

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hidrologi

Sesuai dengan apa yang ada pada Bab II, pada pembahasan ini bahwa dalam mendesain suatu embung, maka dilakukan suatu analisis hidrologi. Analisis yang dilakukan yakni menghitung besarnya debit banjir rancangan guna untuk mendesain bangunan pelengkap dan dimensi embungnya serta debit andalan untuk memprediksi ketersediaan air *inflow* embung.

4.1.1 Data Curah Hujan

Data hujan yang digunakan didapat dari Dinas PU Kabupaten Toba Samosir. Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi didapat dari satu stasiun penakar hujan yakni stasiun balige yang berjarak \pm 2,15 km dari daerah tangkapan air rencana embung Bonan Dolok. Data hujan tersebut meliputi data hujan harian dengan periode pengamatan 10 tahun, mulai tahun 2006 sampai tahun 2015.

Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimal Tahunan DAS Bonan Dolok

| Tahun | CH (mm) |
|--------------|----------------|
| 2006 | 77,00 |
| 2007 | 112,00 |
| 2008 | 58,00 |
| 2009 | 50,00 |
| 2010 | 42,00 |
| 2011 | 83,00 |
| 2012 | 47,00 |
| 2013 | 144,00 |
| 2014 | 61,00 |
| 2015 | 58,00 |

Sumber: Data Perhitungan, 2017

4.1.2 Analisis Curah Hujan

4.1.1.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan dengan Metode RAPS

Data curah hujan yang digunakan dalam studi ini adalah mulai tahun 2006 sampai tahun 2015. Dalam kajian ini terlebih dahulu akan mengadakan uji konsistensi data yakni uji kesesuaian data pada stasiun curah hujan yang akan digunakan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Buishand, 1982 dalam Harto, 1993:59). Pengujian ini untuk memastikan kekonsistensianya guna mengetahui data tersebut apakah mengalami perubahan dikarenakan hal hal lain seperti: alat pernah rusak, lokasi alat terganggu, pemindahan lokasi, dll atau tidak.

Dari data curah hujan yang sudah ada, analisa pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun hujan itu sendiri, yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya. Dimana penyimpangan yang ada kemudian dikoreksi dengan tabel nilai statistik Q dan R. Hitungan uji konsistensi dalam studi ini menggunakan koreksi nilai statistik 90%, Sehingga apabila penyimpangan yang terjadi masih dalam batas statistik, yang ada, data tersebut bisa dikatakan konsisten. Perhitungan konsistensi data dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan dengan Metode RAPS

| No | Tahun | Curah Hujan | | Sk* | Sk* | Dy ² | Sk** | Sk** |
|---------------|-------|------------------|-------|------|---------|-----------------|-------|------|
| | | Maksimum (mm) | [1] | | | | | |
| | | | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | |
| 1 | 2006 | 77 | 3,8 | 3,8 | 1,444 | 0,124 | 0,124 | |
| 2 | 2007 | 112 | 38,8 | 38,8 | 150,544 | 1,263 | 1,263 | |
| 3 | 2008 | 58 | -15,2 | 15,2 | 23,104 | -0,495 | 0,495 | |
| 4 | 2009 | 50 | -23,2 | 23,2 | 53,824 | -0,755 | 0,755 | |
| 5 | 2010 | 42 | -31,2 | 31,2 | 97,344 | -1,016 | 1,016 | |
| 6 | 2011 | 83 | 9,8 | 9,8 | 9,604 | 0,319 | 0,319 | |
| 7 | 2012 | 47 | -26,2 | 26,2 | 68,644 | -0,853 | 0,853 | |
| 8 | 2013 | 144 | 70,8 | 70,8 | 501,264 | 2,305 | 2,305 | |
| 9 | 2014 | 61 | -12,2 | 12,2 | 14,884 | -0,397 | 0,397 | |
| 10 | 2015 | 58 | -15,2 | 15,2 | 23,104 | -0,495 | 0,495 | |
| Rerata | | 73,2 | | | | | | |
| Jumlah | | | | | 943,760 | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Keterangan: [1] = Data

$$[2] = [1] - \text{Rerata } [1]$$

$$[3] = | [2] |$$

$$[4] = [3]^2/n$$

$$[5] = [2]/(\sum Dy)^{0,5}$$

$$[6] = | Sk^{**} |$$

Langkah Perhitungan:

$$n = 10$$

$$Dy = 30,721$$

$$Sk^{**} \text{ Maks} = 2,305$$

$$Sk^{**} \text{ Min} = 0,124$$

$$Q = Sk^{**} \text{ Maks} = 2,305$$

$$R = Sk^{**} \text{ Maks} - Sk^{**} \text{ Min} = 2,305 - 0,124 = 2,181$$

$$Q/n^{0,5} = 2,305 / 10^{0,5}$$

$$= 0,729 < 1,05 \text{ OK!!!}$$

$$R/n^{0,5} = 2,181 / 10^{0,5}$$

$$= 0,690 < 1,21 \text{ OK!!!}$$

Dari perhitungan diatas didapat $Q/n^{0,5}$ dan $R/n^{0,5}$ yang nantinya dibandingkan dengan nilai kritis pada Tabel 2. yang ada di Bab II. Apabila nilai $Q/(n^{0,5})$ dan $R/(n^{0,5})$ lebih kecil dibandingkan $Q/(n^{0,5})_{\text{kritis}}$ dan $R/(n^{0,5})_{\text{kritis}}$ untuk beberapa tingkat kepercayaan (α).

Tabel 4.3 Hasil Uji Konsistensi RAPS Untuk Berbagai Tingkat Kepercayaan (α).

| α | $Q/(n^{0,5})_{\text{hitung}}$ | $Q/(n^{0,5})_{\text{kritis}}$ | Keterangan |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| 99% | | 1,29 | konsisten |
| 95% | 0,7288 | 1,14 | konsisten |
| 90% | | 1,05 | konsisten |

| α | $R/(n^{0,5})_{\text{hitung}}$ | $R/(n^{0,5})_{\text{kritis}}$ | Keterangan |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| 99% | | 1,38 | konsisten |
| 95% | 0,6897 | 1,28 | konsisten |
| 90% | | 1,21 | konsisten |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari Tabel 4.3 menunjukkan bahwa data curah hujan masih dalam batasan konsisten dan layak dipakai dalam perhitungan analisa hidrologi.

4.1.3 Distribusi Probabilitas

Menurut I Made Kamiana (2011;26), Dalam analisis Frekuensi data hujan atau data debit guna memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan, yaitu: Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III.

Dalam studi ini, perhitungan untuk curah hujan rancangan menggunakan analisis distribusi Log Pearson III, Normal, Log Normal, dan Gumbel, nantinya dari analisis tersebut akan dipilih mana yang paling sesuai dengan melakukan uji kesesuaian distribusi metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square. Untuk uji kesesuaian ini dilakukan guna mengetahui apakah analisis menggunakan distribusi Log Pearson dan juga Gumbel yang sebelumnya diterima atau tidak.

4.1.2.1 Distribusi Probabilitas Gumbel

Tabel 4.4 Perhitungan Parameter Statistik Gumbel

| No. | Tahun | Xi (mm/hari) | (Xi-X)² | (Xi-X)³ |
|----------------------------|-------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 2010 | 42 | 973,44 | -30371,328 |
| 2 | 2012 | 47 | 686,44 | -17984,728 |
| 3 | 2009 | 50 | 538,24 | -12487,168 |
| 4 | 2015 | 58 | 231,04 | -3511,808 |
| 5 | 2008 | 58 | 231,04 | -3511,808 |
| 6 | 2014 | 61 | 148,84 | -1815,848 |
| 7 | 2006 | 77 | 14,44 | 54,872 |
| 8 | 2011 | 83 | 96,04 | 941,192 |
| 9 | 2007 | 112 | 1505,44 | 58411,072 |
| 10 | 2013 | 144 | 5012,64 | 354894,912 |
| Jumlah | | 732 | 9437,6 | 344619,36 |
| Rerata Xi = Xrerata | | 73,2 | | |
| Sd | | 32,382 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Parameter Statistik:

a) Jumlahkan seluruh data hujan (X_i) selama 10 tahun

$$n = 10$$

$$\sum X = 732$$

b) Hitung nilai rata-rata (Xrerata)

$$X_{rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} = \frac{732}{10} = 73,2 \text{ mm}$$

b) Hitung nilai Standar Deviasi (Sd)

$$\begin{aligned} Sd &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X_{rerata})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{9437,6}{9}} = 32,382 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Gumbel

| No | Kala | | P (%) | Yt | K | Sd (mm/hari) | K*Sd | X rerata (mm/hari) | XT (mm/hari) |
|----|---------------|---------|----------|---------|--------|-----------------|------|-----------------------|-----------------|
| | Ulang (Tr) | (tahun) | | | | | | | |
| 1 | 2 | 50 | 0,3665 | -0,1355 | 32,382 | 4,388 | 73,2 | 68,812 | |
| 2 | 5 | 20 | 1,4999 | 1,0580 | 32,382 | 34,259 | 73,2 | 107,459 | |
| 3 | 10 | 10 | 2,2504 | 1,8481 | 32,382 | 59,847 | 73,2 | 133,047 | |
| 4 | 25 | 4 | 3,1985 | 2,8465 | 32,382 | 92,177 | 73,2 | 165,377 | |
| 5 | 50 | 2 | 3,9019 | 3,5872 | 32,382 | 116,161 | 73,2 | 189,361 | |
| 6 | 100 | 1 | 4,6001 | 4,3224 | 32,382 | 139,969 | 73,2 | 213,169 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Curah Hujan Rancangan:

a) Hitung K

Dengan jumlah data (n) didapat :

$Y_n = 0,4592$ (dari tabel Gumbel)

$S_n = 0,9497$ (dari tabel Gumbel)

Dengan Periode Ulang (Tr) = 5 tahun didapat:

$$Y_t = -\ln \left\{ \ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right\} = 0,1499$$

$$\text{Maka nilai } K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = 1,058$$

b) Hitung Nilai Hujan Rancangan untuk contoh perhitungan periode 5 tahun

$$X_5 = X_{rerata} + (Sd \times K)$$

$$= 73,2 + (32,382 \times 1,058)$$

$$= 107,459 \text{ mm}$$

4.1.2.2 Distribusi Probabilitas Log Pearson III

Tabel 4.6 Perhitungan Parameter Statistik Log Pearson III

| No. | Tahun | Xi (mm/hari) | Log Xi | (Log Xi - LogXrerata)² | (Log Xi - LogXrerata)³ |
|--------------------|-------|-------------------------|---------------|--|--|
| 1 | 2010 | 42 | 1,6232 | 0,0436 | -0,0091 |
| 2 | 2012 | 47 | 1,6721 | 0,0256 | -0,0041 |
| 3 | 2009 | 50 | 1,6990 | 0,0177 | -0,0024 |
| 4 | 2015 | 58 | 1,7634 | 0,0047 | -0,0003 |
| 5 | 2008 | 58 | 1,7634 | 0,0047 | -0,0003 |
| 6 | 2014 | 61 | 1,7853 | 0,0022 | -0,0001 |
| 7 | 2006 | 77 | 1,8865 | 0,0030 | 0,0002 |
| 8 | 2011 | 83 | 1,9191 | 0,0076 | 0,0007 |
| 9 | 2007 | 112 | 2,0492 | 0,0472 | 0,0103 |
| 10 | 2013 | 144 | 2,1584 | 0,1065 | 0,0348 |
| Jumlah | | 732,0 | 18,320 | 0,2627 | 0,0296 |
| logX rerata | | | 1,832 | | |
| Sd | | | 0,171 | | |
| Cs | | | 0,824 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Parameter Statistik:

- a) Jumlahkan seluruh data hujan (log Xi) selama 10 tahun

$$n = 10$$

$$\sum \log X_i = 18,32$$

- b) Hitung nilai rata-rata (logX rerata)

$$\log X_{\text{rerata}} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} = \frac{18,320}{10} = 1,832$$

- c) Hitung nilai Standar Deviasi (Sd)

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X_{\text{rerata}})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,2627}{9}} \\ &= 0,171 \end{aligned}$$

- d) Hitung Koefisien Kepencengen (Cs)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n \sum (\log X - \log X_{\text{rerata}})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \\ &= \frac{10 \times 0,0296}{9 \times 8 \times 0,171^3} \\ &= 0,824 \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Log Pearson III

| No | Kala Ulang | | P (%) | K | Sd log x | K*(Sd log x) | Log X rerata | Log XT | XT (mm/hari) |
|----|-----------------|-----|----------|-------|----------|---------------|-----------------|---------|-----------------|
| | (Tr) (tahun) | (%) | | | | | | | |
| 1 | 2 | 50 | -0,1358 | 0,171 | -0,023 | 1,832 | 1,809 | 64,381 | |
| 2 | 5 | 20 | 0,7774 | 0,171 | 0,133 | 1,832 | 1,965 | 92,208 | |
| 3 | 10 | 10 | 1,3367 | 0,171 | 0,228 | 1,832 | 2,060 | 114,902 | |
| 4 | 25 | 4 | 1,9990 | 0,171 | 0,342 | 1,832 | 2,173 | 149,098 | |
| 5 | 50 | 2 | 2,4638 | 0,171 | 0,421 | 1,832 | 2,253 | 179,010 | |
| 6 | 100 | 1 | 2,9092 | 0,171 | 0,497 | 1,832 | 2,329 | 213,293 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Curah Hujan Rancangan:

Untuk nilai $C_s = 0,824$ dan nilai $P_r = 20\%$, dari tabel distribusi Log Pearson III didapat nilai $K = 0,7774$

a) Hitung Nilai Hujan Rancangan periode 5 tahun

$$\begin{aligned} \text{Log } X_5 &= \text{Log } X \text{ rerata} + (K \times \text{Sd log } X) \\ &= 1,832 + (0,133) = 1,965 \\ X_5 &= 10^{1,965} = 92,208 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.1.2.3 Distribusi Probabilitas Normal

Tabel 4.8 Perhitungan Parameter Statistik Normal

| No. | Tahun | X_i (mm/hari) | $(X_i - \bar{X})^2$ | $(X_i - \bar{X})^3$ |
|---|-------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 2010 | 42 | 973,44 | -30371,328 |
| 2 | 2012 | 47 | 686,44 | -17984,728 |
| 3 | 2009 | 50 | 538,24 | -12487,168 |
| 4 | 2015 | 58 | 231,04 | -3511,808 |
| 5 | 2008 | 58 | 231,04 | -3511,808 |
| 6 | 2014 | 61 | 148,84 | -1815,848 |
| 7 | 2006 | 77 | 14,44 | 54,872 |
| 8 | 2011 | 83 | 96,04 | 941,192 |
| 9 | 2007 | 112 | 1505,44 | 58411,072 |
| 10 | 2013 | 144 | 5012,64 | 354894,912 |
| Jumlah | | 732 | 9437,6 | 344619,36 |
| Rerata $X_i = X_{rerata}$ | | 73,2 | | |
| Sd | | 32,382 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Parameter Statistik:

- b) Jumlahkan seluruh data hujan (X_i) selama 10 tahun

$$n = 10$$

$$\sum X = 732$$

- c) Hitung nilai rata-rata (X_{rerata})

$$X_{rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} = \frac{732}{10} = 73,2 \text{ mm}$$

- d) Hitung nilai Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rerata})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{9437,6}{9}} = 32,382$$

Tabel 4.9 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Normal

| No | Kala Ulang | | P (%) | K_T | S_d (mm/hari) | $K * S_d$ | X_{rerata} (mm/hari) | X_T (mm/hari) |
|----|------------|---------|----------|--------|--------------------|-----------|---------------------------|--------------------|
| | (Tr) | (tahun) | | | | | | |
| 1 | 2 | 50 | 0,0000 | 32,382 | 0,000 | 73,2 | 73,200 | |
| 2 | 5 | 20 | 0,8400 | 32,382 | 27,201 | 73,2 | 96,049 | |
| 3 | 10 | 10 | 1,2800 | 32,382 | 41,450 | 73,2 | 126,255 | |
| 4 | 25 | 4 | 1,7080 | 32,382 | 55,309 | 73,2 | 167,668 | |
| 5 | 50 | 2 | 2,0500 | 32,382 | 66,384 | 73,2 | 209,287 | |
| 6 | 100 | 1 | 2,3300 | 32,382 | 75,451 | 73,2 | 249,001 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Curah Hujan Rancangan:

- e) Hitung K

Berdasarkan Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss, untuk (contoh perhitungan) kala ulang $T = 5$ tahun didapat nilai $K_T = 0,84$

