67.365	1.750	117.784	117.784	30.941	0.514	0.858	60.539	101.023	37.000	0.754	76.126	
17	Unguan batu & rip-rap	4.000	64.322	1.750	112.564	112.564	34.344	0.564	0.826	63.504	92.940	37.000	0.754	70.035	
18	Unguan batu & rip-rap	4.000	59.911	1.750	104.845	104.845	37.891	0.614	0.789	64.392	82.741	37.000	0.754	62.350	
19	Unguan batu & rip-rap	4.000	43.444	1.750	76.027	94.114	41.618	0.664	0.748	62.507	70.339	37.000	0.754	53.019	
	Filter kasar		10.419	1.736	18.088							35.000	0.700	49.566	
	Unguan batu & rip-rap		3.686	1.750	6.451							37.000	0.754	39.616	
20	Filter halus	4.000	22.052	1.586	34.975	75.104	45.574	0.714	0.700	53.636	52.572	30.000	0.577	30.352	
	Filter kasar		17.528	1.736	30.428							35.000	0.700	36.811	
	Inti		2.437	1.334	3.251							21.420	0.392	20.624	
	Unguan batu & rip-rap		2.000	1.750	3.500							37.000	0.754	20.383	
21	Filter halus	4.000	2.874	1.586	4.558	41.955	49.832	0.764	0.645	32.060	27.062	30.000	0.577	15.624	43.639
	Inti		25.410	1.334	33.897							21.420	0.392	10.616	
22	Unguan batu & rip-rap	3.680	1.757	1.750	3.075	13.643	54.308	0.812	0.583	11.080	7.960	37.000	0.754	5.998	
	Inti		7.922	1.334	10.567							21.420	0.392	3.123	
SF	Jumlah									600.336				1905.444	43.639

3.247

Keterangan :

- 1 Nomor iksan bidang luncur (nomor pias)
- 2 Jenis material tiap pias
- 3 Lebar tiap pias
- 4 Luasan menurut zona tiap pias
- 5 Berat tanah menurut zona tiap pias
- 6 Gaya berat = (4) x (5)
- 7 Gaya berat total tiap pias
- 8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- 9 Sin (δ)

- 10 Cos (δ)
- 11 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- 12 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- 13 Sudut geser menurut zona timbunan
- 14 Tan (13)
- 15 (12) x (14)
- 16 $C \times \theta_c \times 2\pi \times r$

360

Tabel 4.43. Stabilitas Lereng Hilir Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Kosong, NWL, dan FWL Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T2

C Urugan batu																C Filter																C Inti															
=																=																=															
0.00 ton/m ²																83.20 m																r															
0.00 ton/m ²																6.266 °																9c															
3.20 ton/m ²																																															
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{sat} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	φ (°)	tan φ	N tan φ (t/m)	C. I																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																
1	Urugan batu & rip-rap	4.000	5.321	1.750	9.312	9.321	-11.455	-0.199	0.980	-1.851	9.135	37.000	0.754	6.884	29.128																																
	Filter kasar		0.005	1.736	0.008							35.000	0.700	6.396																																	
2	Urugan batu & rip-rap	4.000	13.987	1.750	24.477	26.995	-8.658	-0.151	0.989	-4.064	26.687	37.000	0.754	20.110																																	
	Filter kasar		1.450	1.736	2.518							35.000	0.700	18.687																																	
3	Urugan batu & rip-rap	4.000	21.260	1.750	37.204	43.266	-5.880	-0.102	0.995	-4.432	43.038	37.000	0.754	32.432																																	
	Filter kasar		3.492	1.736	6.062							35.000	0.700	30.136																																	
4	Urugan batu & rip-rap	4.000	28.532	1.750	49.931	58.179	-3.117	-0.054	0.999	-3.164	58.093	37.000	0.754	43.776																																	
	Filter kasar		4.751	1.736	8.248							35.000	0.700	40.677																																	
5	Urugan batu & rip-rap	4.000	35.805	1.750	62.659	71.750	-0.361	-0.006	1.000	-0.452	71.749	37.000	0.754	54.066																																	
	Filter kasar		5.237	1.736	9.091							35.000	0.700	50.239																																	
6	Urugan batu & rip-rap	4.000	41.983	1.750	73.471	82.069	2.394	0.042	0.999	3.428	81.997	37.000	0.754	61.789																																	
	Filter kasar		4.953	1.736	8.598							35.000	0.700	57.415																																	
7	Urugan batu & rip-rap	4.000	42.733	1.750	74.783	81.548	5.155	0.090	0.996	7.327	81.218	37.000	0.754	61.202																																	
	Filter kasar		3.897	1.736	6.765							35.000	0.700	56.869																																	
8	Urugan batu & rip-rap	4.000	46.714	1.750	81.730	85.308	7.928	0.138	0.990	11.769	84.513	37.000	0.754	63.685																																	
	Filter kasar		2.062	1.736	3.579							35.000	0.700	59.177																																	
9	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.277	1.750	93.235	93.484	10.720	0.186	0.983	17.389	91.852	37.000	0.754	69.216																																	
	Filter kasar		0.143	1.736	0.248							35.000	0.700	64.316																																	
10	Urugan batu & rip-rap	4.000	57.254	1.750	100.194	100.194	13.538	0.234	0.972	23.454	97.410	37.000	0.754	73.404																																	
11	Urugan batu & rip-rap	4.000	60.249	1.750	105.435	105.435	16.389	0.282	0.959	29.749	101.151	37.000	0.754	76.223																																	
12	Urugan batu & rip-rap	4.000	62.371	1.750	109.150	109.150	19.283	0.330	0.944	36.045	103.027	37.000	0.754	77.636																																	
13	Urugan batu & rip-rap	4.000	63.578	1.750	111.261	111.261	22.229	0.378	0.926	42.091	102.992	37.000	0.754	77.610																																	
14	Urugan batu & rip-rap	4.000	63.813	1.750	111.673	111.673	25.239	0.426	0.905	47.617	101.012	37.000	0.754	76.118																																	
15	Urugan batu & rip-rap	4.000	63.005	1.750	110.261	110.261	28.325	0.474	0.880	52.316	97.059	37.000	0.754	73.139																																	
16	Urugan batu & rip-rap	4.000	61.069	1.750	106.870	106.870	31.503	0.523	0.853	55.844	91.119	37.000	0.754	68.663																																	
17	Urugan batu & rip-rap	4.000	57.886	1.750	101.300	101.300	34.794	0.571	0.821	57.804	83.188	37.000	0.754	62.687																																	
18	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.307	1.750	93.288	93.288	38.221	0.619	0.786	57.717	73.290	37.000	0.754	55.228																																	
19	Urugan batu & rip-rap	4.000	47.019	1.750	82.284	82.482	41.819	0.667	0.745	54.998	61.470	37.000	0.754	46.321																																	
	Filter kasar		0.115	1.736	0.199							35.000	0.700	43.042																																	
20	Urugan batu & rip-rap	4.000	13.173	1.750	23.053	67.321	45.631	0.715	0.699	48.124	47.076	37.000	0.754	35.474																																	
	Filter kasar		21.126	1.736	36.674							35.000	0.700	32.963																																	
	Filter halus		4.788	1.586	7.594							30.000	0.577	27.179																																	
21	Urugan batu & rip-rap	4.000	2.230	1.750	3.903	41.909	49.723	0.763	0.646	31.974	27.093	37.000	0.754	20.416																																	
	Filter halus		13.025	1.586	20.657							30.000	0.577	15.642																																	
	Filter kasar		0.501	1.736	0.869							35.000	0.700	18.971																																	
	Inti		10.391	1.586	16.480							21.420	0.392	10.629																																	
22	Urugan batu & rip-rap	3.217	1.433	1.750	2.508	10.415	53.633	0.805	0.593	8.386	6.175	37.000	0.754	4.654																																	
	Inti		4.985	1.586	7.906							21.420	0.392	2.423																																	
	Jumlah									572.070				1695.495	29.128																																

Keterangan :

- Nomor irisan bidang lancur (nomor pias)
- Jenis material tiap pias
- Lebar tiap pias
- Luasan menurut zona tiap pias
- Berat tanah menurut zona tiap pias
- Gaya berat = (4) x (5)
- Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- Sin (8)

- Cos (8)
- Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- Sudut geser menurut zona timbunan
- Tan (13)
- (12) x (14)

$$\frac{C \times \theta_c \times 2\pi \times r}{360}$$

Tabel 4.44. Stabilitas Lereng Hilir Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Kosong, NWL, dan FWL Kondisi Tanpa Gempa dengan Titik Pusat T3

C Urugan batu
C Filter
C Inti

$\gamma = 0.00 \text{ ton/m}^2$
 $\gamma_c = 0.00 \text{ ton/m}^2$
 $\gamma_{\text{int}} = 3.20 \text{ ton/m}^2$

$r = 86.40 \text{ m}$
 $\theta_c = 2.853^\circ$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	T (t/m)	N (t/m)	ϕ (°)	$\tan \phi$	N $\tan \phi$ (t/m)	C. I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Urugan batu & rip-rap	4000	5.014	1.750	8.774	8.774	-9.320	-0.162	0.987	-1.421	8.658	37.000	0.754	6.525	
2	Urugan batu & rip-rap	4000	13.940	1.750	24.396	25.420	-6.641	-0.116	0.993	-2.940	25.249	37.000	0.754	19.027	
	Filter kasar		0.590	1.736	1.024							35.000	0.700	17.680	
3	Urugan batu & rip-rap	4000	21.260	1.750	37.204	40.730	-3.977	-0.069	0.998	-2.825	40.632	37.000	0.754	30.618	
	Filter kasar		2.031	1.736	3.525							35.000	0.700	28.450	
4	Urugan batu & rip-rap	4000	28.532	1.750	49.931	54.742	-1.321	-0.023	1.000	-1.262	54.728	37.000	0.754	41.240	
	Filter kasar		2.771	1.736	4.811							35.000	0.700	38.321	
5	Urugan batu & rip-rap	4000	35.805	1.750	62.659	67.467	1.332	0.023	1.000	1.568	67.449	37.000	0.754	50.826	
	Filter kasar		2.770	1.736	4.809							35.000	0.700	47.228	
6	Urugan batu & rip-rap	4000	42.900	1.750	75.075	78.593	3.897	0.068	0.998	5.341	78.411	37.000	0.754	59.087	
	Filter kasar		2.027	1.736	3.518							35.000	0.700	54.904	
7	Urugan batu & rip-rap	4000	45.058	1.750	78.851	79.866	6.651	0.116	0.993	9.250	79.328	37.000	0.754	59.778	
	Filter kasar		0.585	1.736	1.015							35.000	0.700	55.546	
8	Urugan batu & rip-rap	4000	45.287	1.750	79.252	79.252	9.930	0.162	0.987	12.848	78.203	37.000	0.754	58.930	
9	Urugan batu & rip-rap	4000	49.258	1.750	86.202	86.202	12.030	0.208	0.978	17.966	84.309	37.000	0.754	63.531	
10	Urugan batu & rip-rap	4000	52.720	1.750	92.260	92.260	14.757	0.255	0.967	23.500	89.217	37.000	0.754	67.230	
11	Urugan batu & rip-rap	4000	55.362	1.750	96.883	96.883	17.518	0.301	0.954	29.162	92.390	37.000	0.754	69.621	
12	Urugan batu & rip-rap	4000	57.148	1.750	100.009	100.009	20.323	0.347	0.938	34.734	93.784	37.000	0.754	70.671	
13	Urugan batu & rip-rap	4000	58.035	1.750	101.561	101.561	23.179	0.394	0.919	39.975	93.363	37.000	0.754	70.354	
14	Urugan batu & rip-rap	4000	57.967	1.750	101.441	101.441	26.098	0.440	0.898	44.625	91.099	37.000	0.754	68.048	
15	Urugan batu & rip-rap	4000	56.873	1.750	99.528	99.528	29.091	0.486	0.874	48.390	86.972	37.000	0.754	65.538	
16	Urugan batu & rip-rap	4000	54.667	1.750	95.666	95.666	32.174	0.532	0.846	50.942	80.975	37.000	0.754	61.019	
17	Urugan batu & rip-rap	4000	51.234	1.750	89.660	89.660	35.365	0.579	0.815	51.894	73.116	37.000	0.754	55.097	
18	Urugan batu & rip-rap	4000	46.431	1.750	81.253	81.253	38.688	0.625	0.781	50.790	63.423	37.000	0.754	47.793	
19	Urugan batu & rip-rap	4000	40.060	1.750	70.106	70.106	42.174	0.671	0.741	47.068	51.956	37.000	0.754	39.152	
20	Urugan batu & rip-rap	4000	23.573	1.750	41.253	55.633	45.863	0.718	0.696	39.927	38.742	37.000	0.754	29.194	
	Filter kasar		8.284	1.736	14.300							35.000	0.700	27.127	
	Urugan batu & rip-rap		3.234	1.750	5.659							37.000	0.754	18.134	
21	Filter halus	6.170	10.304	1.586	16.342	38.194	50.944	0.777	0.630	29.659	24.065	30.000	0.577	13.894	13.773
	Filter kasar		6.788	1.736	11.784							35.000	0.700	16.851	
	Inti		3.305	1.334	4.409							21.420	0.392	9.441	
	Jumlah									529.192				1361.455	13.773

SF 2.599

Keterangan :

- Nomor tirsan bidang lurus (nomor pias)
- Jenis material tiap pias
- Lebar tiap pias
- Luasan menurut zona tiap pias
- Berat tanah menurut zona tiap pias
- Gaya berat = (4) x (5)
- Gaya berat total tiap pias
- Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- Sin (8)

- Cos (8)
- Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- Sudut geser menurut zona timbunan
- Tan (13)
- (12) x (14)
- $C \times \theta_c \times 2\pi \times r$
- 360

4.8.2. Analisa Stabilitas Lereng dengan Beban Gempa

Sebelum memulai perhitungan stabilitas, terlebih dahulu menentukan koefisien gempa rencana yang dihitung berdasarkan kala ulang 1000 tahun. Koefisien gempa ditentukan berdasarkan peta zona gempa Indonesia.

Untuk stabilitas lereng Bendungan Wiyu dengan beban gempa, koefisien gempa yang digunakan dapat dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut:

Diketahui:

$$z = 0,9 \quad (\text{dari peta zona gempa})$$

$$a_c = 280 \text{ gal} \quad (\text{untuk } T = 1000 \text{ tahun})$$

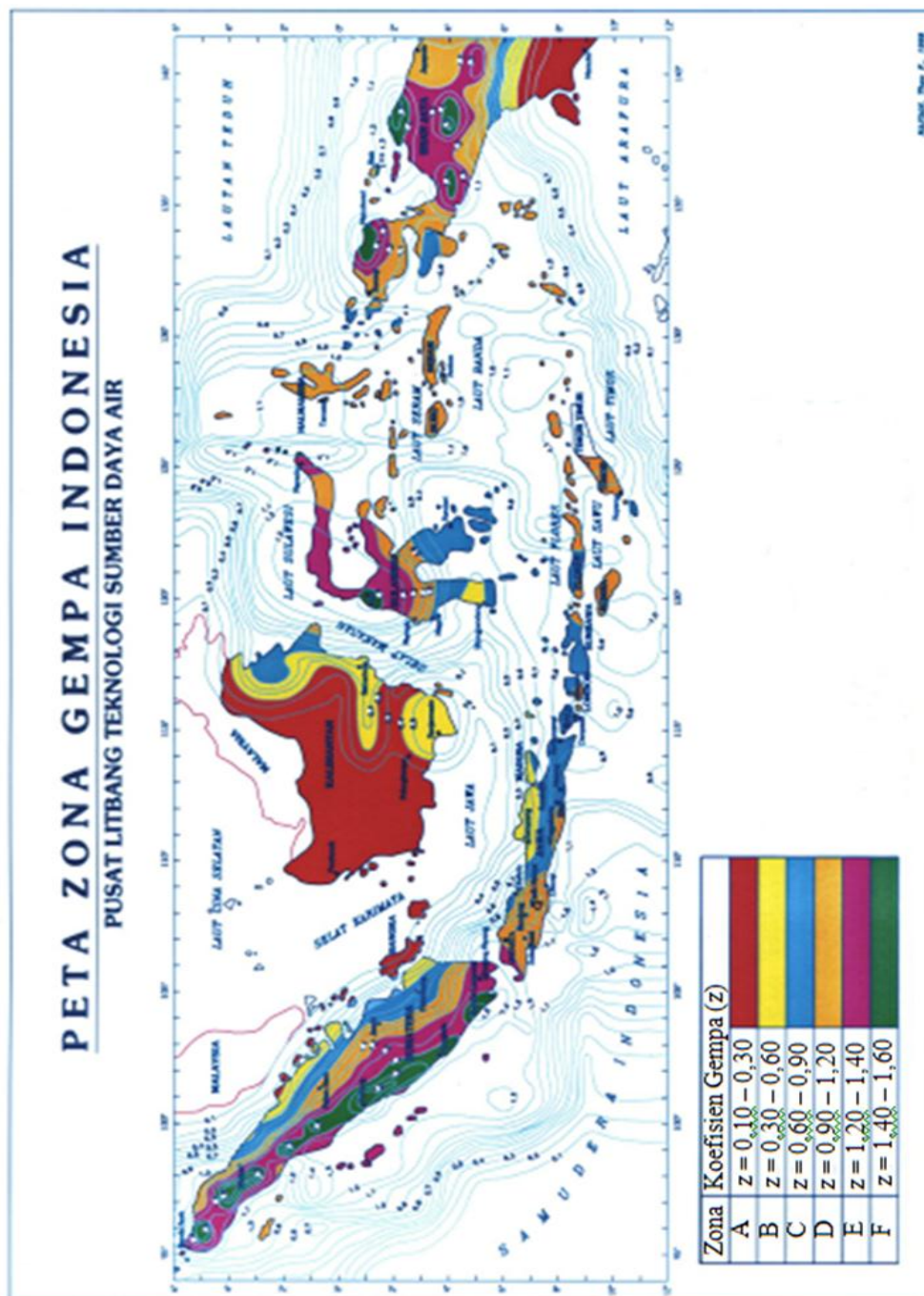
$$v = 1,10 \quad (\text{Alluvium – tanah sedang})$$

$$\begin{aligned} a_d &= z \cdot a_c \cdot v \\ &= 0,9 \cdot 280 \cdot 1,1 \\ &= 277,2 \text{ gal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_o &= \frac{a_d}{g} \\ &= \frac{277,2}{980} \\ &= 0,283 \end{aligned}$$

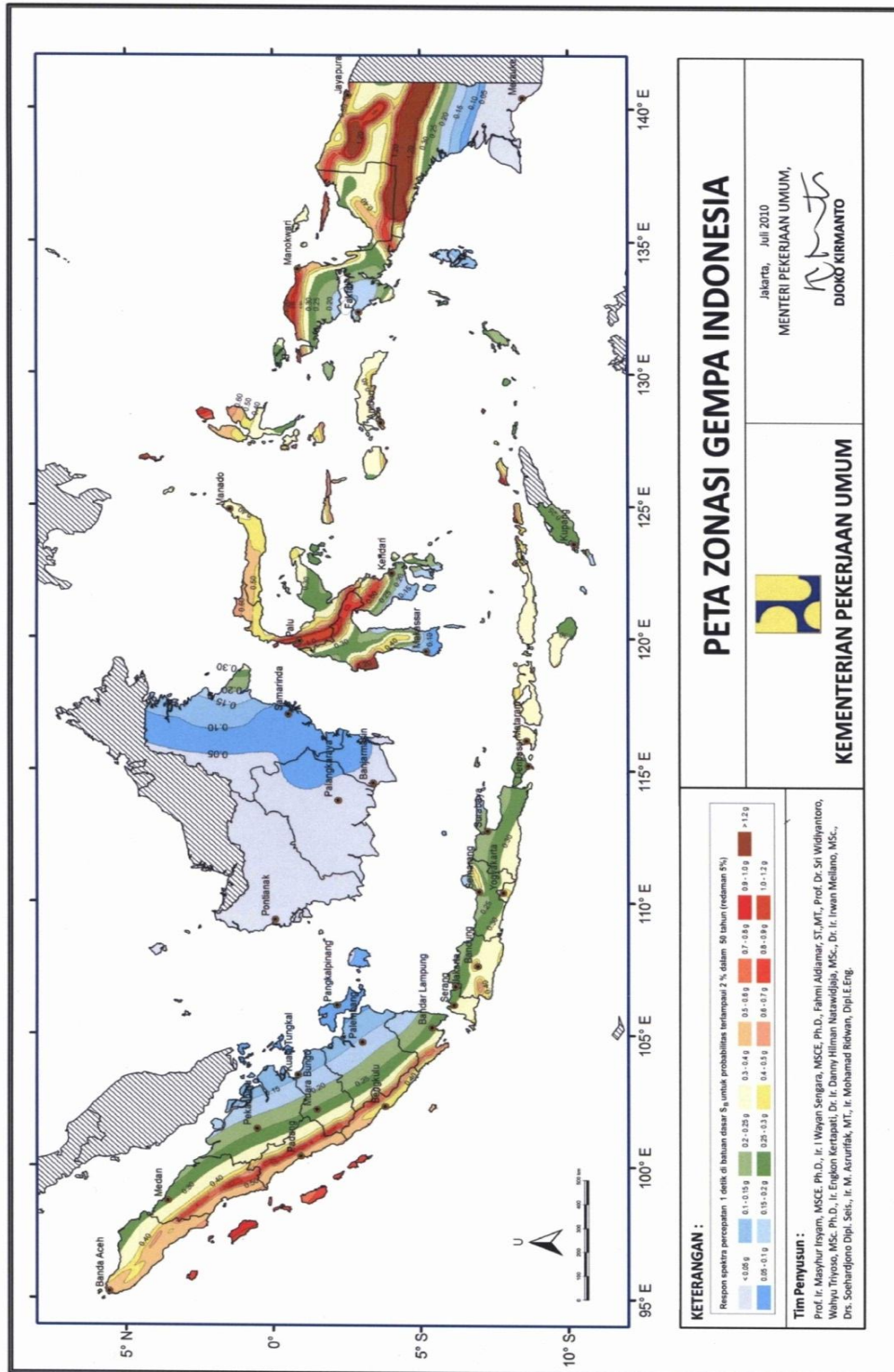
$$\begin{aligned} K_h &= \alpha \cdot K_o \quad (\text{dimana untuk tipe urugan, nilai } \alpha = 0,5) \\ &= 0,5 \cdot 0,283 \\ &= 0,141 \end{aligned}$$

Maka koefisien gempa rencana pada struktur bangunan yang digunakan untuk daerah Bendungan Wiyu adalah $K = 0,141$, dibulatkan menjadi 0,14. Kemudian nilai K yang diperoleh ini akan disesuaikan dengan peta zona gempa wilayah Indonesia tahun 2010. Nilai K tersebut akan dimasukkan dalam analisa stabilitas lereng Bendungan Wiyu sebagai beban gempa (*seismic load*).



Gambar 4.20 Peta zona gempa wilayah Indonesia tahun 2008

Sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, 2008



Gambar 4.21 Peta zona gempa wilayah Indonesia tahun 2010
Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010

a. Bagian hulu bendungan saat waduk kosong dalam kondisi gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, yang membedakan adalah perhitungan harus menggunakan koefisien gempa rencana kala ulang 1000 tahun yang telah dihitung sebelumnya.