- f) Hitung Nilai Hujan Rancangan untuk contoh perhitungan periode 5 tahun

$$X_5 = X_{rerata} + (S_d \times K)$$

$$= 73,2 + (32,382 \times 0,84)$$

$$= 96,049 \text{ mm}$$

4.1.2.4 Distribusi Probabilitas Log Normal

Tabel 4.10 Perhitungan Parameter Statistik Log Normal

| No. | Tahun | Xi (mm/hari) | Log Xi | (Log Xi - LogXrerata)² | (Log Xi - LogXrerata)³ |
|--------------------|-------|-------------------------|---------------|--|--|
| 1 | 2010 | 42 | 1,6232 | 0,0436 | -0,0091 |
| 2 | 2012 | 47 | 1,6721 | 0,0256 | -0,0041 |
| 3 | 2009 | 50 | 1,6990 | 0,0177 | -0,0024 |
| 4 | 2015 | 58 | 1,7634 | 0,0047 | -0,0003 |
| 5 | 2008 | 58 | 1,7634 | 0,0047 | -0,0003 |
| 6 | 2014 | 61 | 1,7853 | 0,0022 | -0,0001 |
| 7 | 2006 | 77 | 1,8865 | 0,0030 | 0,0002 |
| 8 | 2011 | 83 | 1,9191 | 0,0076 | 0,0007 |
| 9 | 2007 | 112 | 2,0492 | 0,0472 | 0,0103 |
| 10 | 2013 | 144 | 2,1584 | 0,1065 | 0,0348 |
| Jumlah | | 732,0 | 18,320 | 0,2627 | 0,0296 |
| logX rerata | | | 1,832 | | |
| Sd | | | 0,171 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Parameter Statistik:

- a) Jumlahkan seluruh data hujan (log Xi) selama 10 tahun

$$n = 10$$

$$\sum \log X_i = 18,32$$

- b) Hitung nilai rata-rata (logX rerata)

$$\log X_{\text{rerata}} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} = \frac{18,320}{10} = 1,832$$

- c) Hitung nilai Standar Deviasi (Sd)

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X_{\text{rerata}})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,2627}{9}} \\ &= 0,171 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Log Normal

| No | Kala Ulang | | P (%) | K_T | Sd log x | $K^*(Sd \log x)$ | Log X rerata | Log Xt | Xt (mm/hari) |
|----|------------|---------|----------|-------|----------|------------------|--------------|---------|-----------------|
| | (Tr) | (tahun) | | | | | | | |
| 1 | 2 | 50 | 0,0000 | 0,171 | 0,000 | 1,832 | 1,832 | 67,915 | |
| 2 | 5 | 20 | 0,8400 | 0,171 | 0,144 | 1,832 | 1,975 | 94,508 | |
| 3 | 10 | 10 | 1,2800 | 0,171 | 0,219 | 1,832 | 2,051 | 112,367 | |
| 4 | 25 | 4 | 1,7080 | 0,171 | 0,292 | 1,832 | 2,124 | 132,971 | |
| 5 | 50 | 2 | 2,0500 | 0,171 | 0,350 | 1,832 | 2,182 | 152,119 | |
| 6 | 100 | 1 | 2,3300 | 0,171 | 0,398 | 1,832 | 2,230 | 169,832 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan Curah Hujan Rancangan:

- d) Berdasarkan Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss, untuk (contoh perhitungan) kala ulang T = 5 tahun didapat nilai $K_T = 0,84$
- e) Hitung Nilai Hujan Rancangan periode 5 tahun

$$\begin{aligned} \text{Log } X_5 &= \text{Log } X \text{ rerata} + (K \times \text{Sd log } X) \\ &= 1,832 + (0,144) \\ &= 1,975 \\ X_5 &= 10^{1,975} \\ &= 94,508 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan

| Periode Ulang T (tahun) | Hujan Rancangan (mm) | | | |
|----------------------------|----------------------|---------|------------|-----------------|
| | Gumbel | Normal | Log Normal | Log Pearson III |
| 2 | 68,812 | 73,200 | 67,915 | 64,381 |
| 5 | 107,459 | 96,049 | 94,508 | 92,208 |
| 10 | 133,047 | 126,255 | 112,367 | 114,902 |
| 25 | 165,377 | 167,668 | 132,971 | 149,098 |
| 50 | 189,361 | 209,287 | 152,119 | 179,010 |
| 100 | 213,169 | 249,001 | 169,832 | 213,293 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.1.4 Uji Distribusi Probabilitas

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, bahwa terdapat 2 metode pengujian distribusi probabilitas, yaitu Metode Chi-Square dan Metode Smirnov-Kolmogorof.

4.1.2.1 Metode Chi-Square

- a) Menghitung jumlah kelas

$$n = 10$$

$$\begin{aligned} \text{Kelas Distribusi (K)} &= 1 + 3,3 \log n \\ &= 1 + 3,3 \log 10 \\ &= 4,3 \sim 4 \text{ kelas} \end{aligned}$$

- b) Menghitung derajat kebebasan (Dk) dan X^2_{cr}

➢ Parameter (p) = 2

➢ Derajat Kebebasan (Dk) = $K - (p + 1) = 4 - (2 + 1) = 1$

➢ Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 10, $\alpha = 1\%$ dan Dk = 1 adalah 6,635 (dari tabel Chi Square)

➢ Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 10, $\alpha = 5\%$ dan Dk = 1 adalah 3,841 (dari tabel Chi Square)

➢ Batas Sebaran = $100\% / K = 100 / 4 = 25\%$

Tabel 4.13 Nilai Batas Minimum dan maksimum untuk Distribusi Gumbel

| Probabilitas | Tr | Yt | K | X |
|--------------|-------|--------|--------|--------|
| 75 | 1,333 | -0,327 | -0,866 | 45,159 |
| 50 | 2 | 0,367 | -0,136 | 68,812 |
| 25 | 4 | 1,246 | 0,791 | 98,797 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan P = 25% :

- a) Menghitung nilai Tr

$$P = 25\% \text{ diperoleh } T = 1/P = 1/0,25 = 4 \text{ tahun}$$

- b) Menghitung Yt

$$Yt = -\ln \left\{ \ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right\}$$

$$K = \frac{Yt - Yn}{Sn} = \frac{Yt - 0,495}{0,950}$$

Sehingga, $T = 4$; $Y_t = 1,246$; maka $K = 0,791$

$$\text{Nilai Xrerata} = 73,2$$

$$\text{Nilai Sd} = 32,382$$

c) Menghitung nilai X_4

$$\begin{aligned} X_4 &= X \text{ rerata} + (Sd \times K) \\ &= 73,2 + (32,382 \times 0,791) \\ &= 98,7970 \end{aligned}$$

Tabel 4.14 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Gumbel

| No | Batas Kelas | Jumlah Data | | Ef-Of | $(Ef-Of)^2/Ef$ |
|---------------|-----------------|-------------|-----------|----------------------|----------------|
| | | Ef | Of | | |
| 1 | 0,00 - 45,159 | 2,5 | 1 | 1,5 | 0,9 |
| 2 | 45,159 - 68,812 | 2,5 | 5 | -2,5 | 2,5 |
| 3 | 68,812 - 98,797 | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| 4 | 98,797 ~ | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| Jumlah | | 10 | 10 | Chi-Kuadrat = | 3,6 |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

Tabel 4.15 Nilai Batas Minimum dan maksimum untuk Distribusi Log-Pearson III

| Probabilitas | K | $K^*(Sd \log x)$ | Log X | X |
|--------------|--------|------------------|-------|--------|
| 75 | -0,736 | -0,126 | 1,706 | 50,851 |
| 50 | -0,136 | -0,023 | 1,809 | 64,381 |
| 25 | 0,625 | 0,107 | 1,939 | 86,849 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan $P = 25\%$:

$$\text{LogX rerata} = 1,832$$

$$Sd \log X = 0,171$$

$$Cs = 0,824$$

a) Dari Tabel Log Pearson III diperoleh $K = 0,625$

$$\begin{aligned} b) \text{ Menghitung nilai } X_4 &= \text{LogX rerata} + (K \times Sd \log X) \\ &= 1,832 + (0,107) \\ &= 86,849 \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Log-Pearson III

| No | Batas Kelas | Jumlah | | Ef-Of | (Ef-Of)²/Ef |
|---------------|--------------------|---------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| | | Ef | Of | | |
| 1 | 0,00 - 50,8512 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 |
| 2 | 50,8512 - 64,3811 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 |
| 3 | 64,3811- 86,8494 | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| 4 | 86,8494 ~ | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| Jumlah | | 10 | 10 | Chi-Kuadrat = | 0,4 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.17 Nilai Batas Minimum dan maksimum untuk Distribusi Normal

| Probabilitas | Tr | K_T | X |
|---------------------|-----------|----------------------|----------|
| 75 | 1,333 | -0,67 | 51,504 |
| 50 | 2 | 0 | 73,200 |
| 25 | 4 | 0,67 | 94,896 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan P = 25% :

a) Menghitung nilai Tr

$$P = 25\% \text{ diperoleh } T = 1/P = 1/0,25 = 4 \text{ tahun}$$

b) Menghitung K_T

Berdasarkan Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss, untuk (contoh perhitungan) kala ulang T = 4 tahun didapat nilai K_T = 0,67

c) Menghitung nilai X₄

$$\begin{aligned} X_4 &= X \text{ rerata} + (Sd \times K_T) \\ &= 73,2 + (32,382 \times 0,67) \\ &= 94,896 \end{aligned}$$

Tabel 4.18 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Normal

| No | Batas Kelas | Jumlah Data | | Ef-Of | (Ef-Of)²/Ef |
|---------------|--------------------|--------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| | | Ef | Of | | |
| 1 | 0,00 - 51,504 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 |
| 2 | 51,504 - 73,2 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 |
| 3 | 73,2 - 94,896 | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| 4 | 94,896 ~ | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 |
| Jumlah | | 10 | 10 | Chi-Kuadrat = | 0,4 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.19 Nilai Batas Minimum dan maksimum untuk Distribusi Log Normal

| Probabilitas | K _T | K*(Sd log x) | Log X | X |
|--------------|----------------|---------------|-------|--------|
| 75 | -0,670 | -0,114 | 1,718 | 52,180 |
| 50 | 0,000 | 0,000 | 1,832 | 67,915 |
| 25 | 0,670 | 0,114 | 1,946 | 88,395 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Langkah Perhitungan P = 25% :

$$\text{LogX rerata} = 1,832$$

$$\text{Sd Log X} = 0,171$$

a) Menghitung KT

Berdasarkan Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss, untuk (contoh perhitungan) kala ulang T = 4 tahun didapat nilai KT = 0,67

$$\begin{aligned} \text{b) Menghitung nilai } X_4 &= \text{LogX rerata} + (K_T \times \text{Sd logX}) \\ &= 1,832 + (0,67) \\ &= 88,395 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Log Normal

| No | Batas Kelas | Jumlah | | Ef-Of | $(\text{Ef-Of})^2/\text{Ef}$ | | |
|---------------|----------------|-----------|-----------|----------------------|------------------------------|--|--|
| | | Data | | | | | |
| | | Ef | Of | | | | |
| 1 | 0,00 - 52,18 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 | | |
| 2 | 52,18 - 67,915 | 2,5 | 3 | -0,5 | 0,1 | | |
| 3 | 67,915- 88,395 | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 | | |
| 4 | 88,395 ~ | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,1 | | |
| Jumlah | | 10 | 10 | Chi-Kuadrat = | 0,4 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.21 Rekapitulasi Hasil Uji Chi-Square

| Distribusi | Frekuensi | Peluang | Uji Chi-Square | | |
|-----------------|-----------|---------|----------------|----------------|------------|
| | | | Chi-Kritik | X ² | Keterangan |
| Gumbel | | 1% | 6,635 | 3,6 | Diterima |
| | | 5% | 3,841 | | |
| Log Pearson III | | 1% | 6,635 | 0,4 | Diterima |
| | | 5% | 3,841 | | |
| Normal | | 1% | 6,635 | 0,4 | Diterima |
| | | 5% | 3,841 | | |
| Log Normal | | 1% | 6,635 | 0,4 | Diterima |
| | | 5% | 3,841 | | |

Chi Kritik > X², maka data diterima

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.1.2.2 Metode Smirnov-Kolmogorov

Tabel 4.22 Perhitungan uji distibusi Gumbel dengan Metode Smirnov-Kolmogorof

| No [1] | Xi [2] | P(Xi) [3] | f(t) [4] | Yt [5] | P'(Xi) [6] | ΔP [7] |
|-----------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------|----------------------|------------------|
| 1 | 144 | 0,091 | 2,186 | 2,572 | 0,069 | -0,022 |
| 2 | 112 | 0,182 | 1,198 | 1,633 | 0,170 | -0,012 |
| 3 | 83 | 0,273 | 0,303 | 0,783 | 0,313 | 0,040 |
| 4 | 77 | 0,364 | 0,117 | 0,607 | 0,363 | -0,001 |
| 5 | 61 | 0,455 | -0,377 | 0,137 | 1,115 | 0,661 |
| 6 | 58 | 0,545 | -0,469 | 0,049 | 3,101 | 2,556 |
| 7 | 58 | 0,636 | -0,469 | 0,049 | 3,101 | 2,465 |
| 8 | 50 | 0,727 | -0,716 | -0,185 | -0,827 | -1,555 |
| 9 | 47 | 0,818 | -0,809 | -0,273 | -0,561 | -1,379 |
| 10 | 42 | 0,909 | -0,963 | -0,420 | -0,438 | -1,347 |
| Jumlah | 732 | | | | | |
| rerata | 73,2 | | | | | |
| Simpangan baku | 32,382 | | | Δmaks | | 2,556 |
| Yn | 0,495 | | | | | |
| Sn | 0,950 | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Keterangan Tabel 4.21

- Kolom [1] = nomor urut data
- Kolom [2] = data hujan diurut dari besar ke kecil (mm)
- Kolom [3] = peluang empiris yang dihitung dengan persamaan Weibull
- Kolom [4] = (contoh kolom 5 baris 1)

$$K_T = f(t) = (X_i - \bar{X}) / S_d X$$

$$f(t) = (144 - 73,2) / 32,382$$

$$= 2,186$$

- Kolom [5]

Contoh angka pada kolom 6 baris 1:

$f(t) = 1,911$ dan $Y_n = 0,495$ serta $S_n = 0,950$ maka didapat nilai $Y_t = 2,572$

- Kolom [6]

Berdasarkan nilai interpolasi dari Tabel Nilai Reduced Variate, Y_t dapat dihitung $T = 14,462$ tahun, sehingga peluang teoritis $P'(X_i) = 1 / T = 1 / 14,462 = 0,069$

- Kolom [7] = kolom [6] – kolom [3]

$$= 0,069 - 0,091 = -0,022$$

Dari Tabel diatas didapatkan ΔP maksimum = 2,556 dan derajat kebebasan 5% dengan $\Delta P_{cr} = 0,41$ jadi ΔP maksimum > ΔP_{cr} maka, distribusi Log Pearson III ditolak untuk menganalisis data hujan.

Tabel 4.23 Perhitungan uji distibusi Log-Pearson III dengan Metode Smirnov-Kolmogorof

| No [1] | X_i [2] | $P(X_i)$ [3] | $\log X$ [4] | $f(t)$ [5] | $P'(X_i)$ [6] | ΔP [7] |
|-----------------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|-------------------|
| 1 | 144 | 0,091 | 2,158 | 1,911 | 0,048 | -0,043 |
| 2 | 112 | 0,182 | 2,049 | 1,272 | 0,112 | -0,070 |
| 3 | 83 | 0,273 | 1,919 | 0,510 | 0,288 | 0,015 |
| 4 | 77 | 0,364 | 1,886 | 0,319 | 0,351 | -0,013 |
| 5 | 61 | 0,455 | 1,785 | -0,273 | 0,545 | 0,091 |
| 6 | 58 | 0,545 | 1,763 | -0,401 | 0,587 | 0,042 |
| 7 | 58 | 0,636 | 1,763 | -0,401 | 0,587 | -0,049 |
| 8 | 50 | 0,727 | 1,699 | -0,778 | 0,711 | -0,016 |
| 9 | 47 | 0,818 | 1,672 | -0,936 | 0,763 | -0,055 |
| 10 | 42 | 0,909 | 1,623 | -1,222 | 0,857 | -0,052 |
| Jumlah | | 18,320 | | | | |
| Log X rerata | | 1,8320 | | | | |
| Simpangan baku | | 0,171 | | | Δ_{maks} | 0,091 |
| Cs | | 0,824 | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Keterangan Tabel 4.22

- Kolom [1] = nomor urut data
- Kolom [2] = data hujan diurut dari besar ke kecil (mm)
- Kolom [3] = peluang empiris yang dihitung dengan persamaan Weibull
- Kolom [4] = distribusi probabilitas Log Pearson III
- Kolom [5] = (contoh kolom 5 baris 1)
 $K_T = f(t) = (\log X_i - \log X_{rerata}) / Sd \log X$
 $f(t) = (144 - 1,832) / 0,171$
 $= 1,911$
- Kolom [6] = ditentukan dari nilai Cs dan f(t) pada Tabel Frekuensi K_T untuk Distribusi Log Pearson III (Lampiran)
Contoh angka pada kolom 6 baris 1:
 $f(t) = 1,911$ dan $Cs = 0,824$ diperoleh presentasi peluang teoritis terlampaui $P'(X)$ dengan cara interpolasi nilai = 0,048

- Kolom [7] = kolom [6] – kolom [3]
= 0,048 – 0,091 = -0,043

Dari Tabel diatas didapatkan ΔP maksimum = 0,091 dan derajat kebebasan 5% dengan ΔP_{cr} = 0,41 jadi ΔP maksimum < ΔP_{cr} maka, distribusi Log Pearson III diterima untuk menganalisis data hujan.