Contoh pada pias 1:

$$\text{Diketahui } A_{\text{batuan}} = 7,374 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{batuan}} = 1,750 \text{ t/m}^3$$

$$W_{\text{batuan}} = A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{batuan}}$$

$$= 7,374 \cdot 1,750$$

$$= 12,905 \text{ t/m}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial serta beban seismis masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$= 12,905 \cdot \sin (-31,592^\circ)$$

$$= -6,760 \text{ ton/m}$$

$$N = W \cdot \cos \alpha$$

$$= 12,905 \cdot \cos (-31,592^\circ)$$

$$= 10,992 \text{ ton/m}$$

$$N_e = e \cdot W \cdot \sin \alpha$$

$$= 0,14 \cdot (-6,760) \cdot \sin (-31,592^\circ)$$

$$= -0,946 \text{ ton/m}$$

3. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583 \text{ m}$ dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$C \cdot l = \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360}$$

$$= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360}$$

$$= 56,949 \text{ ton/m}^2$$

4. Menghitung faktor keamanan

$$SF = \frac{\sum \{C \cdot l + (N - N_e - U) \tan \phi\}}{\sum T + T_e}$$

$$= \frac{(56,949 + 2166,323)}{602,426 + (2569,011 \cdot 0,14)}$$

$$= 2,311$$

Faktor keamanan diperoleh 2,311. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk dengan kondisi gempa faktor aman minimumnya adalah 1,1. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

b. Bagian hulu bendungan saat muka air waduk pada elevasi *NWL* dalam kondisi gempa

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, yang membedakan adalah perhitungan harus menggunakan koefisien gempa rencana kala ulang 1000 tahun yang telah dihitung sebelumnya.

Contoh pada pias 6:

$$\text{Diketahui } A_w = 76,636 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{batuan}} = 9,296 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,35 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} W_w &= A_w \cdot \gamma_w \\ &= 76,636 \cdot 1 \\ &= 76,636 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 9,296 \cdot 2,35 \\ &= 21,846 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_w + W_{\text{batuan}} \\ &= 76,636 + 21,846 \\ &= 98,482 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial serta beban seismis masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 98,482 \cdot \sin (-30,985^\circ) \\ &= -50,700 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 98,482 \cdot \cos (-30,985^\circ) \\ &= 84,429 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_e &= e \cdot W \cdot \sin \alpha \\
 &= 0,14 \cdot 98,482 \cdot \sin (-30,985^\circ) \\
 &= -7,098 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan dapat diperoleh dari dengan persamaan

$$U = \frac{u \cdot b}{\cos \alpha}$$

dimana u adalah tekanan air rata-rata yang diperoleh dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 u &= h_w \cdot \gamma_w \quad (h_w = \text{tinggi pias basah} = 2,499 \text{ m}) \\
 u &= 2,499 \cdot 1 \\
 &= 2,499 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{2,499 \cdot 4}{\cos 30,985^\circ} \\
 &= 11,660 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583 \text{ m}$ dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$\begin{aligned}
 C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\
 &= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360} \\
 &= 56,949 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum \{C \cdot l + (N - N_e - U) \tan \phi\}}{\sum T + T_e} \\
 &= \frac{(56,949 + 1915,741)}{431,365 + (4200,662 \cdot 0,14)} \\
 &= 1,935
 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 1,935. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk dengan kondisi gempa faktor aman minimumnya adalah 1,1. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

c. Bagian hulu bendungan saat muka air waduk pada elevasi *FWL* dalam kondisi gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, dengan tetap memperhitungkan koefisien gempa rencana kala ulang 1000 tahun yang telah dihitung sebelumnya.

Contoh pada pias 6:

$$\text{Diketahui } A_w = 86,753 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{batuan}} = 4,944 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,35 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} W_w &= A_w \cdot \gamma_w \\ &= 86,753 \cdot 1 \\ &= 86,753 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 4,944 \cdot 2,35 \\ &= 11,619 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_w + W_{\text{batuan}} \\ &= 86,753 + 11,619 \\ &= 98,372 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial serta beban seismis masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 98,372 \cdot \sin (-32,390^\circ) \\ &= -52,696 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 98,372 \cdot \cos (-32,390^\circ) \\ &= 83,068 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= e \cdot W \cdot \sin \alpha \\ &= 0,14 \cdot 98,372 \cdot \sin (-32,390^\circ) \\ &= -7,377 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (*U*) yang bekerja pada dasar irisan dapat diperoleh dari dengan persamaan

$$U = \frac{u \cdot b}{\cos \alpha}$$

dimana u adalah tekanan air rata-rata yang diperoleh dengan persamaan:

$$u = h_w \cdot \gamma_w \quad (h_w = \text{tinggi pias basah} = 1,193 \text{ m})$$

$$u = 1,193 \cdot 1$$

$$= 1,193 \text{ t/m}^2$$

maka

$$U = \frac{1,193 \cdot 4}{\cos -32,390^\circ}$$

$$= 5,651 \text{ t/m}$$

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583 \text{ m}$ dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$C \cdot l = \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360}$$

$$= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360}$$

$$= 56,949 \text{ ton/m}^2$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$SF = \frac{\sum \{C \cdot l + (N - N_e - U) \tan \phi\}}{\sum T + T_e}$$

$$= \frac{(56,949 + 1912,226)}{402,439 + (4398,841 \cdot 0,14)}$$

$$= 1,934$$

Faktor keamanan diperoleh 1,934. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk dengan kondisi gempa faktor aman minimumnya adalah 1,1. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

- d. Bagian hulu bendungan saat muka air waduk mengalami penurunan mendadak dalam kondisi gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, nilai W merupakan jumlah dari W basah dan kering dari masing-masing zona, karena pada saat waduk terisi air, sebagian pias terendam air. Saat terjadi penurunan muka air cepat, berat air akan berkurang, namun pias yang sebelumnya terendam air masih dalam keadaan jenuh, dan beban gempa tetap diperhitungkan.

Contoh pada pias 4:

$$\text{Diketahui } A_w = 32,261 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{batuan}} = 11,338 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,35 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} W_w &= A_w \cdot \gamma_w \\ &= 32,261 \cdot 1 \\ &= 32,261 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 11,338 \cdot 2,35 \\ &= 26,645 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_w + W_{\text{batuan}} \\ &= 32,261 + 26,645 \\ &= 58,906 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 58,906 \cdot \sin (-30,281^\circ) \\ &= -29,703 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 58,906 \cdot \cos (-30,281^\circ) \\ &= 50,869 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= e \cdot W \cdot \sin \alpha \\ &= 0,14 \cdot 58,906 \cdot \sin (-30,281^\circ) \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan dapat diperoleh dari dengan persamaan

$$U = \frac{u \cdot b}{\cos \alpha}$$

dimana u adalah tekanan air rata-rata yang diperoleh dengan persamaan:

$$u = h_w \cdot \gamma_w \quad (h_w = \text{tinggi pias basah} = 2,915 \text{ m})$$

$$\begin{aligned} u &= 2,915 \cdot 1 \\ &= 2,915 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} U &= \frac{2,915 \cdot 4}{\cos 30,281^\circ} \\ &= 15,421 \text{ t/m} \end{aligned}$$

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 66,583 \text{ m}$ dan $\theta_c = 15,308^\circ$

$$\begin{aligned} C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\ &= \frac{3,2 \cdot 15,308^\circ \cdot 2\pi \cdot 66,583}{360} \\ &= 56,949 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum \{C \cdot l + (N - N_e - U) \tan \phi\}}{\sum T + T_e} \\ &= \frac{(56,949 + 1491,081)}{637,163 + (3561,386 \cdot 0,14)} \\ &= 1,363 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 1,363. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk mengalami penurunan muka air cepat faktor aman minimumnya adalah 1,1. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

- e. Bagian hilir bendungan bendungan saat akhir pelaksanaan, muka air waduk pada elevasi *NWL*, dan *FWL*, dalam kondisi gempa.

1. Prosedur perhitungan mengikuti langkah sebelumnya, yang membedakan adalah perhitungan harus menggunakan koefisien gempa rencana kala ulang 1000 tahun yang telah dihitung sebelumnya.

Contoh pada pias 19:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{\text{batuan}} &= 43,444 \text{ m}^2 \\ A_{\text{filter kasar}} &= 10,419 \text{ m}^2 \text{ (jenuh air)} \\ \gamma_{\text{batuan}} &= 1,750 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_{\text{filter}} &= 21,736 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{batuan}} &= A_{\text{batuan}} \cdot \gamma_{\text{batuan}} \\ &= 43,444 \cdot 1 \\ &= 43,444 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{filter}} &= A_{\text{filter}} \cdot \gamma_{\text{filter}} \\ &= 10,419 \cdot 1,736 \\ &= 18,088 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_{\text{batuan}} + W_{\text{filter}} \\ &= 43,444 + 18,088 \\ &= 94,114 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Beban komponen vertikal dan tangensial serta beban seismis masing-masing dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \alpha \\ &= 94,114 \cdot \sin 41,618^\circ \\ &= 62,507 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \alpha \\ &= 94,114 \cdot \cos 41,618^\circ \\ &= 70,359 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= e \cdot W \cdot \sin \alpha \\ &= 0,14 \cdot 94,114 \cdot \sin 41,618^\circ \\ &= 8,751 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

3. Beban dari tekanan hidrostatik (U) yang bekerja pada dasar irisan tidak ada karena tidak terdapat genangan air pada hilir bendungan.

4. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran dimana diketahui $r = 80 \text{ m}$ dan $\theta_c = 9,763^\circ$

$$\begin{aligned} C \cdot l &= \frac{C \cdot \theta_c \cdot 2\pi \cdot r}{360} \\ &= \frac{3,2 \cdot 9,763^\circ \cdot 2\pi \cdot 80}{360} \\ &= 43,639 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung faktor keamanan

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum \{C.l + (N - N_e - U) \tan \phi\}}{\sum T + T_e} \\
 &= \frac{(43,639 + 1815,066)}{600,336 + (1671,710 \cdot 0,14)} \\
 &= 2,228
 \end{aligned}$$

Faktor keamanan diperoleh 2,228. Berdasarkan tabel faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Novak, 2007 : 85), untuk waduk dengan kondisi gempa faktor aman minimumnya adalah 1,1. Dalam perhitungan $SF > SF$ minimum maka bendungan dinyatakan aman.

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.45 sampai dengan Tabel 4.59.



Tabel 1.4.45. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T1

C. Urugan batu																
r = 66.583 m																
C Filter																
θc = 15.308 °																
e = 0.140																
C. Inti																
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{sat} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	Ne (t/m)	φ (°)	tan φ	(N - Ne) tan φ (t/m)	C · I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Urugan batu & rip-rip	4.000	7.374	1.750	12.905	12.905	-31.592	-0.524	0.852	-6.760	10.992	-0.946	37.000	0.754	8.996	
2	Urugan batu & rip-rip	4.000	17.565	1.750	30.739	30.739	-27.632	-0.464	0.886	-14.257	27.233	-1.996	37.000	0.754	22.026	
3	Urugan batu & rip-rip	4.000	27.263	1.750	47.693	47.693	-23.811	-0.404	0.915	-19.255	43.634	-2.696	37.000	0.754	34.912	
4	Urugan batu & rip-rip	4.000	38.989	1.750	68.230	68.230	-20.099	-0.344	0.939	-23.447	63.257	-3.283	37.000	0.754	50.757	
5	Urugan batu & rip-rip	4.000	49.612	1.750	86.821	86.821	-16.473	-0.284	0.959	-24.619	83.257	-3.447	37.000	0.754	65.336	
6	Urugan batu & rip-rip	4.000	59.143	1.750	103.501	103.501	-12.914	-0.223	0.975	-23.131	100.883	-3.238	37.000	0.754	78.461	
7	Urugan batu & rip-rip	4.000	67.635	1.750	118.361	118.361	-9.405	-0.163	0.987	-19.342	116.770	-2.708	37.000	0.754	90.033	
8	Urugan batu & rip-rip	4.000	75.123	1.750	131.466	131.466	-5.932	-0.103	0.995	-13.587	130.762	-1.902	37.000	0.754	99.969	
9	Urugan batu & rip-rip	4.000	81.634	1.750	142.859	142.859	-2.480	-0.043	0.999	-6.482	142.725	-0.865	37.000	0.754	108.203	
10	Urugan batu & rip-rip	4.000	87.179	1.750	152.563	152.563	0.963	0.017	1.000	2.564	152.542	0.359	37.000	0.754	114.678	
11	Urugan batu & rip-rip	4.000	91.761	1.750	160.382	160.382	4.410	0.077	0.997	12.348	160.106	1.729	37.000	0.754	119.346	
12	Urugan batu & rip-rip	4.000	95.372	1.750	166.902	166.902	7.872	0.137	0.991	22.859	165.329	3.200	37.000	0.754	122.173	
13	Urugan batu & rip-rip	4.000	97.983	1.750	171.488	171.488	11.364	0.197	0.980	33.790	168.126	4.731	37.000	0.754	123.127	
14	Urugan batu & rip-rip	4.000	99.592	1.750	174.286	174.286	14.899	0.257	0.966	44.812	168.426	6.274	37.000	0.754	122.191	
15	Urugan batu & rip-rip	4.000	100.124	1.750	175.216	175.216	18.493	0.317	0.948	55.577	166.169	7.781	37.000	0.754	119.354	
16	Urugan batu & rip-rip	4.000	99.526	1.750	174.171	174.171	22.164	0.377	0.926	65.707	161.301	9.199	37.000	0.754	114.617	
17	Urugan batu & rip-rip	4.000	97.715	1.750	171.000	171.000	25.934	0.437	0.899	74.785	153.780	10.470	37.000	0.754	107.992	
18	Urugan batu & rip-rip	4.000	94.577	1.750	165.509	165.509	29.829	0.497	0.868	82.236	143.581	11.526	37.000	0.754	99.511	
19	Urugan batu & rip-rip	4.000	89.070	1.750	155.872	155.783	33.882	0.557	0.830	87.683	130.574	12.276	37.000	0.754	89.144	
	Filter halus	4.000	0.880	1.586	1.411								30.000	0.577	68.300	
	Urugan batu & rip-rip	4.000	43.987	1.750	76.977								37.000	0.754	72.782	
20	Filter halus	4.000	32.057	1.586	50.842	137.967	38.139	0.618	0.787	85.205	108.513	11.929	37.000	0.577	55.763	
	Inti		7.608	1.334	10.149								21.420	0.392	37.890	
	Urugan batu & rip-rip	4.000	2.638	1.750	4.617								37.000	0.754	49.554	
21	Inti	4.000	56.095	1.334	74.831	102.668	42.660	0.678	0.735	69.573	75.501	9.740	21.420	0.392	25.798	
	Filter halus		14.641	1.586	23.221								30.000	0.577	37.967	
22	Urugan batu & rip-rip	4.000	2.000	1.750	3.500	77.326	47.537	0.738	0.675	57.044	52.204	7.986	37.000	0.754	33.320	
	Inti	4.000	55.342	1.334	73.826								21.420	0.392	17.346	
	Urugan batu & rip-rip	4.000	2.336	1.750	4.070								37.000	0.754	20.908	
23	Inti	4.000	16.247	1.334	21.673	56.481	52.920	0.798	0.603	45.060	34.054	6.308	21.420	0.392	10.885	
	Filter halus		15.204	1.586	24.113								30.000	0.577	16.019	
	Filter kasar		3.816	1.736	6.625								35.000	0.700	19.428	
24	Urugan batu & rip-rip	2.949	3.869	1.750	6.771	16.085	58.209	0.850	0.527	13.672	8.474	1.914	37.000	0.754	4.943	
	Filter kasar		5.365	1.736	9.314								35.000	0.700	4.593	
	Jumlah									602.426	2569.011				2166.323	56.949

SF 2.311

Keterangan :

- Nomor irisan bidang lurus (nomor pias)
- Jenis material tiap pias
- Lebar tiap pias
- Luasan menurut zona tiap pias
- Berat tanah menurut zona tiap pias
- Gaya berat tiap pias = (4) x (5)
- Gaya berat total
- Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- Sin (θ)

- Cos (θ)
- Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- Beban akibat pengaruh gempa e, W sin α = e · (11)
- Sudut geser menurut zona timbunan
- Tan (13)
- {(11)-(12)} x (14)
- C x θ_e x 2π x r

360

Tabel 14.46. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T2

$$r = \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{0.00 \text{ ton/m}^2} = \frac{70.218 \text{ m}}{13.802^\circ}$$

$$8c = \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{3.20 \text{ ton/m}^2} = \frac{0.140}{0.140}$$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	T (t/m)	N (t/m)	Ne (t/m)	ϕ (°)	$\tan \phi$	(N - Ne) $\tan \phi$ (t/m)	C - I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Urugan batu & ip-rap	4.000	7.279	1.750	12.738	12.738	-29.326	-0.490	0.872	-6.239	11.106	-0.873	37.000	0.754	9.027	
2	Urugan batu & ip-rap	4.000	19.902	1.750	34.828	34.828	-25.646	-0.433	0.901	-15.074	31.397	-2.110	37.000	0.754	25.249	
3	Urugan batu & ip-rap	4.000	27.400	1.750	47.950	47.950	-22.077	-0.376	0.927	-18.022	44.435	-2.523	37.000	0.754	35.385	
4	Urugan batu & ip-rap	4.000	36.623	1.750	64.091	64.091	-18.596	-0.319	0.948	-20.438	60.745	-3.061	37.000	0.754	47.931	
5	Urugan batu & ip-rap	4.000	46.817	1.750	81.930	81.930	-15.184	-0.262	0.965	-21.459	79.070	-3.004	37.000	0.754	61.847	
6	Urugan batu & ip-rap	4.000	55.995	1.750	97.991	97.991	-11.827	-0.205	0.979	-20.084	95.911	-2.812	37.000	0.754	74.393	
7	Urugan batu & ip-rap	4.000	64.199	1.750	112.349	112.349	-8.510	-0.148	0.989	-16.686	111.112	-2.328	37.000	0.754	85.483	
8	Urugan batu & ip-rap	4.000	71.460	1.750	125.055	125.055	-5.222	-0.091	0.996	-11.362	124.536	-1.993	37.000	0.754	95.046	
9	Urugan batu & ip-rap	4.000	77.797	1.750	136.145	136.145	-1.952	-0.034	0.999	-4.637	136.066	-0.649	37.000	0.754	103.022	
10	Urugan batu & ip-rap	4.000	83.220	1.750	145.634	145.634	1.313	0.023	1.000	3.337	145.596	0.467	37.000	0.754	109.362	
11	Urugan batu & ip-rap	4.000	87.729	1.750	153.525	153.525	4.581	0.080	0.997	12.262	153.035	1.717	37.000	0.754	114.027	
12	Urugan batu & ip-rap	4.000	91.317	1.750	159.804	159.804	7.865	0.137	0.991	21.868	158.301	3.061	37.000	0.754	116.981	
13	Urugan batu & ip-rap	4.000	93.966	1.750	164.440	164.440	11.175	0.194	0.981	31.870	161.322	4.462	37.000	0.754	118.203	
14	Urugan batu & ip-rap	4.000	95.648	1.750	167.384	167.384	14.523	0.251	0.968	41.975	162.035	5.876	37.000	0.754	117.674	
15	Urugan batu & ip-rap	4.000	96.324	1.750	168.566	168.566	17.923	0.308	0.951	51.874	160.396	7.362	37.000	0.754	115.387	
16	Urugan batu & ip-rap	4.000	95.939	1.750	167.893	167.893	21.369	0.365	0.931	61.290	156.330	8.572	37.000	0.754	111.343	
17	Urugan batu & ip-rap	4.000	94.422	1.750	165.239	165.239	24.940	0.422	0.907	69.676	149.831	9.755	37.000	0.754	105.555	
18	Urugan batu & ip-rap	4.000	91.680	1.750	160.439	160.439	28.536	0.479	0.878	76.791	140.868	10.751	37.000	0.754	98.051	
19	Urugan batu & ip-rap	4.000	87.585	1.750	153.273	153.273	32.385	0.536	0.844	82.094	129.435	11.493	37.000	0.754	88.875	
20	Urugan batu & ip-rap	4.000	78.847	1.750	137.982	142.933	36.339	0.593	0.806	84.697	115.136	11.858	37.000	0.754	77.826	
	Filter halus		3.122	1.586	4.951								30.000	0.577	59.628	
	Urugan batu & ip-rap		27.161	1.750	47.531								37.000	0.754	60.266	
21	Inti	4.000	12.801	1.334	17.077	119.473	40.506	0.650	0.760	77.601	90.840	10.864	21.420	0.392	31.374	
	Filter halus		34.593	1.586	54.865								30.000	0.577	46.174	
	Urugan batu & ip-rap		2.000	1.750	3.500								37.000	0.754	38.813	
22	Inti	4.000	54.514	1.334	72.722	84.603	44.951	0.707	0.708	59.772	59.874	8.368	21.420	0.392	20.206	
	Filter halus		5.284	1.586	8.381								30.000	0.577	29.737	
	Urugan batu & ip-rap		2.000	1.750	3.500								37.000	0.754	24.447	
23	Inti	4.000	41.806	1.334	55.770	60.193	49.771	0.763	0.646	45.956	38.875	6.434	21.420	0.392	12.727	
	Filter halus		0.582	1.586	0.924								30.000	0.577	18.730	
	Urugan batu & ip-rap		3.031	1.750	5.304								37.000	0.754	12.434	
24	Inti	4.837	2.820	1.334	3.762	36.879	55.729	0.826	0.563	30.476	20.767	4.267	21.420	0.392	6.473	
	Filter halus		11.139	1.586	17.667								30.000	0.577	9.526	
	Filter kasar		5.844	1.736	10.146								35.000	0.700	11.553	
SF	Jumlah									617.517	2537.006				2092.753	54.149

Keterangan :

- 1 Nomor irisan bidang lurus (nomor pias)
- 2 Jenis material tiap pias
- 3 Lebar tiap pias
- 4 Luasan menurut zona tiap pias
- 5 Berat tanah menurut zona tiap pias
- 6 Gaya berat tiap pias = (4) x (5)
- 7 Gaya berat total
- 8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- 9 Sin (8)
- 10 Cos (8)
- 11 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
- 12 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
- 13 Beban akibat pengaruh gempa $e \cdot W \sin \alpha = e \cdot (11)$
- 14 Sudut geser menurut zona timbunan
- 15 Tan (13)
- 16 $\frac{(11) - (12)}{C \times \theta_c \times 2\pi \times r}$ x (14)
- 17 $\frac{360}{C \times \theta_c \times 2\pi \times r}$

Tabel 4.47. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat Bendungan Selesai Dibangun Kondisi Gempal dengan Titik Pusat T3

$$\begin{aligned} &= \frac{0.00 \text{ ton/m}^2}{0.00 \text{ ton/m}^2} = \frac{73.852 \text{ m}}{12.386^\circ} \\ &= \frac{3.20 \text{ ton/m}^2}{0.140} \end{aligned}$$