Tabel 4.24 Perhitungan uji distibusi Normal dengan Metode Smirnov-Kolmogorof

| No [1] | Xi [2] | P(Xi) [3] | f(t) [4] | P'(Xi) [5] | ΔP [6] |
|-----------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|
| 1 | 144 | 0,091 | 2,186 | 0,013 | -0,078 |
| 2 | 112 | 0,182 | 1,198 | 0,106 | -0,076 |
| 3 | 83 | 0,273 | 0,303 | 0,362 | 0,090 |
| 4 | 77 | 0,364 | 0,117 | 0,434 | 0,070 |
| 5 | 61 | 0,455 | -0,377 | 0,665 | 0,210 |
| 6 | 58 | 0,545 | -0,469 | 0,698 | 0,153 |
| 7 | 58 | 0,636 | -0,469 | 0,698 | 0,062 |
| 8 | 50 | 0,727 | -0,716 | 0,778 | 0,051 |
| 9 | 47 | 0,818 | -0,809 | 0,805 | -0,013 |
| 10 | 42 | 0,909 | -0,963 | 0,844 | -0,065 |
| Jumlah | 732 | | | | |
| rerata | 73,2 | | | Δmaks | 0,210 |
| Simpangan baku | 32,382 | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Keterangan Tabel 4.23

- Kolom [1] = nomor urut data
- Kolom [2] = data hujan diurut dari besar ke kecil (mm)
- Kolom [3] = peluang empiris yang dihitung dengan persamaan Weibull
- Kolom [4] = (contoh kolom 5 baris 1)

$$K_T = f(t) = (X_i - X_{\text{rerata}}) / S_d \text{ Log } X$$

$$f(t) = (144 - 73,2) / 32,382$$

$$= 2,186$$
- Kolom [5] = peluang teoritis = 1- luas dibawah kurva normal sesuai dengan nilai f(t) yang ditentukan dengan Tabel Luas Wilayah dibawah Kurva Normal.

Contoh angka pada kolom 6 baris 1:

$f(t) = 1,911$ maka luas wilayah dibawah kurva normal adalah $0,9875$ sehingga nilai kolom $= 1 - 0,975 = 0,0127$

- Kolom [6] $= \text{kolom [5]} - \text{kolom [3]}$
 $= 0,0127 - 0,091 = -0,078$

Dari Tabel diatas didapatkan $\Delta P_{\text{maksimum}} = 0,2105$ dan derajat kebebasan 5% dengan $\Delta P_{cr} = 0,41$ jadi $\Delta P_{\text{maksimum}} < \Delta P_{cr}$ maka, distribusi Log Pearson III diterima untuk menganalisis data hujan.

Tabel 4.25 Perhitungan uji distibusi Log Normal dengan Metode Smirnov-Kolmogorof

| No [1] | X [2] | P(Xi) [3] | log X [4] | f(t) [5] | P'(Xi) [6] | ΔP [7] |
|-----------------------|----------|---------------|--------------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| 1 | 144 | 0,091 | 2,158 | 1,911 | 0,025 | -0,066 |
| 2 | 112 | 0,182 | 2,049 | 1,272 | 0,093 | -0,088 |
| 3 | 83 | 0,273 | 1,919 | 0,510 | 0,288 | 0,015 |
| 4 | 77 | 0,364 | 1,886 | 0,319 | 0,356 | -0,007 |
| 5 | 61 | 0,455 | 1,785 | -0,273 | 0,627 | 0,172 |
| 6 | 58 | 0,545 | 1,763 | -0,401 | 0,638 | 0,092 |
| 7 | 58 | 0,636 | 1,763 | -0,401 | 0,638 | 0,001 |
| 8 | 50 | 0,727 | 1,699 | -0,778 | 0,796 | 0,069 |
| 9 | 47 | 0,818 | 1,672 | -0,936 | 0,838 | 0,019 |
| 10 | 42 | 0,909 | 1,623 | -1,222 | 0,898 | -0,011 |
| Jumlah | | 18,320 | | | | |
| Log X rerata | | 1,832 | | Δmaks | | 0,172 |
| Simpangan baku | | 0,171 | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Keterangan Tabel 4.24

- Kolom [1] $=$ nomor urut data
 - Kolom [2] $=$ data hujan diurut dari besar ke kecil (mm)
 - Kolom [3] $=$ peluang empiris yang dihitung dengan persamaan Weibull
 - Kolom [4] $=$ distribusi probabilitas Log Normal
 - Kolom [5] $=$ (contoh kolom 5 baris 1)
- $K_T = f(t) = (\text{Log } X_i - \text{Log } X_{\text{rerata}}) / Sd \text{ Log } X$
 $f(t) = (144 - 1,832) / 0,171$
 $= 1,911$

- Kolom [6] = peluang teoritis = 1 - luas dibawah kurva normal sesuai dengan nilai $f(t)$ yang ditentukan dengan Tabel Luas Wilayah dibawah Kurva Normal.

Contoh angka pada kolom 6 baris 1:

$f(t) = 1,911$ maka luas wilayah dibawah kurva normal adalah 0,975 sehingga nilai kolom = 1 - 0,975 = 0,025

- Kolom [7] = kolom [6] - kolom [3]
= 0,025 - 0,091 = -0,066

Dari Tabel diatas didapatkan $\Delta P_{maksimum} = 0,172$ dan derajat kebebasan 5% dengan $\Delta P_{cr} = 0,41$ jadi $\Delta P_{maksimum} < \Delta P_{cr}$ maka, distribusi Normal **diterima** untuk menganalisis data hujan.

Tabel 4.26 Rekapitulasi Hasil Uji Probabilitas Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov

| Jenis Distribusi | X^2_{hitung} | Δp_{max} | Uji Chi Square | | Uji Smirnov-Kolmogorov | |
|------------------|----------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | $\alpha = 1\%$ $X^2_{cr} = 6,635$ | $\alpha = 5\%$ $X^2_{cr} = 3,841$ | $\alpha = 1\%$ $X^2_{cr} = 0,49$ | $\alpha = 5\%$ $X^2_{cr} = 0,41$ |
| Gumbel | 3,6 | 2,55 | diterima | diterima | ditolak | ditolak |
| Log Pearson III | 0,4 | 0,09 | diterima | diterima | diterima | diterima |
| Normal | 0,4 | 0,21 | diterima | diterima | diterima | diterima |
| Log Normal | 0,4 | 0,17 | diterima | diterima | diterima | diterima |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari hasil perhitungan berdasarkan tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa metode yang paling tepat dalam menganalisis hujan rancangan berdasarkan angka simpangan yang terkecil yang didapat adalah **Metode Log Perason III**.

4.1.5 Distribusi Hujan Jam-jaman Metode PSA 007

Dalam perhitungan hujan jam – jaman dengan metode PSA 007 (Genta) dimana hujan tertinggi ditempatkan di tengah, tertinggi kedua di sebelah kiri, tertinggi ketiga di sebelah kanan dan seterusnya. Berdasarkan hasil pengamatan di Indonesia, hujan terpusat berkisar antara 5 – 6 jam. Oleh karena itu intensitas hujan disesuaikan durasinya menjadi 6 jam

4.1.5.1 Perhitungan Rasio Hujan Jam-jaman

Tabel 4.27 Perhitungan Prosentase Intensitas Hujan Setiap Kala Ulang Durasi 24 jam

| Kala Ulang | Durasi Hujan (%) | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 jam | 2 jam | 3 jam | 4 jam | 5 jam | 6 jam | 8 jam | 12 jam | 16 jam | 20 jam | 24 jam |
| 2 | 49.8 | 60.2 | 67.2 | 71.2 | 75.2 | 79.2 | 82.1 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 5 | 48.0 | 59.0 | 66.0 | 70.0 | 74.0 | 78.0 | 81.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 10 | 45.0 | 57.0 | 64.0 | 68.0 | 72.0 | 76.0 | 80.0 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 25 | 43.0 | 55.0 | 63.0 | 67.0 | 71.0 | 75.0 | 79.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 50 | 42.0 | 53.0 | 61.0 | 65.0 | 69.0 | 73.0 | 78.0 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 100 | 41.0 | 52.0 | 60.0 | 64.0 | 68.0 | 72.0 | 77.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 200 | 40.8 | 51.7 | 59.7 | 63.7 | 67.7 | 71.7 | 77.1 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 1000 | 39.0 | 49.0 | 57.0 | 61.0 | 65.0 | 69.0 | 75.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.28 Perhitungan Prosentase Intensitas Hujan Durasi 6 jam

| Kala Ulang | Durasi Hujan (%) | | | | | |
|---------------|------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| | 1(jam 4) | 2 (jam 8) | 3 (jam 12) | 4 (jam 16) | 5 (jam 20) | 6 (jam 24) |
| 2 | 71.2 | 82.1 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 5 | 70.0 | 81.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 10 | 68.0 | 80.0 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 25 | 67.0 | 79.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 50 | 65.0 | 78.0 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 100 | 64.0 | 77.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 200 | 63.7 | 77.1 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |
| 1000 | 61.0 | 75.3 | 88.0 | 92.0 | 96.0 | 100.0 |

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Contoh Perhitungan :

1. Prosentase intensitas hujan jam ke-1,2,3,4,5,6 pada durasi 6 jam = $24/6 = 4$ jam.
2. Untuk jam ke-1 di durasi 6 jam = jam ke – 4 di durasi 24 jam
3. Untuk jam ke-2 di durasi 6 jam = jam ke – 8 di durasi 24 jam
4. Untuk jam ke-3 di durasi 6 jam = jam ke – 12 di durasi 24 jam
5. Untuk jam ke-4 di durasi 6 jam = jam ke – 16 di durasi 24 jam
6. Untuk jam ke-5 di durasi 6 jam = jam ke – 20 di durasi 24 jam
7. Untuk jam ke-6 di durasi 6 jam = jam ke – 24 di durasi 24 jam

Tabel 4.29 Distribusi Hujan Netto Durasi 6 jam Metode PSA 007 (dalam %)

| No | Jam Ke | Kala Ulang | | | | | | | |
|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | 1000 |
| 1 | 1.0 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| 2 | 2.0 | 10.93 | 11.33 | 12.00 | 12.33 | 13.00 | 13.33 | 13.44 | 14.33 |
| 3 | 3.0 | 71.20 | 70.00 | 68.00 | 67.00 | 65.00 | 64.00 | 63.67 | 61.00 |
| 4 | 4.0 | 5.87 | 6.67 | 8.00 | 8.67 | 10.00 | 10.67 | 10.89 | 12.67 |
| 5 | 5.0 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| 6 | 6.0 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Jumlah | | 100.00 |

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Contoh perhitungan pada kala ulang 2 tahun

1. Letakkan prosentase intensitas hujan jam ke-1 pada (Tabel 4.27) pada jam ke-3 pada (Tabel 4.28) untuk menentukan hujan tertinggi pertama,
2. Mengurangi prosentase jam ke-2 dengan jam ke-1 (Tabel 4.27)

Hujan tertinggi kedua = jam ke-2 – jam ke-1

$$= 82,10\% - 71,20\% = 10,93\%$$

3. Mengurangi prosentase jam ke-3 dengan jam ke-2

Hujan tertinggi ketiga = jam ke-3 – jam ke-2

$$= 88,00\% - 82,10\% = 5,87\%$$

4. Mengurangi prosentase jam ke-4 dengan jam ke-3

Hujan tertinggi keempat = jam ke-4 – jam ke-3

$$= 92,00\% - 88,00\% = 4,00\%$$

5. Mengurangi prosentase jam ke-5 dengan jam ke-4

Hujan tertinggi kelima = jam ke-5 – jam ke-4

$$= 96,00\% - 92,00\% = 4,00\%$$

6. Mengurangi prosentase jam ke-6 dengan jam ke-5

Hujan tertinggi keenam = jam ke-6 – jam ke-5

$$= 100,00\% - 96,00\% = 4,00\%$$

7. Mengurutkan prosentase hujan dengan prosentase hujan tertinggi diletakkan di tengah yaitu 71,20%, selanjutnya hujan tertinggi kedua diletakkan diletakkan di kiri (atasnya hujan tertinggi) yaitu 10,93% (10,93%, 71,20%), selanjutnya hujan tertinggi ketiga diletakkan diletakkan di kanan (bawahnya hujan tertinggi pertama) yaitu 5,87% (10,93%, 71,20%, 5,87%), selanjutnya hujan tertinggi keempat diletakkan diletakkan di kiri (atasnya hujan tertinggi kedua) yaitu 4,00% (4,00%, 10,93%, 71,20%, 5,87%), selanjutnya hujan tertinggi kelima diletakkan diletakkan di kanan (bawahnya hujan tertinggi keempat) yaitu 4,00% (4,00%, 10,93%, 71,20%, 5,87%, 4,00%).

8. Jumlah dari jam 1 sampai jam 6 harus 100% setiap kala ulang.

Tabel 4.30 Rasio Sebaran Hujan

| Jam Ke | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|------|-------|-------|------|------|------|
| Curah Hujan (%) | 4,00 | 10,93 | 71,20 | 5,87 | 4,00 | 4,00 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.1.5.2 Perhitungan Distribusi Hujan

Berdasarkan uji kesesuaian distribusi, analisis distribusi yang terpilih adalah distribusi Log Pearson III.

Tabel 4.31 Hujan Rancangan Log Pearson III

| Tr | R rancangan |
|-----|-------------|
| 2 | 64,381 |
| 5 | 92,208 |
| 10 | 114,902 |
| 25 | 149,098 |
| 50 | 179,010 |
| 100 | 213,293 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Sedangkan koefisien pengaliran diperoleh dengan menjumlahkan harga C dari masing-masing faktor berdasarkan karakteristik DAS, yaitu:

Tabel 4.32. Harga Komponen C oleh Faktor Intensitas Hujan

| Intensitas Hujan (mm/jam) | Cp |
|---------------------------|------|
| < 25 | 0.05 |
| 25- 50 | 0.15 |
| 50 -75 | 0.25 |
| > 75 | 0.30 |

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung (1997:4.23)

Tabel 4.33. Harga Komponen C oleh Faktor Topografi

| Keadaan topografi | Kemiringan m/km | Ct |
|----------------------|-----------------|------|
| Curam dan tidak rata | 200 | 0.10 |
| Berbukit-bukit | 100-200 | 0.05 |
| Landai | 50-100 | 0.00 |
| Hampir datar | 0-50 | 0.00 |

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung (1997:4.24)

Tabel 4.34. Harga Komponen C oleh Faktor Tampungan Permukaan

| Tampungan Permukaan | Co |
|--|------|
| 1. Daerah pengaliran yang curam, sedikit despresi permukaan | 0.10 |
| 2. Daerah pengaliran yang sempit dengan sistem teratur | 0.05 |
| 3. Tampungan dan aliran permukaan yang berarti; terdapat kolam | 0.05 |
| 4. Sungai berkelok-kelok dengan usaha pelestarian lahan | 0.00 |

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung (1997:4.24)

Tabel 4.35. Harga Komponen C oleh Faktor Infiltrasi

| Kemampuan Infiltrasi Tanah | K (cm/dt) | D.1.Cs |
|---|---------------------|---------------|
| Infiltrasi besar (tidak terdapat penutup lahan) | $< 10^{-5}$ | 0.25 |
| Infiltrasi lambat (lempung) | $10^{-5} - 10^{-6}$ | 0.20 |
| Infiltrasi sedang (loam) | $10^{-3} - 10^{-4}$ | 0.10 |
| Infiltrasi cepat (pasir tebal, tanah beragregat baik) | $> 10^{-3}$ | 0.05 |

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung (1997:4.24)

Tabel 4.36. Harga Komponen C oleh Faktor Penutup Lahan

| Keadaan topografi | Cc |
|---|-----------|
| 1. Tidak terdapat tanaman yang efektif | 0.25 |
| 2. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 10% | 0.20 |
| 3. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 50%, ditanami atau banyak pepohonan | 0.10 |
| 4. Terdapat padang rumput yang baik sebesar 90%, hutan | 0.05 |