No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m^3)	W (t/m)	W_{net} (t/m)	α ($^\circ$)	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	T (t/m)	N (t/m)	N_e (t/m)	ϕ ($^\circ$)	$\tan \phi$	$(N - N_e) \tan \phi$ (t/m)	C. I
1	Urugan batu & rip-rap	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Urugan batu & rip-rap	4.000	6.883	1.750	12.045	12.045	-27.199	-0.457	0.889	-5.506	10.713	-0.771	37.000	0.754	8.654	
2	Urugan batu & rip-rap	4.000	19.845	1.750	34.729	34.729	-23.761	-0.403	0.915	-13.993	31.786	-1.959	37.000	0.754	25.438	
3	Urugan batu & rip-rap	4.000	29.393	1.750	51.438	51.438	-20.411	-0.349	0.937	-17.939	48.208	-2.511	37.000	0.754	38.220	
4	Urugan batu & rip-rap	4.000	35.330	1.750	61.828	61.828	-17.133	-0.295	0.956	-18.214	59.084	-2.550	37.000	0.754	46.445	
5	Urugan batu & rip-rap	4.000	44.228	1.750	77.398	77.398	-13.912	-0.240	0.971	-18.609	75.128	-2.605	37.000	0.754	58.576	
6	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.058	1.750	92.852	92.852	-10.735	-0.186	0.982	-17.295	91.227	-2.421	37.000	0.754	70.569	
7	Urugan batu & rip-rap	4.000	60.973	1.750	106.703	106.703	-7.592	-0.132	0.991	-14.097	105.788	-1.974	37.000	0.754	81.189	
8	Urugan batu & rip-rap	4.000	67.998	1.750	118.996	118.996	-4.471	-0.078	0.997	-9.276	118.634	-1.299	37.000	0.754	90.376	
9	Urugan batu & rip-rap	4.000	74.147	1.750	129.757	129.757	-1.363	-0.024	1.000	-3.086	129.720	-0.432	37.000	0.754	98.077	
10	Urugan batu & rip-rap	4.000	79.427	1.750	138.998	138.998	1.741	0.030	1.000	4.223	138.933	0.591	37.000	0.754	104.248	
11	Urugan batu & rip-rap	4.000	83.839	1.750	146.718	146.718	4.849	0.085	0.996	12.402	146.493	1.736	37.000	0.754	108.856	
12	Urugan batu & rip-rap	4.000	87.374	1.750	152.904	152.904	7.973	0.139	0.990	21.209	151.426	2.969	37.000	0.754	111.870	
13	Urugan batu & rip-rap	4.000	90.015	1.750	157.527	157.527	11.120	0.193	0.981	30.381	154.569	4.253	37.000	0.754	113.271	
14	Urugan batu & rip-rap	4.000	91.738	1.750	160.542	160.542	14.301	0.247	0.969	39.656	155.567	5.552	37.000	0.754	113.045	
15	Urugan batu & rip-rap	4.000	92.508	1.750	161.888	161.888	17.529	0.301	0.954	48.759	154.371	6.826	37.000	0.754	111.183	
16	Urugan batu & rip-rap	4.000	92.275	1.750	161.482	161.482	20.815	0.355	0.935	57.383	150.942	8.034	37.000	0.754	107.689	
17	Urugan batu & rip-rap	4.000	90.980	1.750	159.214	159.214	24.174	0.410	0.912	65.200	145.252	9.128	37.000	0.754	102.577	
18	Urugan batu & rip-rap	4.000	88.540	1.750	154.944	154.944	27.624	0.464	0.886	71.843	137.382	10.058	37.000	0.754	95.870	
19	Urugan batu & rip-rap	4.000	84.850	1.750	148.487	148.487	31.187	0.518	0.855	76.891	127.028	10.765	37.000	0.754	87.611	
20	Urugan batu & rip-rap	4.000	79.270	1.750	139.597	139.597	34.890	0.572	0.830	79.850	114.504	11.179	37.000	0.754	77.861	
21	Urugan batu & rip-rap	4.000	65.582	1.750	114.709	114.709	38.767	0.626	0.780	79.339	98.794	11.107	37.000	0.754	66.077	
	Filter halus		7.528	1.586	11.940								30.000	0.577	50.626	
	Urugan batu & rip-rap		12.858	1.750	22.502				0.733	67.068		9.390	37.000	0.754	47.371	
22	Urugan batu & rip-rap	4.000	20.759	1.334	27.693	98.583	42.869	0.680			72.252		30.000	0.577	24.661	
	Filter halus		30.510	1.586	48.389								30.000	0.577	36.294	
	Urugan batu & rip-rap		2.000	1.750	3.500								37.000	0.754	28.716	
23	Urugan batu & rip-rap	4.000	46.737	1.334	62.346	66.182	47.263	0.734	0.679	48.609	44.913	6.805	21.420	0.392	14.950	51.109
	Filter halus		0.211	1.586	0.335								30.000	0.577	22.002	
	Urugan batu & rip-rap		2.000	1.750	3.500								37.000	0.754	16.109	
24	Urugan batu & rip-rap	4.000	22.361	1.334	29.830	42.379	52.059	0.789	0.615	33.422	26.057	4.679	21.420	0.392	8.386	
	Filter halus		5.706	1.586	9.049								30.000	0.577	12.342	
	Urugan batu & rip-rap		1.395	1.750	2.441								37.000	0.754	3.575	
25	Urugan batu & rip-rap	2.549	2.566	1.586	4.070	10.863	56.407	0.833	0.553	9.049	6.011	1.267	30.000	0.577	2.739	
	Filter kasar		2.937	1.736	4.353								35.000	0.700	3.322	
SF	Jumlah									627.268	2484.364				1988.785	51.109
	2.089															

Keterangan :

- 1 Nomor isian bidang lancar (nomor pias)
- 2 Jenis material tiap pias
- 3 Lebar tiap pias
- 4 Luasan menurut zona tiap pias
- 5 Berat tanah menurut zona tiap pias
- 6 Gaya berat tiap pias = (4×5)
- 7 Gaya berat total
- 8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
- 9 Sin (θ)

Cos (θ)Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7×9) Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7×10) Beban akibat pengaruh gempa $e \cdot W \sin \alpha = e \cdot (11)$

Sudut geser menurut zona timbunan

Tan (13°) $\frac{((11) - (02)) \times (14)}{C \times \theta_e \times 2\pi \times r}$ $\frac{360}{360}$

Tabel 14.48. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Komo Wiyusan NWL Kondisi Gempa dengan Titik Pisat T1

C Unguan baru		=		0,00 mm ²		r		=		66.583 m								
C Filter		=		0,00 mm ²		ε		=		15.308 °								
C Inti		=		3,20 mm ²		ε		=		0,140								
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	7 (mm)	W (m)	W _{int} (m)	α (°)	sin α	cos α	T (mm)	N (mm)	N _e (mm)	h _s (m)	U	φ (°)	tan φ	(N - N _e - U) tan φ (mm)	C. I
1	Air	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2		4000	11721	1.000	11721	11721	54,066	40,815	0,579	-41,555	47,899	-4,388						
3		4000	32133	1.000	32133	32133	49,033	-40,015	0,755	-52,660	21,666	-3,807						
4		4000	49,047	1.000	49,047	49,047	-44,003	40,695	0,719	-34,089	35,264	-4,829	-5,600					
5	Unguan baru & rp-up	4000	75,337	1.000	75,337	75,756	-35,091	43,575	0,818	-43,309	61,986	-6,063	0,000	0,000	37,000	0,754	51,279	
6		4000	76,636	1.000	76,636	90,482	-30,985	43,515	0,857	-50,700	84,429	-7,088	2,489	11,660	37,000	0,754	60,184	
7		4000	76,000	1.000	76,000	120,214	-27,048	43,455	0,881	-54,666	107,066	-7,653	4,718	21,190	37,000	0,754	70,479	
8		4000	73,272	1.000	73,272	141,558	-23,245	43,395	0,919	-55,968	130,067	-7,822	7,277	31,680	37,000	0,754	80,034	
9	Unguan baru & rp-up	4000	67,939	1.000	67,939	163,489	-19,547	43,335	0,942	-54,704	154,076	-7,668	10,178	43,202	37,000	0,754	89,321	
10		4000	62,605	1.000	62,605	182,734	-15,932	42,274	0,962	-50,160	175,075	-7,402	12,791	53,208	37,000	0,754	97,607	
11		4000	57,272	1.000	57,272	199,424	-12,382	42,214	0,977	-42,762	194,785	-5,387	15,133	61,974	37,000	0,754	104,592	
12		4000	60,490	2,350	142,152	51,939	213,684	-8,079	41,554	0,988	-32,982	211,124	-4,837	17,237	69,703	37,000	0,754	110,047
13	Unguan baru & rp-up	4000	46,605	1.000	46,605	255,599	-5,410	40,894	0,996	-21,270	224,555	-2,978	19,052	76,549	37,000	0,754	113,804	
14		4000	41,272	1.000	41,272	255,222	-1,960	40,834	0,999	-8,045	235,065	-4,126	20,463	82,620	37,000	0,754	115,739	
15		4000	36,935	1.000	36,935	296,640	-242,579	1,483	40,806	1,000	0,278	241,498	0,879	21,983	88,001	37,000	0,754	115,729
16		4000	30,605	2,350	217,066	245,671	4,831	0,086	0,996	0,986	21,269	246,755	2,880	23,102	92,751	37,000	0,754	113,804
17	Unguan baru & rp-up	4000	25,272	1.000	25,272	290,477	8,397	0,146	0,989	34,577	240,791	5,121	23,938	96,911	37,000	0,754	109,838	
18		4000	19,939	1.000	19,939	250,945	11,884	0,236	0,973	51,720	245,557	7,241	24,586	100,302	37,000	0,754	103,851	
19		4000	14,605	1.000	14,605	248,999	15,437	0,296	0,954	66,278	240,016	9,279	24,947	103,523	37,000	0,754	95,863	
20		4000	9,272	1.000	9,272	244,525	19,941	0,326	0,945	79,775	231,146	11,169	25,059	105,553	37,000	0,754	85,524	
21	Unguan baru & rp-up	4000	8,739	1.000	8,739	237,371	22,226	0,386	0,922	91,702	210,942	12,838	24,946	107,749	37,000	0,754	74,115	
22		4000	0,152	1.000	0,152	227,948	26,313	0,446	0,895	101,756	203,975	14,446	23,988	107,274	37,000	0,754	62,135	
23		4000	1,546	1,750	2,706	205,040	30,429	0,506	0,862	109,810	196,930	15,573	21,628	101,260	37,000	0,754	52,987	
24		4000	7,944	2,350	172,768	200,866	34,530	0,567	0,824	133,891	165,559	15,932	19,283	93,604	30,000	0,577	42,187	
25	Filter bahas	4000	3,117	1,922	5,991	191,78	45,067											
26		4000	2,436	1,739	28,085	156,480	38,802	0,627	0,779	98,055	121,947	13,228	16,306	83,694	30,000	0,577	14,160	
27		4000	2,483	1,586	3,947													
28		4000	12,930	1,383	17,886													
29	Unguan baru & rp-up	4000	2,316	1,922	4,451	100,923	43,270	0,687	0,727	69,305	73,365	9,703	11,275	62,041	30,000	0,577	0,986	
30		4000	6,653	1,596	10,521													
31		4000	42,944	1,383	59,404													
32		4000	17,277	1,334	23,048													
33	Unguan baru & rp-up	4000	2,000	1,750	3,500													
34		4000	15,956	1,383	22,071													
35		4000	36,701	1,334	48,959													
36		4000	5,883	1,750	10,313	63,009	55,335	0,824	0,566	51,949	35,657	7,723	0,000	0,000	21,420	0,382	11,135	
37	Filter bahas	4000	0,004	1,383	0,019													
38		4000	9,470	1,334	12,633													
39		4000	15,199	1,596	24,105													
40		4000	9,882	1,736	15,939													
Jumlah											420,662							56,949

Keterangan:

1. Nomor isian bidang luncur (nomor plus)
2. Jenis mac erdi tap plus
3. Lebar tap plus
4. Luasan menurut zona plus
5. Berat isi tanah menurut zona tap plus
6. Gaya berat = (4) x (5)
7. Gaya berat total tap plus
8. Sifat yang dibentuk dari sumber ingkahan ke masing-masing plus
9. Sin (φ)
10. Cos (φ)
11. Beban komponen tangensial yang timbul pada tap plus = (7) x (9)
12. Beban komponen vertikal yang timbul pada tap plus = (7) x (10)
13. Beban akibat pengurang gempa e W sin α = e. (11)
14. Ketinggian plus basah
15. Tekanan air pada U = u. b/cos α (dimana u = rw. hw)
16. Sudut geser menurut zona timbunan
17. Tan (16)
18. [(12)-(15)-(16)] x (17)
19. C x $\frac{C_2}{C_1} \times 2 \times \frac{r}{r_0} \times \frac{z}{z_0}$
20. 360

Tabel 4.49. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat NWL Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T2

[illegible]

11	Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = $(7 \times x_9)$
12	Beban komponen normal yang timbul pada tiap pias = $(7 \times x_{10})$
13	Beban akibat pengaruh gempa $e, W \sin \alpha = e, (11)$
14	Ketinggian pias basah
15	Tekanan air pori $U = u$, bias α
16	Sudut geser menurut zona tahanan
17	Tan (16)
18	$\frac{(12) + (13) - (15)}{C + \frac{\phi_p}{2} \times \pi \times r}$
19	$\frac{360}{\dots}$

Tabel 4.50. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat NWL Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T3

11	Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = $7 \times (x/9)$
12	Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = $7 \times (x/10)$
13	Beban akibat pengaruh gempa e , $W \sin \alpha = e \cdot (11)$
14	Ketinggian pias bawah
15	Tegangan air-pot $U = u$, b/cos α
16	Sudut geser menurut zona tumbuan
17	Tan (16)
18	$(1/2) \cdot (13) \cdot (15) \times (x/7)$
19	$C \times \theta_2 \times 2\pi \times r$

Keterangan :	
1	Nomor insial bidang luncur (nomor plus)
2	Jenis material tiap plus
3	Lebar tiap plus
4	Lusuan menurut zona plus
5	Berat isi tanah menurut zona tiap plus
6	Gaya berat = (4×5)
7	Gaya berat total tiap plus
8	Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkara
9	Sin (θ)
10	Cos (θ)

C Urugan batu			0.00 ton/m ²
C Filter			0.00 ton/m ²
C Inti			3.20 ton/m ²

C. Int	No.	Zona	b	A	7-2.5.0			E			0.74.0			U	φ	tan φ	ρN-Nr. 0 tan φ	C. I
					W	W	W	W _{es}	α	β	γ	cos α	T					
1	1	Air	3	12.743	1.000	12.743	12.743	-56.727	-0.836	0.549	10.154	6.931	13	15	18	18	18	19
2	2	Air	4	34.697	1.000	34.697	34.697	-50.886	-0.76	0.631	26.925	21.865	36.795					
3	3	Air	4	52.701	1.000	52.701	52.701	-45.718	-0.716	0.688	37.729	36.795	52.862					
4	4	Air	4	67.831	1.000	67.831	67.831	-40.983	-0.656	0.755	44.686	51.206	67.228					
5	5	Air	4	80.699	1.000	80.699	80.699	-36.567	-0.596	0.803	48.077	64.814	80.773					
6	6	Unguan batu & nip-cap	4	86.753	1.000	86.753	86.753	-32.390	-0.536	0.844	52.696	83.688	107.734	5.651	37.000	0.754	63.887	
7	7	Air	4	94.344	1.000	94.344	94.344	-28.399	-0.476	0.880	58.382	107.734	129.950	18.130	37.000	0.754	73.716	
8	8	Unguan batu & nip-cap	4	100.000	1.000	100.000	100.000	-24.553	-0.416	0.910	59.367	129.950	154.590	31.987	37.000	0.754	83.648	
9	9	Air	4	78.992	1.000	78.992	78.992	-16.530	-0.355	0.935	58.788	154.590	182.204	39.388	37.000	0.754	93.013	
10	10	Unguan batu & nip-cap	4	73.659	1.000	73.659	73.659	-18.545	-0.295	0.955	54.805	177.267	211.914	49.882	37.000	0.754	101.773	
11	11	Air	4	68.326	1.000	68.326	68.326	-20.314	-0.235	0.972	47.793	197.401	231.914	59.054	37.000	0.754	109.294	
12	12	Unguan batu & nip-cap	4	62.982	1.000	62.982	62.982	-22.188	-0.175	0.985	38.235	214.822	254.818	67.127	37.000	0.754	115.330	
13	13	Air	4	57.659	1.000	57.659	57.659	-24.013	-0.115	0.993	26.393	239.384	282.384	74.382	37.000	0.754	119.699	
14	14	Unguan batu & nip-cap	4	52.326	1.000	52.326	52.326	-25.836	-0.055	0.998	13.291	260.970	301.970	80.594	37.000	0.754	122.254	
15	15	Unguan batu & nip-cap	4	46.992	1.000	46.992	46.992	-27.659	0.005	1.000	1.345	280.476	311.476	86.205	37.000	0.754	124.902	
16	16	Air	4	41.659	1.000	41.659	41.659	-29.482	0.065	0.998	16.687	294.818	326.818	91.169	37.000	0.754	121.565	
17	17	Unguan batu & nip-cap	4	36.326	1.000	36.326	36.326	-31.305	0.125	0.992	32.487	295.628	337.628	95.531	37.000	0.754	118.202	
18	18	Air	4	30.992	1.000	30.992	30.992	-33.128	0.185	0.983	40.304	285.467	326.467	99.319	37.000	0.754	112.793	
19	19	Unguan batu & nip-cap	4	25.659	1.000	25.659	25.659	-34.951	0.245	0.969	43.668	251.238	284.851	102.137	37.000	0.754	105.348	
20	20	Air	4	20.326	1.000	20.326	20.326	-36.774	0.305	0.952	78.047	243.366	253.366	105.176	37.000	0.754	95.900	
21	21	Unguan batu & nip-cap	4	14.992	1.000	14.992	14.992	-38.597	0.365	0.931	91.132	222.124	222.124	107.203	37.000	0.754	84.521	
22	22	Air	4	9.659	1.000	9.659	9.659	-40.420	0.426	0.905	102.380	217.514	217.514	108.541	37.000	0.754	71.327	
23	23	Unguan batu & nip-cap	4	4.326	1.000	4.326	4.326	-42.26	0.486	0.874	110.899	199.568	199.568	109.090	37.000	0.754	56.485	
24	24	Air	4	0.258	1.000	0.258	0.258	-44.089	0.546	0.848	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
25	25	Unguan batu & nip-cap	4	1.286	1.000	1.286	1.286	-45.722	0.606	0.796	110.547	145.203	145.203	99.008	37.000	0.754	23.148	
26	26	Filter	4	30.941	1.000	30.941	30.941	-47.382	0.666	0.796	110.547	145.203	145.203	99.008	37.000	0.754	23.148	
27	27	Unguan batu & nip-cap	4	2.700	1.000	2.700	2.700	-49.045	0.726	0.688	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
28	28	Filter	4	25.365	1.000	25.365	25.365	-50.886	0.786	0.618	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
29	29	Unguan batu & nip-cap	4	1.937	1.000	1.937	1.937	-52.632	0.844	0.536	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
30	30	Filter	4	4.111	1.000	4.111	4.111	-54.727	0.915	0.468	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
31	31	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-56.727	0.985	0.382	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
32	32	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-58.727	1.054	0.305	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
33	33	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-60.727	1.123	0.228	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
34	34	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-62.727	1.192	0.151	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
35	35	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-64.727	1.261	0.074	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
36	36	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-66.727	1.330	0.000	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
37	37	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-68.727	1.399	0.074	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
38	38	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-70.727	1.468	0.149	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
39	39	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-72.727	1.537	0.228	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
40	40	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-74.727	1.606	0.305	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
41	41	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-76.727	1.675	0.382	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
42	42	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-78.727	1.744	0.459	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
43	43	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-80.727	1.813	0.536	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
44	44	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-82.727	1.882	0.613	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
45	45	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-84.727	1.951	0.688	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
46	46	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-86.727	2.020	0.765	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
47	47	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-88.727	2.089	0.844	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
48	48	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-90.727	2.158	0.923	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
49	49	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-92.727	2.227	1.000	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
50	50	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-94.727	2.296	1.079	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
51	51	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-96.727	2.365	1.158	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
52	52	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-98.727	2.434	1.237	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
53	53	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-100.727	2.503	1.316	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
54	54	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-102.727	2.572	1.395	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
55	55	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-104.727	2.641	1.474	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
56	56	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-106.727	2.710	1.553	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
57	57	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-108.727	2.779	1.632	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
58	58	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-110.727	2.848	1.711	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
59	59	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-112.727	2.917	1.790	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
60	60	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-114.727	2.986	1.869	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
61	61	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-116.727	3.055	1.948	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
62	62	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-118.727	3.124	2.027	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
63	63	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-120.727	3.193	2.106	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
64	64	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-122.727	3.262	2.185	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
65	65	Unguan batu & nip-cap	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-124.727	3.331	2.264	116.411	178.771	178.771	107.461	37.000	0.754	41.465	
66	66	Filter	4	45.162	1.000	45.162	45.162	-126.727	3.400	2.343	116.411	178.771	17					

11	Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7×98)
12	Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7×10)
13	Waktu untuk melepas semua $\alpha = \epsilon$. (11)
14	Ketangkilan pias besar
15	Tekanan air port I = u, b/cos α (drama u = γw , hw)
16	Sudut geser menurut zona timbunan
17	Tan (16)
18	$(12) - (13) \cdot (15) \times (17)$
19	$\frac{C}{C} \times \theta_2 \times 2\pi \times r$
	$\frac{360}{\pi}$

Tabel 4.52. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Koto Wiyasant FWL Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T2

C Unguan batu		C Filter		0,00 ton/m ²		0,00 ton/m ²		3,20 ton/m ²		r = 70,210 m		13,802 °		e		0,140		sin α		α (°)		W _{esi}		W		A		b		Zona		No.		C.1		(N-Nx-U) tan φ		tan φ		φ (°)		U		h _w		h _w (m)		14		15		16		17		18		19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118		119		120		121		122		123		124		125		126		127		128		129		130		131		132		133		134		135		136		137		138		139		140		141		142		143		144		145		146		147		148		149		150		151		152		153		154		155		156		157		158		159		160		161		162		163		164		165		166		167		168		169		170		171		172		173		174		175		176		177		178		179		180		181		182		183		184		185		186		187		188		189		190		191		192		193		194		195		196		197		198		199		200		201		202		203		204		205		206		207		208		209		210		211		212		213		214		215		216		217		218		219		220		221		222		223		224		225		226		227		228		229		230		231		232		233		234		235		236		237		238		239		240		241		242		243		244		245		246		247		248		249		250		251		252		253		254		255		256		257		258		259		260		261		262		263		264		265		266		267		268		269		270		271		272		273		274		275		276		277		278		279		280		281		282		283		284		285		286		287		288		289		290		291		292		293		294		295		296		297		298		299		300		301		302		303		304		305		306		307		308		309		310		311		312		313		314		315		316		317		318		319		320		321		322		323		324		325		326		327		328		329		330		331		332		333		334		335		336		337		338		339		340		341		342		343		344		345		346		347		348		349		350		351		352		353		354		355		356		357		358		359		360		361		362		363		364		365		366		367		368		369		370		371		372		373		374		375		376		377		378		379		380		381		382		383		384		385		386		387		388		389		390		391		392		393		394		395		396		397		398		399		400		401		402		403		404		405		406		407		408		409		410		411		412		413		414		415		416		417		418		419		420		421		422		423		424		425		426		427		428		429		430		431		432		433		434		435		436		437		438		439		440	

Tabel 4.55. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat Terjadi Penurunan Muka Air Mendadak Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T2

[illegible]

11	Bahan komponen tangensial yang timbul pada tap pias = $(7) \times (9)$
12	Bahan komponen normal yang timbul pada tap pias = $(7) \times (10)$
13	Bahan akibat pengaruh gempa $e, W \sin \alpha = e, (11)$
14	Ketegangan pias basah
15	Telahan air pori $U = u, \text{ boss } \alpha$
16	Sudut geser menurut zona tumbukan
17	Tan (16)
18	$\frac{(12) - (13) - (15) \times (17)}{C \times \theta_c \times 2\pi \times r}$
19	340

Tabel 4.56. Stabilitas Lereng Hulu Tubuh Bendungan Konto Wiyu saat Terjadi Penurunan Muka Air Mendadak Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T3

[illegible]

1	Nomor tisan bidang linear (nomor/pias)	11	Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = $(7) \times (9)$
2	Jenis material tiap pias	12	Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = $(7) \times (10)$
3	Luaran tiap pias	13	Beban akibat pengaruh gempa $c \cdot W \sin \alpha = e \cdot (11)$
4	Luasan menurut zona pias	14	Ketegangan pias basah
5	Berat isi tanah menurut zona tiap pias	15	Tahanan air pori $U = u_b / \cos \alpha$ (dimana $u = \gamma_w \cdot h_w$)
6	Gaya berat = $(4) \times (5)$	16	Sudut geser menurut zona timbunan
7	Gaya berat total tiap pias	17	Tan (ϕ)
8	Sudut yang dibentuk dari sumbu logkaram ke masing-masing pias	18	$((12) - (13) - (15)) \times (17)$
9	Sin (θ)	19	$C \times \theta_c \times 2\pi \times r'$
10	Cos (θ)		360