Sumber : Pedoman Kriteria Desain Embung (1997:4.24)

Tabel 4.37. Rekapitulasi Nilai C

| Koefisien | Nilai |
|------------------|--------------|
| Cp | 0,30 |
| Ct | 0,05 |
| Co | 0,05 |
| Cs | 0,10 |
| Cc | 0,10 |
| Jumlah | 0,60 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil perhitungan karakteristik DAS, nilai C diperoleh 0,60. Dengan asumsi rata-rata hujan di Indonesia berdurasi 6 jam, maka perhitungan distribusi hujan jam-jaman sebagai berikut:

Tabel 4.38 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-jaman PSA 007

| Jam ke- | Hujan jam-jaman (mm/jam) | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 1 | 1,557 | 2,230 | 2,779 | 3,606 | 4,329 | 5,158 |
| 2 | 4,256 | 6,318 | 8,337 | 11,118 | 14,070 | 17,194 |
| 3 | 27,715 | 39,025 | 47,240 | 60,398 | 70,350 | 82,533 |
| 4 | 2,284 | 3,717 | 5,558 | 7,813 | 10,823 | 13,756 |
| 5 | 1,557 | 2,230 | 2,779 | 3,606 | 4,329 | 5,158 |
| 6 | 1,557 | 2,230 | 2,779 | 3,606 | 4,329 | 5,158 |
| Hujan Rancangan (mm/hari) | 64,381 | 92,208 | 114,902 | 149,098 | 179,010 | 213,293 |
| Koef Pengaliran (C) | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 |
| Hujan efektif | 38,629 | 55,325 | 68,941 | 89,459 | 107,406 | 127,976 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Contoh Perhitungan :

- a) Perhitungan hujan efektif kala ulang 2th:

$$\begin{aligned}\text{Hujan efektif (2 th)} &= R_{\text{rancangan}} \times C \\ &= 64,381 \times 0,60 \\ &= 38,629 \text{ mm}\end{aligned}$$

- b) Faktor Reduksi Das untuk DAS Aek Simare 2,32 km² didapatkan nilai sebesar 1,008

Hujan jam-jaman kala ulang 2 tahun, pada jam ke-1

$$R_1 = 4\% \times 64,381 \times 1,008 \times 0,6 = 1,557 \text{ mm/jam}$$

4.1.5 Hidrograf Satuan Sintetis

HSS adalah hidrograf satuan yang diturunkan berdasarkan data sungai pada DAS yang sama atau DAS terdekat tetapi memiliki karakteristik yang sama. Untuk sungai-sungai yang tidak mempunyai hidrograf banjir pengamatan, biasanya digunakan hidrograf-hidrograf sintetis yang telah dikembangkan di negara-negara lain yang parameter-parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau. Sehubungan tidak adanya hidrograf banjir pengamatan di sungai Bonan Dolok, maka dalam studi ini dalam mendapatkan nilai dari debit banjir menggunakan pendekatan dengan rumus empiris yakni hidrograf satuan sintetis.

Dalam studi ini, hidrograf satuan sintetis yang digunakan yakni menggunakan 3 metode yakni. HSS Gamma 1. HSS Nakayasu, dan HSS Snyder. Dari ketiga metode tersebut nantinya diambil dari nilai yang terbesar di antara ketiga metode dan dijadikan sebagai angka aman dalam mendesain debit banjir pada studi ini.

a. HSS Gama 1

1. Data Karakteristik DAS

- Luas DAS (CA) = 2,32 km²
- Panjang sungai utama (L) = 2,01 km
- Slope Sungai (S) = 0,006
- SF = L1/LN
= 0,79
- SN = P1/PN
= 0,7
- WF = Wu/W1
= 0,72
- RUA = Au/A
= 0,55

- SIM = (WF x RUA)
= 0,39
- D = LN/A
= 0,87
- JN = 6

2. Perhitungan Ordinat HSS Gama 1

- TR = 0,43[L/(100SF)]³ + 1,0665SIM + 1,2775
= 1,70 jam
= 2 jam
- TB = 27,4132 Tr^{0,1475} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574}
= 32,330
= 32 jam
- Qp = 0,1836A^{0,5886} Tr^{-0,4008} JN^{0,2381}
= 0,373 m³/dt/mm
- K = 0,5617A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452}
= 1,782
- Qt = Qp · e^{-(t-TR)/K}
= 0,314 m³/dt/mm

Tabel 4.39 Ordinat HSS Metode Gama 1

| t (jam) | Q (m³/dt/mm) |
|--------------------|------------------------------------|
| 0,00 | 0,000 |
| 1,00 | 0,220 |
| 1,70 | 0,373 Q _p |
| 2,00 | 0,314 |
| 3,00 | 0,179 |
| 4,00 | 0,102 |
| 5,00 | 0,058 |
| 6,00 | 0,033 |
| 7,00 | 0,019 |
| 8,00 | 0,011 |
| 9,00 | 0,006 |
| 10,00 | 0,004 |
| 11,00 | 0,002 |
| 12,00 | 0,001 |
| 13,00 | 0,001 |
| 14,00 | 0,000 |
| 15,00 | 0,000 |
| 16,00 | 0,000 |
| 17,00 | 0,000 |
| 18,00 | 0,000 |
| 19,00 | 0,000 |
| 20,00 | 0,000 |
| 21,00 | 0,000 |
| 22,00 | 0,000 |
| 23,00 | 0,000 |
| 24,00 | 0,000 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dimana:

Q_a = kurva naik (Q_a diasumsikan dengan menarik garis lurus sampai Q_p)Q_p = debit puncakQ_t = kurva turunpail

$$= Q_p \cdot e^{-(t-t_r)/k}$$

$$\begin{aligned} \text{Contoh Perhitungan untuk } t_4 \text{ (} t=4 \text{) ; } Q_t &= Q_p \cdot e^{-(t-t_r)/k} \\ &= 0,373 (e^{-(4-3)/2,937}) \\ &= 0,179 \text{ m}^3/\text{dt/mm} \end{aligned}$$

Dari hasil HSS Gama I diatas perlu dikoreksi agar volume hidrograf satuan yang apabila dibagi luas DAS akan mendapatkan unit ketebalan curah hujan efektif 1mm.

Tabel 4.40 Perhitungan Koreksi HSS Metode Gama 1

| t (jam) | Qt (m³/dt/mm) | V | Q koreksi (m³/dt/mm) | V koreksi (m³) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|--|--|
| 0,00 | 0,00 | 395,78 | 0,000 | 267,95 |
| 1,00 | 0,22 | 961,70 | 0,149 | 651,10 |
| 2,00 | 0,31 | 888,78 | 0,213 | 601,73 |
| 3,00 | 0,18 | 507,05 | 0,121 | 343,29 |
| 4,00 | 0,10 | 289,27 | 0,069 | 195,84 |
| 5,00 | 0,06 | 165,03 | 0,040 | 111,73 |
| 6,00 | 0,03 | 94,15 | 0,023 | 63,74 |
| 7,00 | 0,02 | 53,71 | 0,013 | 36,36 |
| 8,00 | 0,01 | 30,64 | 0,007 | 20,74 |
| 9,00 | 0,01 | 17,48 | 0,004 | 11,83 |
| 10,00 | 0,00 | 9,97 | 0,002 | 6,75 |
| 11,00 | 0,00 | 5,69 | 0,001 | 3,85 |
| 12,00 | 0,00 | 3,25 | 0,001 | 2,20 |
| 13,00 | 0,00 | 1,85 | 0,000 | 1,25 |
| 14,00 | 0,00 | 1,06 | 0,000 | 0,72 |
| 15,00 | 0,00 | 0,60 | 0,000 | 0,41 |
| 16,00 | 0,00 | 0,34 | 0,000 | 0,23 |
| 17,00 | 0,00 | 0,20 | 0,000 | 0,13 |
| 18,00 | 0,00 | 0,11 | 0,000 | 0,08 |
| 19,00 | 0,00 | 0,06 | 0,000 | 0,04 |
| 20,00 | 0,00 | 0,04 | 0,000 | 0,02 |
| 21,00 | 0,00 | 0,02 | 0,000 | 0,01 |
| 22,00 | 0,00 | 0,01 | 0,000 | 0,01 |
| 23,00 | 0,00 | 0,01 | 0,000 | 0,00 |
| 24,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |
| Jumlah V = | | 3426,80 | Jumlah V = | 2320,00 |
| $\Sigma V/CA =$ | | 1,477 | $\Sigma V/CA =$ | 1 |
| f = | | 0,677 | | |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

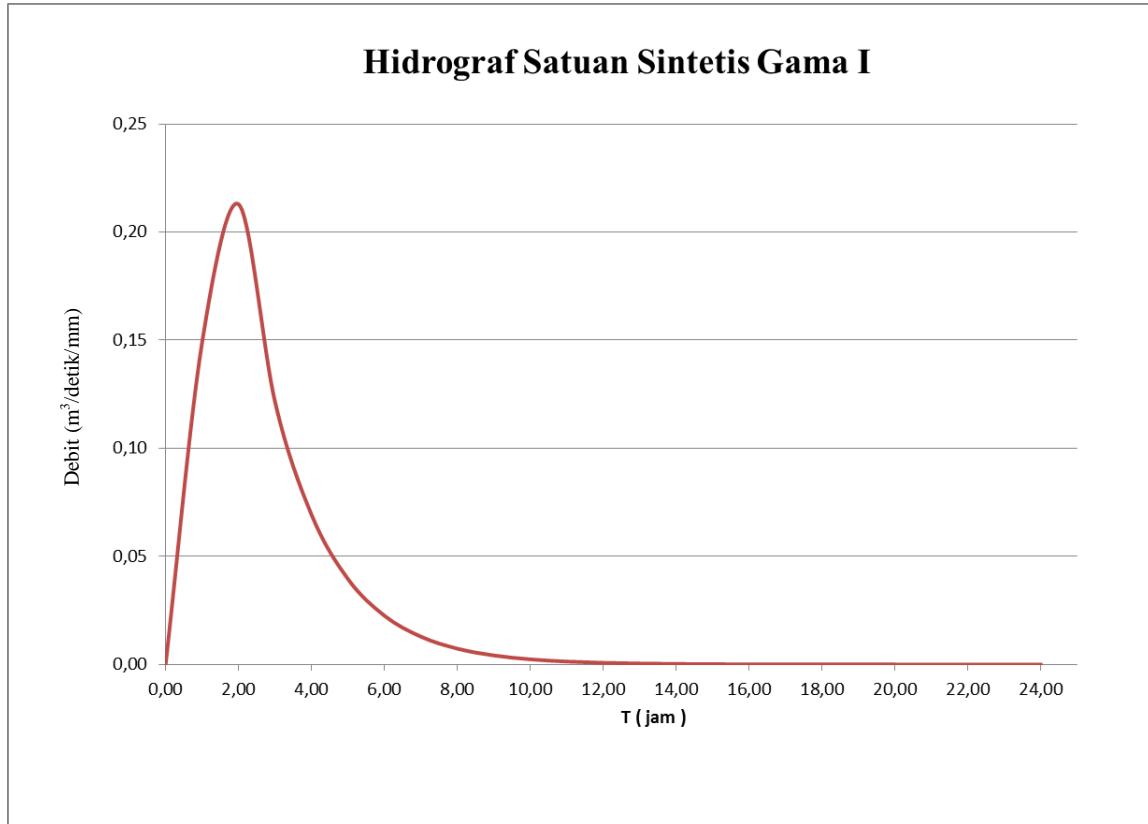
Contoh Perhitungan Untuk t = 5

$$\begin{aligned}
 V &= (Qt + Q_{(t+1)})x(T_{(t+1)} - T_t)x0,5x60x60 \\
 &= (0,06 + 0,10)x(6-5)x0,5x60x60 \\
 &= 165,03 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$f = \frac{1}{\sum V/CA}$$

$$= \frac{1}{3426,80/2320} \\ = 0,677$$

$$Q_{\text{koreksi}} = f \times Q \\ = 0,677 \times 0,06 \\ = 0,040 \\ V_{\text{koreksi}} = f \times V \\ = 0,677 \times 165,03 \\ = 111,73$$



Gambar 4.1 Unit Hidrograf Satuan Sintetis Gama 1

Sumber : Hasil Penggambaran, 2017

b. HSS Nakayasu

Tidak tersedianya AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) maka perhitungan hidrograf satuan dihitung secara teoritis dengan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

Berikut langkah perhitungannya :

1. Data Karakteristik DAS

- Luas DAS (CA) = 2,32 km²
- Panjang sungai utama (L) = 2,01 km
- Nilai Koefisien Karakteristik DAS (α) = 3
- Hujan Netto Satuan (Ro) = 1 mm

2. Parameter-parameter hidrograf

- Waktu Konsentrasi (tg)

$$\begin{aligned} \text{tg} &= 0,21 \times L 0,7 \\ &= 0,378 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Lama hujan efektif yang menyebabkan limpasan permukaan (tr)

$$\begin{aligned} \text{tr} &= 0,75 \times \text{tg} \\ &= 0,284 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Waktu ketika terjadi debit tertinggi (Tp)

$$\begin{aligned} \text{Tp} &= \text{tg} + (0,8 \times \text{tr}) \\ &= 0,606 \text{ jam} \\ &= 1 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Waktu yang diperlukan untuk penurunan debit dari debit puncak sampai debit menjadi 30 ($T_{0,3}$)

$$\begin{aligned} (T_{0,3}) &= \alpha \times \text{tg} \\ &= 1,135 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Debit puncak banjir (Qp)

$$\begin{aligned} \text{Qp} &= (\text{CA} \times \text{Ro}) / (3,6 \times (0,3 \times \text{Tp}) + T_{0,3}) \\ &= 0,489 \text{ m}^3/\text{dt/mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.41 Lengkung Hidrograf Nakayasu

| Karakteristik | Persamaan | Awal | | Akhir | |
|------------------------------|---|------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| | | Notasi | Nilai | Notasi | Nilai |
| Lengkung Naik (Qa) | $\text{Qp} \cdot (t/\text{tp})^{2,4}$ | 0 | 0 | t_p | 0,61 |
| Lengkung Turun Tahap 1 (Qd1) | $\text{Qp} \cdot 0,3^{[(t-t_p)/t_{0,3}]}$ | t_p | 0,61 | $t_p + t_{0,3}$ | 1,74 |
| Lengkung Turun Tahap 2 (Qd2) | $\text{Qp} \cdot 0,3^{[(t-t_p+0,5t_{0,3})/1,5t_{0,3}]}$ | $t_p + t_{0,3}$ | 1,74 | $t_p + t_{0,3} + 1,5t_{0,3}$ | 4 |
| Lengkung Turun Tahap 3 (Qd3) | $\text{Qp} \cdot 0,3^{[(t-t_p+1,5t_{0,3})/2t_{0,3}]}$ | $t_p + t_{0,3} + 1,5t_{0,3}$ | 4 | ~ | ~ |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

Tabel 4.42 Ordinat HSS Metode Nakayasu

| t(jam) | Q (m ³ /dt/mm) | Ket |
|--------|---------------------------|-----|
| 0,00 | 0 | Qa |
| 0,61 | 0,490 | Qp |
| 1,00 | 0,322 | |
| 1,74 | 0,147 | Qd1 |
| 2,00 | 0,122 | |
| 3,00 | 0,060 | Qd2 |
| 3,44 | 0,044 | |
| 4,00 | 0,033 | |
| 5,00 | 0,019 | |
| 6,00 | 0,011 | |
| 7,00 | 0,007 | |
| 8,00 | 0,004 | |
| 9,00 | 0,002 | |
| 10,00 | 0,001 | |
| 11,00 | 0,001 | |
| 12,00 | 0,000 | |
| 13,00 | 0,000 | |
| 14,00 | 0,000 | |
| 15,00 | 0,000 | |
| 16,00 | 0,000 | |
| 17,00 | 0,000 | |
| 18,00 | 0,000 | Qd3 |
| 19,00 | 0,000 | |
| 20,00 | 0,000 | |
| 21,00 | 0,000 | |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

Dari hasil HSS Nakaysu diatas perlu dikoreksi agar volume hidrograf satuan yang apabila dibagi luas DAS akan mendapatkan unit ketebalan curah hujan efektif 1mm.

Tabel 4.43 Perhitungan Koreksi HSS Metode Nakayasu

| t (jam) | Qt (m ³ /dt/mm) | V | Q koreksi (m ³ /dt/mm) | V koreksi (m ³) |
|------------|-------------------------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 0,00 | 0,00 | 579,69 | 0,000 | 639,41 |
| 1,00 | 0,32 | 799,71 | 0,355 | 882,09 |
| 2,00 | 0,12 | 328,52 | 0,135 | 362,36 |
| 3,00 | 0,06 | 167,54 | 0,066 | 184,80 |
| 4,00 | 0,03 | 93,78 | 0,036 | 103,44 |
| 5,00 | 0,02 | 55,19 | 0,021 | 60,88 |
| 6,00 | 0,01 | 32,48 | 0,013 | 35,83 |
| 7,00 | 0,01 | 19,11 | 0,007 | 21,08 |
| 8,00 | 0,00 | 11,25 | 0,004 | 12,41 |

Lanjutan Tabel 4.43 Perhitungan Koreksi HSS Metode Nakayasu

| t (jam) | Qt (m³/dt/mm) | V | Q koreksi (m³/dt/mm) | V koreksi (m³) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|
| 9,00 | 0,00 | 6,62 | 0,003 | 7,30 |
| 10,00 | 0,00 | 3,90 | 0,002 | 4,30 |
| 11,00 | 0,00 | 2,29 | 0,001 | 2,53 |
| 12,00 | 0,00 | 1,35 | 0,001 | 1,49 |
| 13,00 | 0,00 | 0,79 | 0,000 | 0,88 |
| 14,00 | 0,00 | 0,47 | 0,000 | 0,52 |
| 15,00 | 0,00 | 0,28 | 0,000 | 0,30 |
| 16,00 | 0,00 | 0,16 | 0,000 | 0,18 |
| 17,00 | 0,00 | 0,10 | 0,000 | 0,11 |
| 18,00 | 0,00 | 0,06 | 0,000 | 0,06 |
| 19,00 | 0,00 | 0,03 | 0,000 | 0,04 |
| 20,00 | 0,00 | 0,02 | 0,000 | 0,02 |
| 21,00 | 0,00 | 0,01 | 0,000 | 0,01 |
| 22,00 | 0,00 | 0,01 | 0,000 | 0,01 |
| 23,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |
| 24,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |
| Jumlah V = | | 2103,36 | Jumlah V = | 2320,00 |
| $\Sigma V/CA =$ | | 0,907 | $\Sigma V/CA =$ | 1 |
| f = | | 1,103 | | |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

Contoh Perhitungan Untuk t = 5

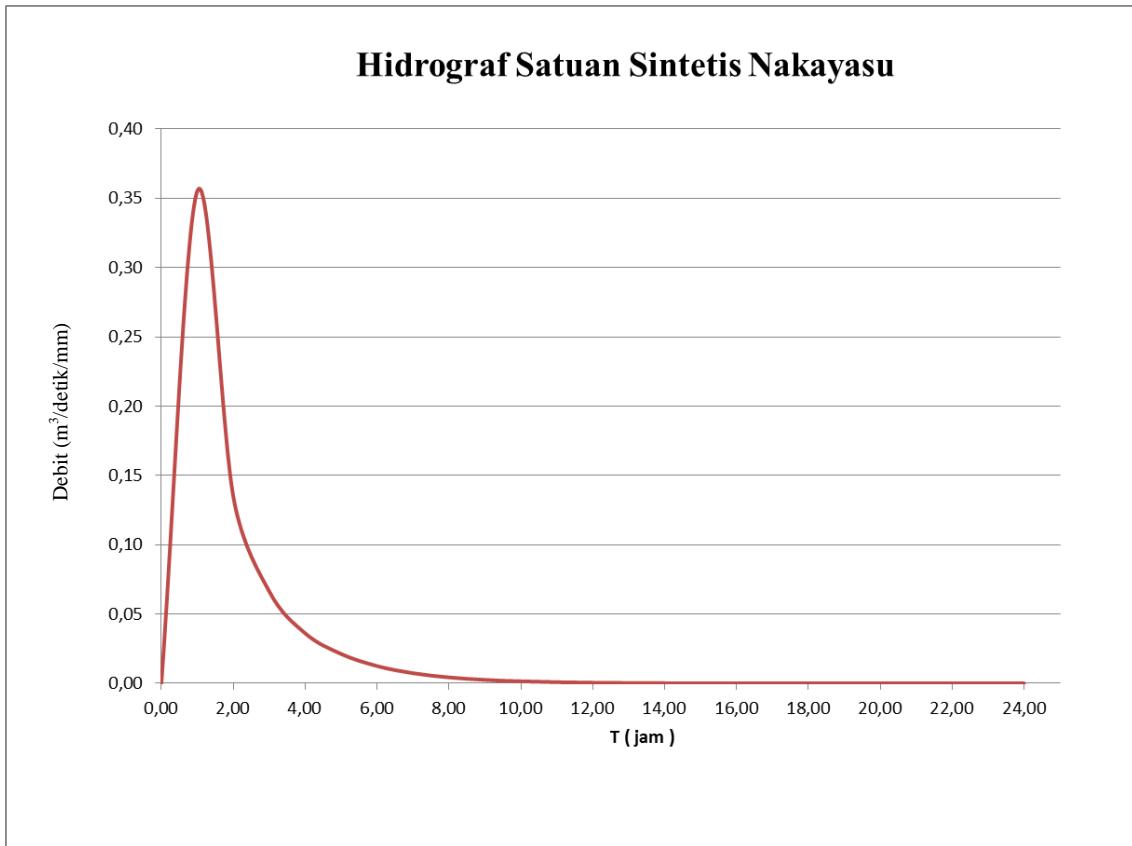
$$\begin{aligned}
 V &= (Qt+Q_{(t+1)})x(T_{(t+1)}-T_t)x0,5x60x60 \\
 &= (0,02+0,01)x(6-5)x0,5x60x60 \\
 &= 55,19 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{1}{\sum V/CA} \\
 &= \frac{1}{2103,36/2320} \\
 &= 1,103
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{koreksi}} = f \times Q$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,103 \times 0,02 \\
 &= 0,013
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{koreksi}} &= f \times V \\
 &= 1,103 \times 55,19 = 60,88
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Unit Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Sumber : Hasil Penggambaran, 2017

c. HSS Snyder

1. Data Karakteristik DAS

- Luas DAS (A) = 2,32 km²
- Panjang sungai utama (L) = 2,01 km
- Panjang sungai dari bagian hilir ke titik berat (Lc) = 1 km
- Koefisien (n) = 0,2
- Koefisien Ct = 0,75
- Koefisien Cp = 1

2. Parameter-parameter hidrograf

- Menghitung waktu dari titik berat hujan ke debit puncak

$$\begin{aligned} tp &= Ct \times (L \times Lc)^n \\ &= 0,86 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Menghitung curah hujan efektif (te)

$$\begin{aligned} te &= tp / 5,5 \\ &= 0,16 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Menghitung waktu untuk mencapai puncak (Tp)

Jika $te > tr$

$$\begin{aligned} t'p &= tp + 0,25(te-tr) &= 0,65 \text{ jam} \\ Tp &= t'p + 0,5*tr &= 1,15 \text{ jam} \end{aligned}$$

Jika $te < tr$

$$\begin{aligned} Tp &= tp + 0,5tr &= 1,36 \text{ jam} \\ &&= 1 \text{ jam} \end{aligned}$$

Jika $te = tr$

$$\begin{aligned} Tp &= tp &= 0,86 \text{ jam} \\ &&= 1 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Menghitung debit maksimum hidrograf satuan (Q_p)

$$\begin{aligned} qp &= 0,278 (Cp/tp) &= 0,204 \text{ m}^3/\text{dt/mm/km}^2 \\ Q_p &= qp \cdot A &= 0,473 \text{ m}^3/\text{dt/mm} \end{aligned}$$

- Perhitungan nilai x

$$x = t / tp$$

- Perhitungan koefisien λ dan α

$$\begin{aligned} \lambda &= Q_p \cdot Tp / (A \cdot h) &= 0,28 \\ \alpha &= 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 &= 0,19 \end{aligned}$$

- Perhitungan besarnya ordinat y

$$y = 10^{-\alpha(1-x)^2/x}$$

- Perhitungan besarnya Q_t

$$Q_t = Q_p \cdot Y$$

Tabel 4.44 Ordinat HSS Metode Snyder

| t (jam) | x | y | Qt (m³/dt/mm) | Qp |
|--------------------|----------|----------|-------------------------------------|-----------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | |
| 1,00 | 0,73 | 0,96 | 0,454 | |
| 1,36 | 1,00 | 1,00 | 0,473 | Qp |
| 2,00 | 1,47 | 0,94 | 0,444 | |
| 3,00 | 2,20 | 0,75 | 0,356 | |
| 4,00 | 2,94 | 0,57 | 0,272 | |
| 5,00 | 3,67 | 0,43 | 0,204 | |
| 6,00 | 4,40 | 0,32 | 0,151 | |
| 7,00 | 5,14 | 0,24 | 0,111 | |
| 8,00 | 5,87 | 0,17 | 0,082 | |

Lanjutan Tabel 4.44 Ordinat HSS Metode Snyder

| t (jam) | x | y | Qt (m ³ /dt/mm) |
|------------|-------|------|-------------------------------|
| 9,00 | 6,61 | 0,13 | 0,060 |
| 10,00 | 7,34 | 0,09 | 0,044 |
| 11,00 | 8,07 | 0,07 | 0,032 |
| 12,00 | 8,81 | 0,05 | 0,023 |
| 13,00 | 9,54 | 0,04 | 0,017 |
| 14,00 | 10,28 | 0,03 | 0,012 |
| 15,00 | 11,01 | 0,02 | 0,009 |
| 16,00 | 11,74 | 0,01 | 0,007 |
| 17,00 | 12,48 | 0,01 | 0,005 |
| 18,00 | 13,21 | 0,01 | 0,004 |
| 19,00 | 13,95 | 0,01 | 0,003 |
| 20,00 | 14,68 | 0,00 | 0,002 |
| 21,00 | 15,41 | 0,00 | 0,001 |
| 22,00 | 16,15 | 0,00 | 0,001 |
| 23,00 | 16,88 | 0,00 | 0,001 |
| 24,00 | 17,62 | 0,00 | 0,001 |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

Dari hasil HSS Snyder diatas perlu dikoreksi agar volume hidrograf satuan yang apabila dibagi luas DAS akan mendapatkan unit ketebalan curah hujan efektif 1mm.

Tabel 4.45 Perhitungan Koreksi HSS Metode Snyder

| t (jam) | Qt (m ³ /dt/mm) | V | Q koreksi (m ³ /dt/mm) | V koreksi (m ³) |
|------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 0,00 | 0,00 | 817,18 | 0,00 | 229,63 |
| 1,00 | 0,45 | 1615,81 | 0,13 | 454,06 |
| 2,00 | 0,44 | 1439,37 | 0,12 | 404,48 |
| 3,00 | 0,36 | 1130,05 | 0,10 | 317,56 |
| 4,00 | 0,27 | 855,69 | 0,08 | 240,46 |
| 5,00 | 0,20 | 638,00 | 0,06 | 179,29 |
| 6,00 | 0,15 | 471,88 | 0,04 | 132,60 |
| 7,00 | 0,11 | 347,37 | 0,03 | 97,61 |
| 8,00 | 0,08 | 254,93 | 0,02 | 71,64 |
| 9,00 | 0,06 | 186,72 | 0,02 | 52,47 |
| 10,00 | 0,04 | 136,55 | 0,01 | 38,37 |
| 11,00 | 0,03 | 99,76 | 0,01 | 28,03 |
| 12,00 | 0,02 | 72,82 | 0,01 | 20,46 |
| 13,00 | 0,02 | 53,12 | 0,00 | 14,93 |
| 14,00 | 0,01 | 38,73 | 0,00 | 10,88 |

Lanjutan Tabel 4.45 Perhitungan Koreksi HSS Metode Snyder

| t (jam) | Qt (m³/dt/mm) | V | Q koreksi (m³/dt/mm) | V koreksi (m³) |
|--------------------|-------------------------------------|----------------|--|--|
| 15,00 | 0,01 | 28,23 | 0,00 | 7,93 |
| 16,00 | 0,01 | 20,57 | 0,00 | 5,78 |
| 17,00 | 0,00 | 14,98 | 0,00 | 4,21 |
| 18,00 | 0,00 | 10,91 | 0,00 | 3,07 |
| 19,00 | 0,00 | 7,95 | 0,00 | 2,23 |
| 20,00 | 0,00 | 5,78 | 0,00 | 1,63 |
| 21,00 | 0,00 | 4,21 | 0,00 | 1,18 |
| 22,00 | 0,00 | 3,06 | 0,00 | 0,86 |
| 23,00 | 0,00 | 2,23 | 0,00 | 0,63 |
| 24,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Jumlah V = | | 8255,93 | Jumlah V = | 2320,00 |
| $\sum V/CA =$ | | 3,559 | $\sum V/CA =$ | 1 |
| $f =$ | | 0,281 | | |

Sumber: Analisa Perhitungan, 2017

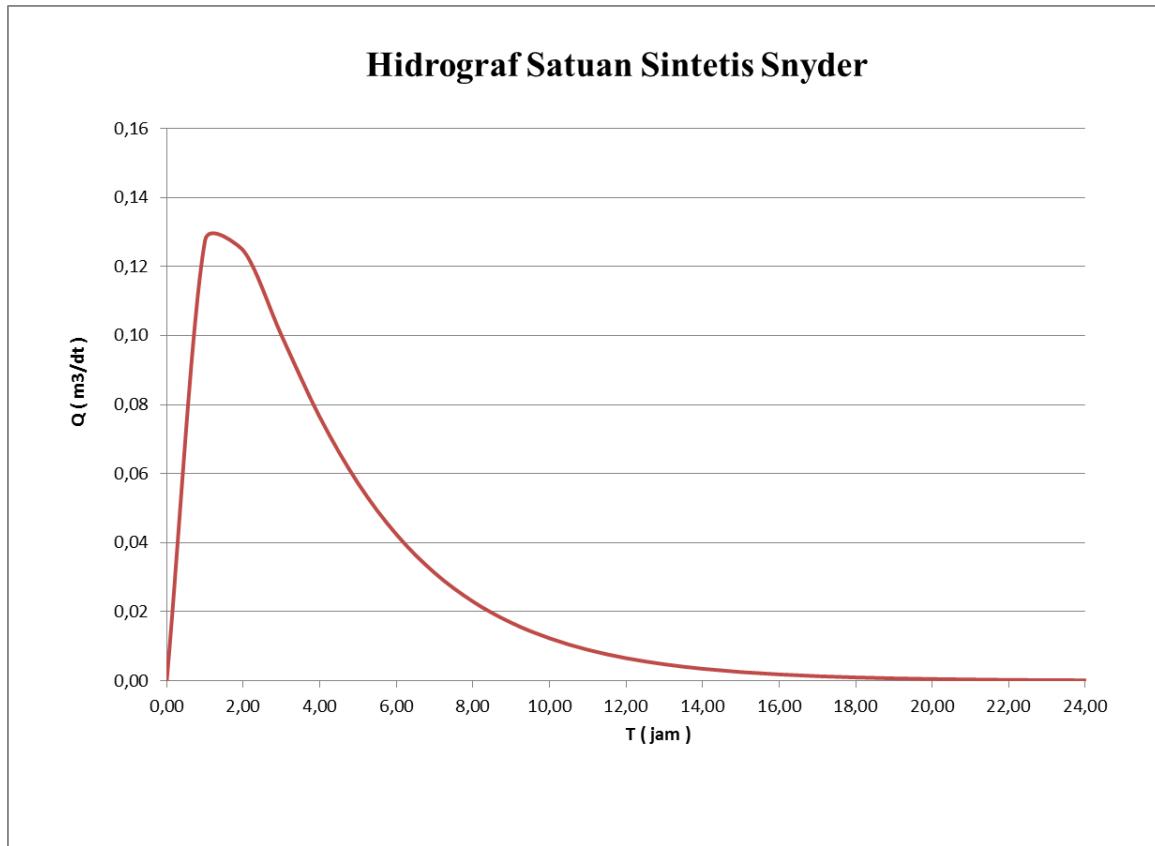
Contoh Perhitungan Untuk t = 5

$$\begin{aligned}
 V &= (Qt + Q_{(t+1)})x(T_{(t+1)} - T_t)x0,5x60x60 \\
 &= (0,20 + 0,15)x(6-5)x0,5x60x60 \\
 &= 638,00 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{1}{\sum V/CA} \\
 &= \frac{1}{8255,93/2320} \\
 &= 0,281
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{koreksi}} &= f \times Q \\
 &= 0,281 \times 0,20 \\
 &= 0,06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{koreksi}} &= f \times V \\
 &= 0,281 \times 638,00 \\
 &= 179,29
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Unit Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Sumber : Hasil Penggambaran, 2017

4.1.6 Debit Aliran Dasar (*Baseflow*)

Dengan pertimbangan bahwa terbatasnya data debit inflow yang ada, maka sebagai pertimbangan untuk aliran dasar (*baseflow*) didapat dari hasil perhitungan debit andalan menggunakan FJ.Mock.