Tabel 4.58. Stabilitas Lereng Hilir Tubuh Bendungan Kanto Wityu saat Kosong, NWL, dan FWL Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T2

C Urugan batu		=		0.00 ton/m ²		r		=		83.20 m						
C Filter		=		0.00 ton/m ²		θc		=		6.266 °						
C Inti		=		3.20 ton/m ²		e		=		0.140						
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	Ne (t/m)	φ (°)	tan φ	(N - Ne) tan φ (t/m)	C . I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Urugan batu & rip-rap	4.000	5.321	1.750	9.312	9.321	-11.455	-0.199	0.980	-1.851	9.135	-0.259	37.000	0.754	7.079	
	Filter kasar		0.005	1.736	0.008								35.000	0.700	6.578	
2	Urugan batu & rip-rap	4.000	13.987	1.750	24.477	26.995	-8.658	-0.151	0.989	-4.064	26.687	-0.569	37.000	0.754	20.539	
	Filter kasar		1.450	1.736	2.518								35.000	0.700	19.085	
3	Urugan batu & rip-rap	4.000	21.260	1.750	37.204	43.266	-5.880	-0.102	0.995	-4.432	43.038	-0.621	37.000	0.754	32.899	
	Filter kasar		3.492	1.736	6.062								35.000	0.700	30.570	
4	Urugan batu & rip-rap	4.000	28.532	1.750	49.931	58.179	-3.117	-0.054	0.999	-3.164	58.093	-0.443	37.000	0.754	44.110	
	Filter kasar		4.751	1.736	8.248								35.000	0.700	40.987	
5	Urugan batu & rip-rap	4.000	35.805	1.750	62.659	71.750	-0.361	-0.006	1.000	-0.452	71.749	-0.063	37.000	0.754	54.114	
	Filter kasar		5.237	1.736	9.091								35.000	0.700	50.283	
6	Urugan batu & rip-rap	4.000	41.983	1.750	73.471	82.069	2.394	0.042	0.999	3.428	81.997	0.480	37.000	0.754	61.428	
	Filter kasar		4.953	1.736	8.598								35.000	0.700	57.079	
7	Urugan batu & rip-rap	4.000	42.733	1.750	74.783	81.548	5.155	0.090	0.996	7.327	81.218	1.026	37.000	0.754	60.429	
	Filter kasar		3.697	1.736	6.765								35.000	0.700	56.151	
8	Urugan batu & rip-rap	4.000	46.714	1.750	81.750	85.328	7.928	0.138	0.990	11.769	84.513	1.648	37.000	0.754	62.443	
	Filter kasar		2.062	1.736	3.579								35.000	0.700	58.023	
9	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.277	1.750	93.235	93.484	10.720	0.186	0.983	17.389	91.852	2.434	37.000	0.754	67.381	
	Filter kasar		0.143	1.736	0.248								35.000	0.700	62.611	
10	Urugan batu & rip-rap	4.000	57.254	1.750	100.194	100.194	13.538	0.234	0.972	23.454	97.410	3.284	37.000	0.754	70.929	
	Filter kasar		60.249	1.750	105.435	105.435	16.389	0.282	0.959	29.749	101.151	4.165	37.000	0.754	73.084	
12	Urugan batu & rip-rap	4.000	62.371	1.750	109.150	109.150	19.283	0.330	0.944	36.045	103.027	5.046	37.000	0.754	73.833	
	Filter kasar		63.578	1.750	111.261	111.261	22.229	0.378	0.926	42.091	102.992	5.893	37.000	0.754	73.170	
13	Urugan batu & rip-rap	4.000	63.813	1.750	111.673	111.673	25.239	0.426	0.905	47.617	101.012	6.666	37.000	0.754	71.095	
	Filter kasar		63.006	1.750	110.261	110.261	28.325	0.474	0.880	52.316	97.059	7.324	37.000	0.754	67.620	
15	Urugan batu & rip-rap	4.000	61.069	1.750	106.870	106.870	31.503	0.523	0.853	55.844	91.119	7.818	37.000	0.754	62.771	
	Filter kasar		57.886	1.750	101.300	101.300	34.794	0.571	0.821	57.804	83.188	8.093	37.000	0.754	56.589	
17	Urugan batu & rip-rap	4.000	53.307	1.750	93.288	93.288	30.221	0.619	0.786	57.717	73.290	8.080	37.000	0.754	49.139	
	Filter kasar		47.019	1.750	82.284	82.482	41.819	0.667	0.745	54.998	61.470	7.700	37.000	0.754	40.519	
19	Urugan batu & rip-rap	4.000	0.115	1.736	0.199								35.000	0.700	37.651	
	Filter kasar		13.173	1.750	23.053								37.000	0.754	30.397	
20	Urugan batu & rip-rap	4.000	21.126	1.736	36.674	67.321	45.631	0.715	0.699	48.124	47.076	6.737	35.000	0.700	28.245	
	Filter kasar		4.788	1.586	7.594								30.000	0.577	23.289	
21	Urugan batu & rip-rap		2.230	1.750	3.903								37.000	0.754	17.043	
	Filter halus	4.000	13.025	1.586	20.657	41.909	49.723	0.763	0.646	31.974	27.093	4.476	30.000	0.577	13.058	
21	Filter kasar		0.501	1.736	0.869								35.000	0.700	15.837	
	Inti		10.391	1.586	16.480								21.420	0.392	8.873	
22	Urugan batu & rip-rap		1.433	1.750	2.508	10.415	53.633	0.805	0.593	8.386	6.175	1.174	37.000	0.754	3.769	
	Inti	3.217	4.985	1.586	7.906								21.420	0.392	1.962	
Jumlah										572.070	1540.346				1610.665	29.128

Keterangan :

1 Nomor lisian bidang luncur (nomor pias)

2 Jenis material tiap pias

3 Lebar tiap pias

4 Luasan menurut zona tiap pias

5 Berat tanah menurut zona tiap pias

6 Gaya berat tiap pias = (4) x (5)

7 Gaya berat total

8 Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias

9 Sin (θ)

Cos (θ)

10 Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)

11 Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)

12 Beban akibat pengaruh gempa $e \cdot W \sin \alpha = e \cdot (11)$

13 Sudut geser menurut zona timbunan

14 Tan (13)

15 $(11) \times (12) \times (14)$

16 $C \times \theta_e \times 2\pi \times r$

360

Tabel 4.59. Stabilitas Lereng Hilir Tubuh Bendungan Kanto Wiyu saat Kosong, NWL, dan FWL Kondisi Gempa dengan Titik Pusat T3

C Urugan batu		=		0.00 ton/m ²		r		=		86.40 m						
C Filter		=		0.00 ton/m ²		θc		=		2.85 °						
C Inti		=		3.20 ton/m ²		e		=		0.140						
No.	Zona	b (m)	A (m ²)	γ (t/m ³)	W (t/m)	W _{tot} (t/m)	α (°)	sin α	cos α	T (t/m)	N (t/m)	Ne (t/m)	φ (°)	tan φ	(N - Ne) tan φ (t/m)	C.I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Urugan batu & rip-rap	4.000	5.014	1.750	8.774	8.774	-9.320	-0.162	0.987	-1.421	8.658	-0.199	37.000	0.754	6.675	
2	Urugan batu & rip-rap	4.000	13.940	1.750	24.396	25.420	-6.641	-0.116	0.993	-2.940	25.249	-0.412	37.000	0.754	19.337	
	Filter kasar		0.590	1.736	1.024								35.000	0.700	17.968	
3	Urugan batu & rip-rap	4.000	21.260	1.750	37.204	40.730	-3.977	-0.069	0.998	-2.825	40.632	-0.395	37.000	0.754	30.916	
	Filter kasar		2.031	1.736	3.525								35.000	0.700	28.727	
4	Urugan batu & rip-rap	4.000	28.532	1.750	49.931	54.742	-1.321	-0.023	1.000	-1.262	54.728	-0.177	37.000	0.754	41.373	
	Filter kasar		2.771	1.736	4.811								35.000	0.700	38.445	
5	Urugan batu & rip-rap	4.000	35.805	1.750	62.659	67.467	1.332	0.023	1.000	1.568	67.449	0.220	37.000	0.754	50.661	
	Filter kasar		2.770	1.736	4.809								35.000	0.700	47.074	
6	Urugan batu & rip-rap	4.000	42.900	1.750	75.075	78.593	3.897	0.068	0.998	5.341	78.411	0.748	37.000	0.754	58.524	
	Filter kasar		2.027	1.736	3.518								35.000	0.700	54.380	
7	Urugan batu & rip-rap	4.000	45.058	1.750	78.851	79.866	6.651	0.116	0.993	9.250	79.328	1.295	37.000	0.754	58.802	
	Filter kasar		0.585	1.736	1.015								35.000	0.700	54.640	
8	Urugan batu & rip-rap	4.000	45.287	1.750	79.252	79.252	9.330	0.162	0.987	12.848	78.203	1.799	37.000	0.754	57.575	
9	Urugan batu & rip-rap	4.000	49.258	1.750	86.202	86.202	12.030	0.208	0.978	17.966	84.309	2.515	37.000	0.754	61.636	
10	Urugan batu & rip-rap	4.000	52.720	1.750	92.260	92.260	14.757	0.255	0.967	23.500	89.217	3.290	37.000	0.754	64.750	
11	Urugan batu & rip-rap	4.000	55.362	1.750	96.883	96.883	17.518	0.301	0.954	29.162	92.390	4.083	37.000	0.754	66.544	
12	Urugan batu & rip-rap	4.000	57.148	1.750	100.009	100.009	20.323	0.347	0.938	34.734	93.784	4.863	37.000	0.754	67.007	
13	Urugan batu & rip-rap	4.000	58.035	1.750	101.561	101.561	23.179	0.394	0.919	39.975	93.363	5.596	37.000	0.754	66.137	
14	Urugan batu & rip-rap	4.000	57.967	1.750	101.441	101.441	26.098	0.440	0.898	44.625	91.099	6.247	37.000	0.754	63.940	
15	Urugan batu & rip-rap	4.000	56.873	1.750	99.528	99.528	29.091	0.486	0.874	48.390	86.972	6.775	37.000	0.754	60.433	
16	Urugan batu & rip-rap	4.000	54.667	1.750	95.666	95.666	32.174	0.532	0.846	50.942	80.975	7.132	37.000	0.754	55.645	
17	Urugan batu & rip-rap	4.000	51.234	1.750	89.660	89.660	35.365	0.579	0.815	51.894	73.116	7.265	37.000	0.754	49.622	
18	Urugan batu & rip-rap	4.000	46.431	1.750	81.253	81.253	38.688	0.625	0.781	50.790	63.423	7.111	37.000	0.754	42.435	
19	Urugan batu & rip-rap	4.000	40.060	1.750	70.106	70.106	42.174	0.671	0.741	47.068	51.956	6.589	37.000	0.754	34.186	
20	Urugan batu & rip-rap	4.000	23.573	1.750	41.253	55.633	45.863	0.718	0.696	39.927	38.742	5.590	37.000	0.754	24.982	
	Filter kasar		8.284	1.736	14.380								35.000	0.700	23.213	
	Urugan batu & rip-rap		3.234	1.750	5.659								37.000	0.754	15.005	
21	Filter halus	6.170	10.304	1.586	16.342	38.194	50.944	0.777	0.630	29.659	24.065	4.152	30.000	0.577	11.497	
	Filter kasar		6.788	1.736	11.784								35.000	0.700	13.943	
	Inti		3.305	1.334	4.409								21.420	0.392	7.812	
Jumlah																
											1396,069				1293,884	13.773
											529,192					13.773

Keterangan :