4.1.7 Hidrograf Debit Banjir Rancangan

Berdasarkan dengan mengadopsi prinsip linieritas perkalian antara ordinat hidrograf satuan dengan hujan netto, setelah itu dari hasil perkalian akan dijumlahkan dengan cara superposisi sehingga hasil akhirnya ditambah aliran dasar. Hasil perhitungan debit banjir rancangan dengan berbagai kala ulang disajikan mulai Tabel 4.42 sampai Tabel 4.63 Sebagaimana berikut :

Tabel 4.46 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 2 Tahun

| T | HSS (Qt) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------------------|
| | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | | |
| | | 1,557 | 4,256 | 27,715 | 2,284 | 1,557 | 1,557 | | |
| | (m ³ /det/mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,232 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,242 |
| 2,00 | 0,213 | 0,331 | 0,634 | 0,000 | | | | 0,010 | 0,975 |
| 3,00 | 0,121 | 0,189 | 0,906 | 4,126 | 0,000 | | | 0,010 | 5,231 |
| 4,00 | 0,069 | 0,108 | 0,517 | 5,899 | 0,340 | 0,000 | | 0,010 | 6,874 |
| 5,00 | 0,040 | 0,062 | 0,295 | 3,366 | 0,486 | 0,232 | 0,000 | 0,010 | 4,450 |
| 6,00 | 0,023 | 0,035 | 0,168 | 1,920 | 0,277 | 0,331 | 0,232 | 0,010 | 2,974 |
| 7,00 | 0,013 | 0,020 | 0,096 | 1,095 | 0,158 | 0,189 | 0,331 | 0,010 | 1,900 |
| 8,00 | 0,007 | 0,011 | 0,055 | 0,625 | 0,090 | 0,108 | 0,189 | 0,010 | 1,088 |
| 9,00 | 0,004 | 0,007 | 0,031 | 0,356 | 0,051 | 0,062 | 0,108 | 0,010 | 0,625 |
| 10,00 | 0,002 | 0,004 | 0,018 | 0,203 | 0,029 | 0,035 | 0,062 | 0,010 | 0,361 |
| 11,00 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,116 | 0,017 | 0,020 | 0,035 | 0,010 | 0,210 |
| 12,00 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,066 | 0,010 | 0,011 | 0,020 | 0,010 | 0,124 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,038 | 0,005 | 0,007 | 0,011 | 0,010 | 0,075 |
| 14,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,022 | 0,003 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,047 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,012 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,031 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,022 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,017 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.47 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 5 Tahun

| T | HSS (Qt) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------------------|
| | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | | |
| | | 2,230 | 6,318 | 39,025 | 3,717 | 2,230 | 2,230 | | |
| | (m ³ /det/mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,332 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,342 |
| 2,00 | 0,213 | 0,475 | 0,941 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,425 |
| 3,00 | 0,121 | 0,271 | 1,345 | 5,809 | 0,000 | | | 0,010 | 7,435 |
| 4,00 | 0,069 | 0,154 | 0,767 | 8,307 | 0,553 | 0,000 | | 0,010 | 9,792 |
| 5,00 | 0,040 | 0,088 | 0,438 | 4,739 | 0,791 | 0,332 | 0,000 | 0,010 | 6,398 |
| 6,00 | 0,023 | 0,050 | 0,250 | 2,704 | 0,451 | 0,475 | 0,332 | 0,010 | 4,271 |
| 7,00 | 0,013 | 0,029 | 0,142 | 1,542 | 0,257 | 0,271 | 0,475 | 0,010 | 2,726 |
| 8,00 | 0,007 | 0,016 | 0,081 | 0,880 | 0,147 | 0,154 | 0,271 | 0,010 | 1,560 |
| 9,00 | 0,004 | 0,009 | 0,046 | 0,502 | 0,084 | 0,088 | 0,154 | 0,010 | 0,894 |
| 10,00 | 0,002 | 0,005 | 0,026 | 0,286 | 0,048 | 0,050 | 0,088 | 0,010 | 0,514 |
| 11,00 | 0,001 | 0,003 | 0,015 | 0,163 | 0,027 | 0,029 | 0,050 | 0,010 | 0,298 |
| 12,00 | 0,001 | 0,002 | 0,009 | 0,093 | 0,016 | 0,016 | 0,029 | 0,010 | 0,174 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,053 | 0,009 | 0,009 | 0,016 | 0,010 | 0,104 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,030 | 0,005 | 0,005 | 0,009 | 0,010 | 0,063 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,017 | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,040 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,027 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,020 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,016 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,013 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.48 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 10 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 2,779 | R ₂ 8,337 | R ₃ 47,240 | R ₄ 5,558 | R ₅ 2,779 | R ₆ 2,779 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,414 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,424 |
| 2,00 | 0,213 | 0,591 | 1,241 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,842 |
| 3,00 | 0,121 | 0,337 | 1,774 | 7,032 | 0,000 | | | 0,010 | 9,154 |
| 4,00 | 0,069 | 0,193 | 1,012 | 10,055 | 0,827 | 0,000 | | 0,010 | 12,098 |
| 5,00 | 0,040 | 0,110 | 0,578 | 5,737 | 1,183 | 0,414 | 0,000 | 0,010 | 8,031 |
| 6,00 | 0,023 | 0,063 | 0,329 | 3,273 | 0,675 | 0,591 | 0,414 | 0,010 | 5,355 |
| 7,00 | 0,013 | 0,036 | 0,188 | 1,867 | 0,385 | 0,337 | 0,591 | 0,010 | 3,415 |
| 8,00 | 0,007 | 0,020 | 0,107 | 1,065 | 0,220 | 0,193 | 0,337 | 0,010 | 1,952 |
| 9,00 | 0,004 | 0,012 | 0,061 | 0,608 | 0,125 | 0,110 | 0,193 | 0,010 | 1,118 |
| 10,00 | 0,002 | 0,007 | 0,035 | 0,347 | 0,071 | 0,063 | 0,110 | 0,010 | 0,642 |
| 11,00 | 0,001 | 0,004 | 0,020 | 0,198 | 0,041 | 0,036 | 0,063 | 0,010 | 0,371 |
| 12,00 | 0,001 | 0,002 | 0,011 | 0,113 | 0,023 | 0,020 | 0,036 | 0,010 | 0,216 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,064 | 0,013 | 0,012 | 0,020 | 0,010 | 0,127 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,037 | 0,008 | 0,007 | 0,012 | 0,010 | 0,077 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,021 | 0,004 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,048 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,012 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,032 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,022 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,017 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.49 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 25 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 3,606 | R ₂ 11,118 | R ₃ 60,398 | R ₄ 7,813 | R ₅ 3,606 | R ₆ 3,606 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,537 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,547 |
| 2,00 | 0,213 | 0,768 | 1,655 | 0,000 | | | | 0,010 | 2,433 |
| 3,00 | 0,121 | 0,438 | 2,367 | 8,991 | 0,000 | | | 0,010 | 11,805 |
| 4,00 | 0,069 | 0,250 | 1,350 | 12,856 | 1,163 | 0,000 | | 0,010 | 15,629 |
| 5,00 | 0,040 | 0,143 | 0,770 | 7,334 | 1,663 | 0,537 | 0,000 | 0,010 | 10,457 |
| 6,00 | 0,023 | 0,081 | 0,439 | 4,184 | 0,949 | 0,768 | 0,537 | 0,010 | 6,968 |
| 7,00 | 0,013 | 0,046 | 0,251 | 2,387 | 0,541 | 0,438 | 0,768 | 0,010 | 4,441 |
| 8,00 | 0,007 | 0,026 | 0,143 | 1,362 | 0,309 | 0,250 | 0,438 | 0,010 | 2,538 |
| 9,00 | 0,004 | 0,015 | 0,082 | 0,777 | 0,176 | 0,143 | 0,250 | 0,010 | 1,452 |
| 10,00 | 0,002 | 0,009 | 0,047 | 0,443 | 0,100 | 0,081 | 0,143 | 0,010 | 0,833 |
| 11,00 | 0,001 | 0,005 | 0,027 | 0,253 | 0,057 | 0,046 | 0,081 | 0,010 | 0,479 |
| 12,00 | 0,001 | 0,003 | 0,015 | 0,144 | 0,033 | 0,026 | 0,046 | 0,010 | 0,278 |
| 13,00 | 0,000 | 0,002 | 0,009 | 0,082 | 0,019 | 0,015 | 0,026 | 0,010 | 0,163 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,047 | 0,011 | 0,009 | 0,015 | 0,010 | 0,097 |
| 15,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,027 | 0,006 | 0,005 | 0,009 | 0,010 | 0,060 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,015 | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,038 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,009 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,026 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,019 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,015 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,013 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.50 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 50 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 4,329 | R ₂ 14,070 | R ₃ 70,350 | R ₄ 10,823 | R ₅ 4,329 | R ₆ 4,329 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,644 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,654 |
| 2,00 | 0,213 | 0,922 | 2,094 | 0,000 | | | | 0,010 | 3,026 |
| 3,00 | 0,121 | 0,526 | 2,995 | 10,472 | 0,000 | | | 0,010 | 14,003 |
| 4,00 | 0,069 | 0,300 | 1,709 | 14,974 | 1,611 | 0,000 | | 0,010 | 18,604 |
| 5,00 | 0,040 | 0,171 | 0,975 | 8,543 | 2,304 | 0,644 | 0,000 | 0,010 | 12,647 |
| 6,00 | 0,023 | 0,098 | 0,556 | 4,874 | 1,314 | 0,922 | 0,644 | 0,010 | 8,418 |
| 7,00 | 0,013 | 0,056 | 0,317 | 2,780 | 0,750 | 0,526 | 0,922 | 0,010 | 5,360 |
| 8,00 | 0,007 | 0,032 | 0,181 | 1,586 | 0,428 | 0,300 | 0,526 | 0,010 | 3,062 |
| 9,00 | 0,004 | 0,018 | 0,103 | 0,905 | 0,244 | 0,171 | 0,300 | 0,010 | 1,751 |
| 10,00 | 0,002 | 0,010 | 0,059 | 0,516 | 0,139 | 0,098 | 0,171 | 0,010 | 1,003 |
| 11,00 | 0,001 | 0,006 | 0,034 | 0,295 | 0,079 | 0,056 | 0,098 | 0,010 | 0,577 |
| 12,00 | 0,001 | 0,003 | 0,019 | 0,168 | 0,045 | 0,032 | 0,056 | 0,010 | 0,333 |
| 13,00 | 0,000 | 0,002 | 0,011 | 0,096 | 0,026 | 0,018 | 0,032 | 0,010 | 0,194 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,055 | 0,015 | 0,010 | 0,018 | 0,010 | 0,115 |
| 15,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,031 | 0,008 | 0,006 | 0,010 | 0,010 | 0,070 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,018 | 0,005 | 0,003 | 0,006 | 0,010 | 0,044 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,030 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,021 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,016 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.51 Debit Banjir Rancangan Gama I Kala Ulang 100 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 5,158 | R ₂ 17,194 | R ₃ 82,533 | R ₄ 13,756 | R ₅ 5,158 | R ₆ 5,158 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,149 | 0,768 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,778 |
| 2,00 | 0,213 | 1,098 | 2,560 | 0,000 | | | | 0,010 | 3,668 |
| 3,00 | 0,121 | 0,626 | 3,660 | 12,286 | 0,000 | | | 0,010 | 16,582 |
| 4,00 | 0,069 | 0,357 | 2,088 | 17,568 | 2,048 | 0,000 | | 0,010 | 22,071 |
| 5,00 | 0,040 | 0,204 | 1,191 | 10,022 | 2,928 | 0,768 | 0,000 | 0,010 | 15,123 |
| 6,00 | 0,023 | 0,116 | 0,680 | 5,718 | 1,670 | 1,098 | 0,768 | 0,010 | 10,060 |
| 7,00 | 0,013 | 0,066 | 0,388 | 3,262 | 0,953 | 0,626 | 1,098 | 0,010 | 6,403 |
| 8,00 | 0,007 | 0,038 | 0,221 | 1,861 | 0,544 | 0,357 | 0,626 | 0,010 | 3,657 |
| 9,00 | 0,004 | 0,022 | 0,126 | 1,062 | 0,310 | 0,204 | 0,357 | 0,010 | 2,091 |
| 10,00 | 0,002 | 0,012 | 0,072 | 0,606 | 0,177 | 0,116 | 0,204 | 0,010 | 1,197 |
| 11,00 | 0,001 | 0,007 | 0,041 | 0,346 | 0,101 | 0,066 | 0,116 | 0,010 | 0,687 |
| 12,00 | 0,001 | 0,004 | 0,023 | 0,197 | 0,058 | 0,038 | 0,066 | 0,010 | 0,396 |
| 13,00 | 0,000 | 0,002 | 0,013 | 0,112 | 0,033 | 0,022 | 0,038 | 0,010 | 0,230 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,008 | 0,064 | 0,019 | 0,012 | 0,022 | 0,010 | 0,136 |
| 15,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,037 | 0,011 | 0,007 | 0,012 | 0,010 | 0,082 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,021 | 0,006 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,051 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,012 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,033 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,023 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,018 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.52 Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan Gama I Berbagai Kala Ulang

| Waktu | Debit Banjir Rancangan (m³/dt) | | | | | |
|--------------|--|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Q_{2 Th} | Q_{5 Th} | Q_{10 Th} | Q_{25Th} | Q_{50 Th} | Q_{100 Th} |
| 0,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,242 | 0,342 | 0,424 | 0,547 | 0,654 | 0,778 |
| 2,00 | 0,975 | 1,425 | 1,842 | 2,433 | 3,026 | 3,668 |
| 3,00 | 5,231 | 7,435 | 9,154 | 11,805 | 14,003 | 16,582 |
| 4,00 | 6,874 | 9,792 | 12,098 | 15,629 | 18,604 | 22,071 |
| 5,00 | 4,450 | 6,398 | 8,031 | 10,457 | 12,647 | 15,123 |
| 6,00 | 2,974 | 4,271 | 5,355 | 6,968 | 8,418 | 10,060 |
| 7,00 | 1,900 | 2,726 | 3,415 | 4,441 | 5,360 | 6,403 |
| 8,00 | 1,088 | 1,560 | 1,952 | 2,538 | 3,062 | 3,657 |
| 9,00 | 0,625 | 0,894 | 1,118 | 1,452 | 1,751 | 2,091 |
| 10,00 | 0,361 | 0,514 | 0,642 | 0,833 | 1,003 | 1,197 |
| 11,00 | 0,210 | 0,298 | 0,371 | 0,479 | 0,577 | 0,687 |
| 12,00 | 0,124 | 0,174 | 0,216 | 0,278 | 0,333 | 0,396 |
| 13,00 | 0,075 | 0,104 | 0,127 | 0,163 | 0,194 | 0,230 |
| 14,00 | 0,047 | 0,063 | 0,077 | 0,097 | 0,115 | 0,136 |
| 15,00 | 0,031 | 0,040 | 0,048 | 0,060 | 0,070 | 0,082 |
| 16,00 | 0,022 | 0,027 | 0,032 | 0,038 | 0,044 | 0,051 |
| 17,00 | 0,017 | 0,020 | 0,022 | 0,026 | 0,030 | 0,033 |
| 18,00 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 0,023 |
| 19,00 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,016 | 0,018 |
| 20,00 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,014 |
| 21,00 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 0,012 |
| 22,00 | 0,010 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| 23,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| 24,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| MAX | 6,874 | 9,792 | 12,098 | 15,629 | 18,604 | 22,071 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.53 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 2 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 1,557 | R ₂ 4,256 | R ₃ 27,715 | R ₄ 2,284 | R ₅ 1,557 | R ₆ 1,557 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 0,553 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,563 |
| 2,00 | 0,135 | 0,210 | 1,512 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,732 |
| 3,00 | 0,066 | 0,104 | 0,574 | 9,845 | 0,000 | | | 0,010 | 10,532 |
| 4,00 | 0,036 | 0,056 | 0,283 | 3,737 | 0,811 | 0,000 | | 0,010 | 4,897 |
| 5,00 | 0,021 | 0,033 | 0,154 | 1,843 | 0,308 | 0,553 | 0,000 | 0,010 | 2,901 |
| 6,00 | 0,013 | 0,020 | 0,091 | 1,003 | 0,152 | 0,210 | 0,553 | 0,010 | 2,038 |
| 7,00 | 0,007 | 0,011 | 0,053 | 0,590 | 0,083 | 0,104 | 0,210 | 0,010 | 1,061 |
| 8,00 | 0,004 | 0,007 | 0,031 | 0,347 | 0,049 | 0,056 | 0,104 | 0,010 | 0,604 |
| 9,00 | 0,003 | 0,004 | 0,018 | 0,204 | 0,029 | 0,033 | 0,056 | 0,010 | 0,355 |
| 10,00 | 0,002 | 0,002 | 0,011 | 0,120 | 0,017 | 0,020 | 0,033 | 0,010 | 0,213 |
| 11,00 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,071 | 0,010 | 0,011 | 0,020 | 0,010 | 0,129 |
| 12,00 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,042 | 0,006 | 0,007 | 0,011 | 0,010 | 0,080 |
| 13,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,025 | 0,003 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,051 |
| 14,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,014 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,034 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,024 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,018 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,015 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,013 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.54 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 5 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 2,230 | R ₂ 6,318 | R ₃ 39,025 | R ₄ 3,717 | R ₅ 2,230 | R ₆ 2,230 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 0,792 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,802 |
| 2,00 | 0,135 | 0,301 | 2,244 | 0,000 | | | | 0,010 | 2,555 |
| 3,00 | 0,066 | 0,148 | 0,852 | 13,862 | 0,000 | | | 0,010 | 14,873 |
| 4,00 | 0,036 | 0,081 | 0,420 | 5,261 | 1,320 | 0,000 | | 0,010 | 7,092 |
| 5,00 | 0,021 | 0,047 | 0,229 | 2,595 | 0,501 | 0,792 | 0,000 | 0,010 | 4,174 |
| 6,00 | 0,013 | 0,028 | 0,135 | 1,412 | 0,247 | 0,301 | 0,792 | 0,010 | 2,924 |
| 7,00 | 0,007 | 0,016 | 0,079 | 0,831 | 0,134 | 0,148 | 0,301 | 0,010 | 1,520 |
| 8,00 | 0,004 | 0,010 | 0,047 | 0,489 | 0,079 | 0,081 | 0,148 | 0,010 | 0,863 |
| 9,00 | 0,003 | 0,006 | 0,027 | 0,288 | 0,047 | 0,047 | 0,081 | 0,010 | 0,506 |
| 10,00 | 0,002 | 0,003 | 0,016 | 0,169 | 0,027 | 0,028 | 0,047 | 0,010 | 0,302 |
| 11,00 | 0,001 | 0,002 | 0,009 | 0,100 | 0,016 | 0,016 | 0,028 | 0,010 | 0,182 |
| 12,00 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,059 | 0,009 | 0,010 | 0,016 | 0,010 | 0,111 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,035 | 0,006 | 0,006 | 0,010 | 0,010 | 0,069 |
| 14,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,020 | 0,003 | 0,003 | 0,006 | 0,010 | 0,045 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,012 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,031 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,022 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,017 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.55 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 10 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 2,779 | R ₂ 8,337 | R ₃ 47,240 | R ₄ 5,558 | R ₅ 2,779 | R ₆ 2,779 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 0,987 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,997 |
| 2,00 | 0,135 | 0,375 | 2,961 | 0,000 | | | | 0,010 | 3,346 |
| 3,00 | 0,066 | 0,185 | 1,124 | 16,781 | 0,000 | | | 0,010 | 18,099 |
| 4,00 | 0,036 | 0,101 | 0,554 | 6,369 | 1,974 | 0,000 | | 0,010 | 9,008 |
| 5,00 | 0,021 | 0,059 | 0,302 | 3,141 | 0,749 | 0,987 | 0,000 | 0,010 | 5,248 |
| 6,00 | 0,013 | 0,035 | 0,177 | 1,709 | 0,370 | 0,375 | 0,987 | 0,010 | 3,663 |
| 7,00 | 0,007 | 0,020 | 0,104 | 1,006 | 0,201 | 0,185 | 0,375 | 0,010 | 1,901 |
| 8,00 | 0,004 | 0,012 | 0,061 | 0,592 | 0,118 | 0,101 | 0,185 | 0,010 | 1,079 |
| 9,00 | 0,003 | 0,007 | 0,036 | 0,348 | 0,070 | 0,059 | 0,101 | 0,010 | 0,631 |
| 10,00 | 0,002 | 0,004 | 0,021 | 0,205 | 0,041 | 0,035 | 0,059 | 0,010 | 0,375 |
| 11,00 | 0,001 | 0,002 | 0,013 | 0,121 | 0,024 | 0,020 | 0,035 | 0,010 | 0,225 |
| 12,00 | 0,001 | 0,001 | 0,007 | 0,071 | 0,014 | 0,012 | 0,020 | 0,010 | 0,137 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,042 | 0,008 | 0,007 | 0,012 | 0,010 | 0,084 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,025 | 0,005 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,054 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,014 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,036 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,009 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,025 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,019 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,015 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,013 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.56 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 25 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 3,606 | R ₂ 11,118 | R ₃ 60,398 | R ₄ 7,813 | R ₅ 3,606 | R ₆ 3,606 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 1,281 | 0,000 | | | | | 0,010 | 1,291 |
| 2,00 | 0,135 | 0,486 | 3,949 | 0,000 | | | | 0,010 | 4,445 |
| 3,00 | 0,066 | 0,240 | 1,499 | 21,455 | 0,000 | | | 0,010 | 23,203 |
| 4,00 | 0,036 | 0,130 | 0,739 | 8,143 | 2,775 | 0,000 | | 0,010 | 11,798 |
| 5,00 | 0,021 | 0,077 | 0,402 | 4,016 | 1,053 | 1,281 | 0,000 | 0,010 | 6,839 |
| 6,00 | 0,013 | 0,045 | 0,237 | 2,185 | 0,519 | 0,486 | 1,281 | 0,010 | 4,763 |
| 7,00 | 0,007 | 0,027 | 0,139 | 1,286 | 0,283 | 0,240 | 0,486 | 0,010 | 2,470 |
| 8,00 | 0,004 | 0,016 | 0,082 | 0,757 | 0,166 | 0,130 | 0,240 | 0,010 | 1,401 |
| 9,00 | 0,003 | 0,009 | 0,048 | 0,445 | 0,098 | 0,077 | 0,130 | 0,010 | 0,818 |
| 10,00 | 0,002 | 0,005 | 0,028 | 0,262 | 0,058 | 0,045 | 0,077 | 0,010 | 0,485 |
| 11,00 | 0,001 | 0,003 | 0,017 | 0,154 | 0,034 | 0,027 | 0,045 | 0,010 | 0,290 |
| 12,00 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,091 | 0,020 | 0,016 | 0,027 | 0,010 | 0,175 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,053 | 0,012 | 0,009 | 0,016 | 0,010 | 0,107 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,031 | 0,007 | 0,005 | 0,009 | 0,010 | 0,067 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,019 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,044 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,011 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,030 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,022 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,017 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,014 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.57 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 50 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 4,329 | R ₂ 14,070 | R ₃ 70,350 | R ₄ 10,823 | R ₅ 4,329 | R ₆ 4,329 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 1,538 | 0,000 | | | | | 0,010 | 1,548 |
| 2,00 | 0,135 | 0,584 | 4,998 | 0,000 | | | | 0,010 | 5,592 |
| 3,00 | 0,066 | 0,288 | 1,897 | 24,990 | 0,000 | | | 0,010 | 27,185 |
| 4,00 | 0,036 | 0,157 | 0,936 | 9,485 | 3,845 | 0,000 | | 0,010 | 14,431 |
| 5,00 | 0,021 | 0,092 | 0,509 | 4,678 | 1,459 | 1,538 | 0,000 | 0,010 | 8,286 |
| 6,00 | 0,013 | 0,054 | 0,300 | 2,545 | 0,720 | 0,584 | 1,538 | 0,010 | 5,750 |
| 7,00 | 0,007 | 0,032 | 0,176 | 1,498 | 0,392 | 0,288 | 0,584 | 0,010 | 2,979 |
| 8,00 | 0,004 | 0,019 | 0,104 | 0,881 | 0,230 | 0,157 | 0,288 | 0,010 | 1,689 |
| 9,00 | 0,003 | 0,011 | 0,061 | 0,519 | 0,136 | 0,092 | 0,157 | 0,010 | 0,985 |
| 10,00 | 0,002 | 0,007 | 0,036 | 0,305 | 0,080 | 0,054 | 0,092 | 0,010 | 0,584 |
| 11,00 | 0,001 | 0,004 | 0,021 | 0,180 | 0,047 | 0,032 | 0,054 | 0,010 | 0,348 |
| 12,00 | 0,001 | 0,002 | 0,012 | 0,106 | 0,028 | 0,019 | 0,032 | 0,010 | 0,209 |
| 13,00 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,062 | 0,016 | 0,011 | 0,019 | 0,010 | 0,127 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,037 | 0,010 | 0,007 | 0,011 | 0,010 | 0,079 |
| 15,00 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,022 | 0,006 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,051 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,013 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,010 | 0,034 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,024 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,018 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,015 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,013 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.58 Debit Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 100 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| | | R ₁ 5,158 | R ₂ 17,194 | R ₃ 82,533 | R ₄ 13,756 | R ₅ 5,158 | R ₆ 5,158 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,355 | 1,832 | 0,000 | | | | | 0,010 | 1,842 |
| 2,00 | 0,135 | 0,695 | 6,108 | 0,000 | | | | 0,010 | 6,813 |
| 3,00 | 0,066 | 0,343 | 2,318 | 29,318 | 0,000 | | | 0,010 | 31,989 |
| 4,00 | 0,036 | 0,187 | 1,143 | 11,127 | 4,886 | 0,000 | | 0,010 | 17,353 |
| 5,00 | 0,021 | 0,110 | 0,622 | 5,488 | 1,855 | 1,832 | 0,000 | 0,010 | 9,916 |
| 6,00 | 0,013 | 0,065 | 0,366 | 2,986 | 0,915 | 0,695 | 1,832 | 0,010 | 6,869 |
| 7,00 | 0,007 | 0,038 | 0,215 | 1,757 | 0,498 | 0,343 | 0,695 | 0,010 | 3,557 |
| 8,00 | 0,004 | 0,022 | 0,127 | 1,034 | 0,293 | 0,187 | 0,343 | 0,010 | 2,016 |
| 9,00 | 0,003 | 0,013 | 0,075 | 0,609 | 0,172 | 0,110 | 0,187 | 0,010 | 1,175 |
| 10,00 | 0,002 | 0,008 | 0,044 | 0,358 | 0,101 | 0,065 | 0,110 | 0,010 | 0,696 |
| 11,00 | 0,001 | 0,005 | 0,026 | 0,211 | 0,060 | 0,038 | 0,065 | 0,010 | 0,414 |
| 12,00 | 0,001 | 0,003 | 0,015 | 0,124 | 0,035 | 0,022 | 0,038 | 0,010 | 0,247 |
| 13,00 | 0,000 | 0,002 | 0,009 | 0,073 | 0,021 | 0,013 | 0,022 | 0,010 | 0,150 |
| 14,00 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,043 | 0,012 | 0,008 | 0,013 | 0,010 | 0,092 |
| 15,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,025 | 0,007 | 0,005 | 0,008 | 0,010 | 0,058 |
| 16,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,015 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,010 | 0,038 |
| 17,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,009 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,027 |
| 18,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,020 |
| 19,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,016 |
| 20,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,013 |
| 21,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,012 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,011 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.59 Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan Nakayasu Berbagai Kala Ulang

| Waktu | Debit Banjir Rancangan (m^3/dt) | | | | | |
|--------------|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Q_{2 Th} | Q_{5 Th} | Q_{10 Th} | Q_{25Th} | Q_{50 Th} | Q_{100 Th} |
| 0,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,563 | 0,802 | 0,997 | 1,291 | 1,548 | 1,842 |
| 2,00 | 1,732 | 2,555 | 3,346 | 4,445 | 5,592 | 6,813 |
| 3,00 | 10,532 | 14,873 | 18,099 | 23,203 | 27,185 | 31,989 |
| 4,00 | 4,897 | 7,092 | 9,008 | 11,798 | 14,431 | 17,353 |
| 5,00 | 2,901 | 4,174 | 5,248 | 6,839 | 8,286 | 9,916 |
| 6,00 | 2,038 | 2,924 | 3,663 | 4,763 | 5,750 | 6,869 |
| 7,00 | 1,061 | 1,520 | 1,901 | 2,470 | 2,979 | 3,557 |
| 8,00 | 0,604 | 0,863 | 1,079 | 1,401 | 1,689 | 2,016 |
| 9,00 | 0,355 | 0,506 | 0,631 | 0,818 | 0,985 | 1,175 |
| 10,00 | 0,213 | 0,302 | 0,375 | 0,485 | 0,584 | 0,696 |
| 11,00 | 0,129 | 0,182 | 0,225 | 0,290 | 0,348 | 0,414 |
| 12,00 | 0,080 | 0,111 | 0,137 | 0,175 | 0,209 | 0,247 |
| 13,00 | 0,051 | 0,069 | 0,084 | 0,107 | 0,127 | 0,150 |
| 14,00 | 0,034 | 0,045 | 0,054 | 0,067 | 0,079 | 0,092 |
| 15,00 | 0,024 | 0,031 | 0,036 | 0,044 | 0,051 | 0,058 |
| 16,00 | 0,018 | 0,022 | 0,025 | 0,030 | 0,034 | 0,038 |
| 17,00 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 0,022 | 0,024 | 0,027 |
| 18,00 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,017 | 0,018 | 0,020 |
| 19,00 | 0,012 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,016 |
| 20,00 | 0,011 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 0,013 | 0,013 |
| 21,00 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,012 | 0,012 |
| 22,00 | 0,010 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| 23,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,011 |
| 24,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| MAX | 10,532 | 14,873 | 18,099 | 23,203 | 27,185 | 31,989 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.60 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 2 Tahun

| T | HSS (Qt) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------------------|
| | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | | |
| | | 1,557 | 4,256 | 27,715 | 2,284 | 1,557 | 1,557 | | |
| | (m ³ /det/mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,199 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,209 |
| 2,00 | 0,125 | 0,194 | 0,543 | 0,000 | | | | 0,010 | 0,747 |
| 3,00 | 0,100 | 0,156 | 0,531 | 3,536 | 0,000 | | | 0,010 | 4,232 |
| 4,00 | 0,076 | 0,119 | 0,426 | 3,455 | 0,291 | 0,000 | | 0,010 | 4,301 |
| 5,00 | 0,057 | 0,089 | 0,325 | 2,772 | 0,285 | 0,199 | 0,000 | 0,010 | 3,680 |
| 6,00 | 0,042 | 0,066 | 0,243 | 2,117 | 0,228 | 0,194 | 0,199 | 0,010 | 3,058 |
| 7,00 | 0,031 | 0,049 | 0,180 | 1,585 | 0,174 | 0,156 | 0,194 | 0,010 | 2,349 |
| 8,00 | 0,023 | 0,036 | 0,133 | 1,175 | 0,131 | 0,119 | 0,156 | 0,010 | 1,759 |
| 9,00 | 0,017 | 0,026 | 0,098 | 0,866 | 0,097 | 0,089 | 0,119 | 0,010 | 1,305 |
| 10,00 | 0,012 | 0,019 | 0,072 | 0,637 | 0,071 | 0,066 | 0,089 | 0,010 | 0,964 |
| 11,00 | 0,009 | 0,014 | 0,052 | 0,467 | 0,052 | 0,049 | 0,066 | 0,010 | 0,710 |
| 12,00 | 0,007 | 0,010 | 0,038 | 0,341 | 0,038 | 0,036 | 0,049 | 0,010 | 0,523 |
| 13,00 | 0,005 | 0,007 | 0,028 | 0,249 | 0,028 | 0,026 | 0,036 | 0,010 | 0,385 |
| 14,00 | 0,003 | 0,005 | 0,020 | 0,182 | 0,021 | 0,019 | 0,026 | 0,010 | 0,284 |
| 15,00 | 0,003 | 0,004 | 0,015 | 0,133 | 0,015 | 0,014 | 0,019 | 0,010 | 0,210 |
| 16,00 | 0,002 | 0,003 | 0,011 | 0,097 | 0,011 | 0,010 | 0,014 | 0,010 | 0,156 |
| 17,00 | 0,001 | 0,002 | 0,008 | 0,071 | 0,008 | 0,007 | 0,010 | 0,010 | 0,116 |
| 18,00 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,051 | 0,006 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,088 |
| 19,00 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,038 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,066 |
| 20,00 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,027 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,051 |
| 21,00 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,020 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,040 |
| 22,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,014 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,010 | 0,032 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,011 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,026 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,010 | 0,022 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.61 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 5 Tahun