- Nomor irisan bidang lintur (nomor pias)
 - Jenis material tiap pias
 - Lebar tiap pias
 - Luasan menurut zona tiap pias
 - Berat tanah menurut zona tiap pias
 - Gaya berat tiap pias = (4) x (5)
 - Gaya berat total
 - Sudut yang dibentuk dari sumbu lingkaran ke masing-masing pias
 - Sin (8)
- Cos (8)
 - Beban komponen tangensial yang timbul pada tiap pias = (7) x (9)
 - Beban komponen vertikal yang timbul pada tiap pias = (7) x (10)
 - Sudut akibat pengaruh gempa e . $W \sin \alpha = e$. (11)
 - Tan (13)
 - $\{(11)-(12)\} \times (14)$
 - $C \times \theta_c \times 2\pi \times r$

360

Seluruh hasil rekapitulasi nilai SF pada analisis stabilitas lereng bendungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.60. Rekapitulasi Nilai SF pada Analisis Stabilitas Lereng Bendungan dengan Berbagai Macam Kondisi

Titik	Kondisi	Koef. Gempa	Angka Keamanan	FS Kritis		Keterangan	
				u/s	d/s	u/s	d/s
T1	Setelah Konstruksi (Kosong)	0	1.5	3.871	3.247	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0	1.5	4.814		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0	1.5	5.199		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0	1.2	2.614	-	aman	-
T2	Setelah Konstruksi (Kosong)	0	1.5	3.645	3.015	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0	1.5	4.478		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0	1.5	4.992		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0	1.2	2.629	-	aman	-
T3	Setelah Konstruksi (Kosong)	0	1.5	3.078	2.599	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0	1.5	4.380		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0	1.5	4.658		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0	1.2	2.407	-	aman	-
T1	Setelah Konstruksi (Kosong)	0.140	1.1	2.311	2.228	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0.140	1.1	1.935		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0.140	1.1	1.934		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0.140	1.1	1.363	-	aman	-
T2	Setelah Konstruksi (Kosong)	0.140	1.1	2.207	2.082	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0.140	1.1	1.827		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0.140	1.1	1.930		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0.140	1.1	1.304	-	aman	-
T3	Setelah Konstruksi (Kosong)	0.140	1.1	2.089	1.805	aman	aman
	NWL (el. +1240)	0.140	1.1	1.790		aman	
	FWL (el. +1242,16)	0.140	1.1	1.855		aman	
	Rapid Draw Down (el. +1240 to +1229)	0.140	1.1	1.288	-	aman	-

Sumber: Perhitungan

4.9. Analisa Rencana Anggaran Biaya Tubuh Bendungan Konto Wiyu

4.9.1. Perhitungan Volume Bendungan

Untuk menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) timbunan tubuh Bendungan Wiyu, terlebih dahulu harus menghitung volume timbunan dari masing-masing zona. Tubuh Bendungan Wiyu terdiri atas 5 zona diantaranya, Zona Timbunan Batu, Zona Timbunan Inti (*Core*), Zona *Filter* Kasar, Zona *Filter* Halus dan Rip-rap.

Perhitungan untuk timbunan inti:

Contoh pada pias 1:

Diketahui dari gambar:

$$\text{Luas} = 43,147 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang} = 11,421 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = \text{Luas} \times \text{Panjang}$$

$$= 43,147 \times 11,421$$

$$= 492,787 \text{ m}^3$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.61.

Tabel 4.61. Volume Timbunan Tiap Zona Material

Pias	Inti			Filter Halus			Filter Kasar			Batu			Rip- Rap				
	Luas m ²	Panjang m	Volume m ³	Luas m ²	Panjang m	Volume m ³	Luas m ²	Panjang m	Volume m ³	Luas m ²	Panjang m	Volume m ³	Luas m ²	Panjang m	Volume m ³		
1	43.147	11.421	492.787	9.707	11.421	110.862	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	81.173	41.954	3405.537	19.221	41.954	806.396	154.451	41.954	6479.809	534.030	41.954	22404.658	6.325	41.954	265.358		
3	74.347	61.148	4546.174	18.836	61.148	1151.814	8.000	61.148	489.186	604.429	61.148	36959.820	6.325	61.148	386.739		
4	67.520	84.102	5678.554	18.452	84.102	1551.830	8.000	84.102	672.814	525.504	84.102	44195.799	9.325	84.102	784.216		
5	60.693	106.289	6451.054	18.067	106.289	1920.352	8.000	106.289	850.315	404.515	106.289	42995.646	6.325	106.289	672.238		
6	53.867	119.519	6438.100	17.683	119.519	2113.408	8.000	119.519	956.153	328.526	119.519	39265.144	6.325	119.519	755.910		
7	47.040	132.399	6228.025	17.298	132.399	2290.229	8.000	132.399	1059.188	252.537	132.399	33435.573	6.325	132.399	837.368		
8	40.213	146.631	5896.512	16.913	146.631	2480.027	8.000	146.631	1173.047	176.549	146.631	25887.495	6.325	146.631	927.382		
9	33.387	161.068	5377.516	16.529	161.068	2662.254	8.000	161.068	1288.541	100.560	161.068	16196.958	6.325	161.068	1018.688		
10	23.613	176.164	4159.823	14.147	176.164	2492.233	5.840	176.164	1028.800	27.092	176.164	4772.575	10.908	176.164	1921.566		
Total			48674.082	Total			Total			Total			Total			Total	

4.9.2. Analisa BOQ (*Bill of Quantity*)

Berdasarkan atas desain dan gambar desain bendungan yang telah dilakukan, kemudian dihitung volume pekerjaan yang meliputi pekerjaan sebagai berikut:

- a. Galian pondasi waduk
- b. Timbunan waduk
- c. Penyelesaian puncak waduk

Dalam perhitungan volume pekerjaan ini, pekerjaan-pekerjaan yang dianalisa adalah pekerjaan-pekerjaan seperti pada Tabel 4.63.

Tabel 4.63. Perhitungan Volume Pekerjaan Bendungan Konto Wiyu

No.	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan
1	Galian pondasi bendungan - Galian Tanah - Timbunan Tanah	95964.04 130.20	m ³ m ³
2	Timbunan Waduk : - Timbunan Batu - Timbunan Tanah (<i>core</i>) - Timbunan <i>Filter</i> Kasar - Timbunan <i>Filter</i> Halus	266113.67 48674.08 13997.85 17579.40	m ³ m ³ m ³ m ³
3	Penyelesaian Puncak Waduk : - Riprap	7569.46	m ³

Sumber: Perhitungan

4.9.3. Analisa RAB (*Rencana Anggaran Biaya*)

Lingkup pekerjaan Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah sebagai berikut:

1. RAB dihitung berdasarkan kuantitas dan harga satuan pekerjaan.
2. Harga satuan pekerjaan dihitung berdasarkan hasil dari perhitungan suatu analisa biaya.
3. Untuk menentukan harga satuan upah dan bahan, menggunakan Standar Satuan Harga Tahun 2015.
4. Tidak dihitung biaya-biaya di luar dari biaya perhitungan volume bendungan.

Harga dasar yang digunakan dalam analisa harga satuan pekerjaan Bendungan Wiyu ini adalah berdasarkan Standar Satuan Harga Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur tahun 2015. Berdasarkan atas dasar harga satuan upah, bahan dan alat di atas maka dihitung harga satuan pekerjaan Bendungan Wiyu dengan memperhatikan atas lokasi, tempat serta penggunaan alat dan bahan. Jadi harga satuan yang dihitung ini adalah harga satuan setempat di lokasi Bendungan Wiyu.

Untuk analisa harga satuan pekerjaan tanah, yang dalam studi ini difokuskan pada pekerjaan galian tanah yang telah disesuaikan SNI 2835 : 2008 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Tanah, dapat dilihat pada Tabel 4.64.

Tabel 4.64. Analisa Harga Satuan Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah

Pekerjaan	Uraian	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Harga per-m ³ (Rp)
Menggali 1 m ³ tanah biasa sedalam 1 m	Pekerja	OH	0.750	75,000.00	56,250.00
	Mandor	OH	0.025	88,234.38	2,205.86
Jumlah					58,455.86
Mengurug kembali 1 m ³ tanah biasa sedalam 1 m	Pekerja	OH	0.250	75,000.00	18,750.00
	Mandor	OH	0.008	88,234.38	735.29
Jumlah					19,485.29

Sumber: Perhitungan

Contoh perhitungan harga per-m³ untuk pekerja:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Indeks Pekerja} &= 0,750 \\
 \text{Harga Satuan Pekerja} &= \text{Rp } 75.000,- \\
 \text{Harga per-m}^3 &= 0,750 \times 75000 \\
 &= 56.250,00 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan harga per-m³ untuk mandor:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Indeks Pekerja} &= 0,250 \\
 \text{Harga Satuan Pekerja} &= \text{Rp } 88.234,00,- \\
 \text{Harga per-m}^3 &= 0,250 \times 88234 \\
 &= 2.205,86 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Pada tabel berikut ini disajikan ringkasan harga satuan untuk jenis pekerjaan yang dilakukan.

Tabel 4.65. Standar Satuan Harga untuk Pekerjaan Bendungan Konto Wiyu

No.	Pekerjaan	Satuan	Biaya (Rp)
1	Galian Tanah	m ³	58,455.86
2	Timbunan Tanah	m ³	19,485.29
3	Timbunan Batu	m ³	189,621.28
4	Timbunan Zona Inti	m ³	84,200.00
5	Timbunan <i>Filter</i> Kasar	m ³	143,065.00
6	Timbunan <i>Filter</i> Halus	m ³	140,300.00

Sumber: Standar Satuan Harga Kabupaten Malang Tahun 2015

Perhitungan biaya timbunan bendungan dihitung berdasarkan kubikasi dari gambar desain Bendungan Wiyu yang terdiri atas timbunan batu dan rip-rap, timbunan inti, *filter* kasar, dan *filter* halus.

Contoh perhitungan galian tanah pondasi:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 95964,04 \text{ m}^3 \\
 \text{Harga Satuan} &= \text{Rp } 58.455,86,- \\
 \text{Total} &= \text{Volume} \times \text{Harga Satuan} \\
 &= 95964,04 \times 58455,86 \\
 &= 5.609.660.200,88 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Perhitungan timbunan tanah pondasi:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 130,20 \text{ m}^3 \\
 \text{Harga Satuan} &= \text{Rp } 19.485,29,- \\
 \text{Total} &= \text{Volume} \times \text{Harga Satuan} \\
 &= 130,20 \times 19485,29 \\
 &= 2.536.994,78 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Total biaya pekerjaan galian dan timbunan pada pondasi bendungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Total} &= 5.609.660.200,88 + 2.536.994,78 \\
 &= 5.162.197.195,67 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Perhitungan biaya total timbunan Bendungan Wiyu dapat dilihat pada tabel 4.66.

Tabel 4.66. Daftar Kuantitas dan Rencana Anggaran Biaya
Timbunan Tubuh Bendungan

No	Uraian Pekerjaan	Volume (m ³)	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pondasi Waduk : - Galian Tanah - Timbunan Tanah Sub Total :	95964.04 130.20	58,455.86 19,485.29	5,609,660,200.88 2,536,994.78 5,612,197,195.67
2	Timbunan Waduk : - Timbunan Batu - Timbunan Tanah (core) - Timbunan Filter Kasar - Timbunan Filter Halus Sub total :	266113.67 48674.08 13997.85 17579.40	189,621.28 84,200.00 143,065.00 140,300.00	50,460,814,238.68 4,098,357,677.11 2,002,602,999.50 2,466,390,497.88 59,028,165,413.17
3	Penyelesaian Puncak Waduk : - Riprap Sub Total :	7569.46	189,621.28	1,435,331,560.22 1,435,331,560.22
	TOTAL			66,075,694,169.05

Sumber: Perhitungan

Setelah dilakukan analisa harga satuan dan volume pekerjaan, maka didapatkan biaya pekerjaan timbunan Bendungan Wiyu sebesar **Rp 66.075.649.169,05,-** atau dibulatkan menjadi **Rp 66.075.649.170,-** (Enam Puluh Enam Milyar Tujuh Puluh Lima Juta Enam Ratus Empat Puluh Sembilan Ribu Seratus Tujuh Puluh Rupiah).