| T | HSS (Qt) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------------------|
| | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | | |
| | | 2,230 | 6,318 | 39,025 | 3,717 | 2,230 | 2,230 | | |
| | (m ³ /det/mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,284 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,294 |
| 2,00 | 0,125 | 0,278 | 0,806 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,094 |
| 3,00 | 0,100 | 0,223 | 0,788 | 4,979 | 0,000 | | | 0,010 | 5,999 |
| 4,00 | 0,076 | 0,170 | 0,632 | 4,866 | 0,474 | 0,000 | | 0,010 | 6,152 |
| 5,00 | 0,057 | 0,128 | 0,483 | 3,904 | 0,463 | 0,284 | 0,000 | 0,010 | 5,272 |
| 6,00 | 0,042 | 0,095 | 0,361 | 2,981 | 0,372 | 0,278 | 0,284 | 0,010 | 4,381 |
| 7,00 | 0,031 | 0,070 | 0,268 | 2,232 | 0,284 | 0,223 | 0,278 | 0,010 | 3,365 |
| 8,00 | 0,023 | 0,051 | 0,198 | 1,655 | 0,213 | 0,170 | 0,223 | 0,010 | 2,520 |
| 9,00 | 0,017 | 0,038 | 0,145 | 1,220 | 0,158 | 0,128 | 0,170 | 0,010 | 1,868 |
| 10,00 | 0,012 | 0,027 | 0,106 | 0,896 | 0,116 | 0,095 | 0,128 | 0,010 | 1,378 |
| 11,00 | 0,009 | 0,020 | 0,078 | 0,657 | 0,085 | 0,070 | 0,095 | 0,010 | 1,014 |
| 12,00 | 0,007 | 0,015 | 0,057 | 0,481 | 0,063 | 0,051 | 0,070 | 0,010 | 0,746 |
| 13,00 | 0,005 | 0,011 | 0,042 | 0,351 | 0,046 | 0,038 | 0,051 | 0,010 | 0,548 |
| 14,00 | 0,003 | 0,008 | 0,030 | 0,256 | 0,033 | 0,027 | 0,038 | 0,010 | 0,403 |
| 15,00 | 0,003 | 0,006 | 0,022 | 0,187 | 0,024 | 0,020 | 0,027 | 0,010 | 0,297 |
| 16,00 | 0,002 | 0,004 | 0,016 | 0,136 | 0,018 | 0,015 | 0,020 | 0,010 | 0,219 |
| 17,00 | 0,001 | 0,003 | 0,012 | 0,099 | 0,013 | 0,011 | 0,015 | 0,010 | 0,163 |
| 18,00 | 0,001 | 0,002 | 0,009 | 0,073 | 0,009 | 0,008 | 0,011 | 0,010 | 0,121 |
| 19,00 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,053 | 0,007 | 0,006 | 0,008 | 0,010 | 0,091 |
| 20,00 | 0,001 | 0,001 | 0,005 | 0,038 | 0,005 | 0,004 | 0,006 | 0,010 | 0,069 |
| 21,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,028 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,053 |
| 22,00 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,020 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,041 |
| 23,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,015 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,010 | 0,033 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,011 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,027 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.62 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 10 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------|
| | | R ₁ 2,779 | R ₂ 8,337 | R ₃ 47,240 | R ₄ 5,558 | R ₅ 2,779 | R ₆ 2,779 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,355 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,365 |
| 2,00 | 0,125 | 0,346 | 1,064 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,420 |
| 3,00 | 0,100 | 0,278 | 1,039 | 6,027 | 0,000 | | | 0,010 | 7,354 |
| 4,00 | 0,076 | 0,212 | 0,834 | 5,890 | 0,709 | 0,000 | | 0,010 | 7,655 |
| 5,00 | 0,057 | 0,159 | 0,637 | 4,725 | 0,693 | 0,355 | 0,000 | 0,010 | 6,579 |
| 6,00 | 0,042 | 0,118 | 0,477 | 3,609 | 0,556 | 0,346 | 0,355 | 0,010 | 5,470 |
| 7,00 | 0,031 | 0,087 | 0,354 | 2,702 | 0,425 | 0,278 | 0,346 | 0,010 | 4,201 |
| 8,00 | 0,023 | 0,064 | 0,261 | 2,003 | 0,318 | 0,212 | 0,278 | 0,010 | 3,146 |
| 9,00 | 0,017 | 0,047 | 0,191 | 1,477 | 0,236 | 0,159 | 0,212 | 0,010 | 2,332 |
| 10,00 | 0,012 | 0,034 | 0,140 | 1,085 | 0,174 | 0,118 | 0,159 | 0,010 | 1,720 |
| 11,00 | 0,009 | 0,025 | 0,103 | 0,795 | 0,128 | 0,087 | 0,118 | 0,010 | 1,265 |
| 12,00 | 0,007 | 0,018 | 0,075 | 0,582 | 0,094 | 0,064 | 0,087 | 0,010 | 0,929 |
| 13,00 | 0,005 | 0,013 | 0,055 | 0,425 | 0,068 | 0,047 | 0,064 | 0,010 | 0,682 |
| 14,00 | 0,003 | 0,010 | 0,040 | 0,310 | 0,050 | 0,034 | 0,047 | 0,010 | 0,501 |
| 15,00 | 0,003 | 0,007 | 0,029 | 0,227 | 0,037 | 0,025 | 0,034 | 0,010 | 0,369 |
| 16,00 | 0,002 | 0,005 | 0,021 | 0,165 | 0,027 | 0,018 | 0,025 | 0,010 | 0,272 |
| 17,00 | 0,001 | 0,004 | 0,015 | 0,120 | 0,019 | 0,013 | 0,018 | 0,010 | 0,201 |
| 18,00 | 0,001 | 0,003 | 0,011 | 0,088 | 0,014 | 0,010 | 0,013 | 0,010 | 0,149 |
| 19,00 | 0,001 | 0,002 | 0,008 | 0,064 | 0,010 | 0,007 | 0,010 | 0,010 | 0,111 |
| 20,00 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,047 | 0,008 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,084 |
| 21,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,034 | 0,005 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,064 |
| 22,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,025 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,049 |
| 23,00 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,018 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,038 |
| 24,00 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,013 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,031 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.63 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 25 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow (m ³ /det) | Q |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------|
| | | R ₁ 3,606 | R ₂ 11,118 | R ₃ 60,398 | R ₄ 7,813 | R ₅ 3,606 | R ₆ 3,606 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,460 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,470 |
| 2,00 | 0,125 | 0,450 | 1,418 | 0,000 | | | | 0,010 | 1,878 |
| 3,00 | 0,100 | 0,361 | 1,386 | 7,705 | 0,000 | | | 0,010 | 9,462 |
| 4,00 | 0,076 | 0,275 | 1,112 | 7,530 | 0,997 | 0,000 | | 0,010 | 9,925 |
| 5,00 | 0,057 | 0,206 | 0,849 | 6,042 | 0,974 | 0,460 | 0,000 | 0,010 | 8,541 |
| 6,00 | 0,042 | 0,153 | 0,636 | 4,614 | 0,781 | 0,450 | 0,460 | 0,010 | 7,104 |
| 7,00 | 0,031 | 0,113 | 0,471 | 3,455 | 0,597 | 0,361 | 0,450 | 0,010 | 5,456 |
| 8,00 | 0,023 | 0,083 | 0,348 | 2,561 | 0,447 | 0,275 | 0,361 | 0,010 | 4,085 |
| 9,00 | 0,017 | 0,061 | 0,255 | 1,888 | 0,331 | 0,206 | 0,275 | 0,010 | 3,027 |
| 10,00 | 0,012 | 0,044 | 0,187 | 1,387 | 0,244 | 0,153 | 0,206 | 0,010 | 2,232 |
| 11,00 | 0,009 | 0,032 | 0,137 | 1,017 | 0,179 | 0,113 | 0,153 | 0,010 | 1,641 |
| 12,00 | 0,007 | 0,024 | 0,100 | 0,744 | 0,132 | 0,083 | 0,113 | 0,010 | 1,205 |
| 13,00 | 0,005 | 0,017 | 0,073 | 0,544 | 0,096 | 0,061 | 0,083 | 0,010 | 0,884 |
| 14,00 | 0,003 | 0,013 | 0,053 | 0,397 | 0,070 | 0,044 | 0,061 | 0,010 | 0,648 |
| 15,00 | 0,003 | 0,009 | 0,039 | 0,290 | 0,051 | 0,032 | 0,044 | 0,010 | 0,476 |
| 16,00 | 0,002 | 0,007 | 0,028 | 0,211 | 0,037 | 0,024 | 0,032 | 0,010 | 0,350 |
| 17,00 | 0,001 | 0,005 | 0,021 | 0,154 | 0,027 | 0,017 | 0,024 | 0,010 | 0,258 |
| 18,00 | 0,001 | 0,004 | 0,015 | 0,112 | 0,020 | 0,013 | 0,017 | 0,010 | 0,191 |
| 19,00 | 0,001 | 0,003 | 0,011 | 0,082 | 0,015 | 0,009 | 0,013 | 0,010 | 0,142 |
| 20,00 | 0,001 | 0,002 | 0,008 | 0,060 | 0,011 | 0,007 | 0,009 | 0,010 | 0,106 |
| 21,00 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,043 | 0,008 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,080 |
| 22,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,032 | 0,006 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,061 |
| 23,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,023 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,047 |
| 24,00 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,017 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,037 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.64 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 50 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 4,329 | R ₂ 14,070 | R ₃ 70,350 | R ₄ 10,823 | R ₅ 4,329 | R ₆ 4,329 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,552 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,562 |
| 2,00 | 0,125 | 0,540 | 1,795 | 0,000 | | | | 0,010 | 2,345 |
| 3,00 | 0,100 | 0,433 | 1,754 | 8,975 | 0,000 | | | 0,010 | 11,172 |
| 4,00 | 0,076 | 0,331 | 1,407 | 8,771 | 1,381 | 0,000 | | 0,010 | 11,900 |
| 5,00 | 0,057 | 0,248 | 1,075 | 7,037 | 1,349 | 0,552 | 0,000 | 0,010 | 10,271 |
| 6,00 | 0,042 | 0,184 | 0,805 | 5,374 | 1,083 | 0,540 | 0,552 | 0,010 | 8,547 |
| 7,00 | 0,031 | 0,135 | 0,597 | 4,024 | 0,827 | 0,433 | 0,540 | 0,010 | 6,565 |
| 8,00 | 0,023 | 0,099 | 0,440 | 2,983 | 0,619 | 0,331 | 0,433 | 0,010 | 4,915 |
| 9,00 | 0,017 | 0,073 | 0,323 | 2,199 | 0,459 | 0,248 | 0,331 | 0,010 | 3,643 |
| 10,00 | 0,012 | 0,053 | 0,237 | 1,616 | 0,338 | 0,184 | 0,248 | 0,010 | 2,685 |
| 11,00 | 0,009 | 0,039 | 0,173 | 1,184 | 0,249 | 0,135 | 0,184 | 0,010 | 1,974 |
| 12,00 | 0,007 | 0,028 | 0,127 | 0,866 | 0,182 | 0,099 | 0,135 | 0,010 | 1,449 |
| 13,00 | 0,005 | 0,021 | 0,092 | 0,633 | 0,133 | 0,073 | 0,099 | 0,010 | 1,062 |
| 14,00 | 0,003 | 0,015 | 0,067 | 0,462 | 0,097 | 0,053 | 0,073 | 0,010 | 0,779 |
| 15,00 | 0,003 | 0,011 | 0,049 | 0,337 | 0,071 | 0,039 | 0,053 | 0,010 | 0,571 |
| 16,00 | 0,002 | 0,008 | 0,036 | 0,246 | 0,052 | 0,028 | 0,039 | 0,010 | 0,419 |
| 17,00 | 0,001 | 0,006 | 0,026 | 0,179 | 0,038 | 0,021 | 0,028 | 0,010 | 0,308 |
| 18,00 | 0,001 | 0,004 | 0,019 | 0,131 | 0,028 | 0,015 | 0,021 | 0,010 | 0,228 |
| 19,00 | 0,001 | 0,003 | 0,014 | 0,095 | 0,020 | 0,011 | 0,015 | 0,010 | 0,168 |
| 20,00 | 0,001 | 0,002 | 0,010 | 0,069 | 0,015 | 0,008 | 0,011 | 0,010 | 0,125 |
| 21,00 | 0,000 | 0,002 | 0,007 | 0,050 | 0,011 | 0,006 | 0,008 | 0,010 | 0,094 |
| 22,00 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,037 | 0,008 | 0,004 | 0,006 | 0,010 | 0,071 |
| 23,00 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,027 | 0,006 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,055 |
| 24,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,019 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,010 | 0,042 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.65 Debit Banjir Rancangan Snyder Kala Ulang 100 Tahun

| T | HSS (Qt) (m ³ /det/mm) | Hujan Jam - Jaman (mm) | | | | | | Base Flow | Q (m ³ /det) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|
| | | R ₁ 5,158 | R ₂ 17,194 | R ₃ 82,533 | R ₄ 13,756 | R ₅ 5,158 | R ₆ 5,158 | | |
| | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | | | | | | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,128 | 0,658 | 0,000 | | | | | 0,010 | 0,668 |
| 2,00 | 0,125 | 0,643 | 2,194 | 0,000 | | | | 0,010 | 2,847 |
| 3,00 | 0,100 | 0,516 | 2,144 | 10,529 | 0,000 | | | 0,010 | 13,199 |
| 4,00 | 0,076 | 0,394 | 1,720 | 10,290 | 1,755 | 0,000 | | 0,010 | 14,169 |
| 5,00 | 0,057 | 0,295 | 1,313 | 8,256 | 1,715 | 0,658 | 0,000 | 0,010 | 12,247 |
| 6,00 | 0,042 | 0,219 | 0,983 | 6,305 | 1,376 | 0,643 | 0,658 | 0,010 | 10,194 |
| 7,00 | 0,031 | 0,161 | 0,729 | 4,721 | 1,051 | 0,516 | 0,643 | 0,010 | 7,831 |
| 8,00 | 0,023 | 0,118 | 0,538 | 3,500 | 0,787 | 0,394 | 0,516 | 0,010 | 5,863 |
| 9,00 | 0,017 | 0,087 | 0,395 | 2,580 | 0,583 | 0,295 | 0,394 | 0,010 | 4,344 |
| 10,00 | 0,012 | 0,064 | 0,289 | 1,896 | 0,430 | 0,219 | 0,295 | 0,010 | 3,202 |
| 11,00 | 0,009 | 0,046 | 0,212 | 1,389 | 0,316 | 0,161 | 0,219 | 0,010 | 2,353 |
| 12,00 | 0,007 | 0,034 | 0,155 | 1,017 | 0,232 | 0,118 | 0,161 | 0,010 | 1,726 |
| 13,00 | 0,005 | 0,025 | 0,113 | 0,743 | 0,169 | 0,087 | 0,118 | 0,010 | 1,265 |
| 14,00 | 0,003 | 0,018 | 0,082 | 0,542 | 0,124 | 0,064 | 0,087 | 0,010 | 0,927 |
| 15,00 | 0,003 | 0,013 | 0,060 | 0,396 | 0,090 | 0,046 | 0,064 | 0,010 | 0,679 |
| 16,00 | 0,002 | 0,010 | 0,044 | 0,289 | 0,066 | 0,034 | 0,046 | 0,010 | 0,498 |
| 17,00 | 0,001 | 0,007 | 0,032 | 0,210 | 0,048 | 0,025 | 0,034 | 0,010 | 0,366 |
| 18,00 | 0,001 | 0,005 | 0,023 | 0,153 | 0,035 | 0,018 | 0,025 | 0,010 | 0,270 |
| 19,00 | 0,001 | 0,004 | 0,017 | 0,112 | 0,026 | 0,013 | 0,018 | 0,010 | 0,199 |
| 20,00 | 0,001 | 0,003 | 0,012 | 0,081 | 0,019 | 0,010 | 0,013 | 0,010 | 0,148 |
| 21,00 | 0,000 | 0,002 | 0,009 | 0,059 | 0,014 | 0,007 | 0,010 | 0,010 | 0,110 |
| 22,00 | 0,000 | 0,001 | 0,007 | 0,043 | 0,010 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,083 |
| 23,00 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,031 | 0,007 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,063 |
| 24,00 | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,023 | 0,005 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,049 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.66 Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan Snyder Berbagai Kala Ulang

| Waktu | Debit Banjir Rancangan (m^3/dt) | | | | | |
|--------------|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Q_{2 Th} | Q_{5 Th} | Q_{10 Th} | Q_{25Th} | Q_{50 Th} | Q_{100 Th} |
| 0,00 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 1,00 | 0,209 | 0,294 | 0,365 | 0,470 | 0,562 | 0,668 |
| 2,00 | 0,747 | 1,094 | 1,420 | 1,878 | 2,345 | 2,847 |
| 3,00 | 4,232 | 5,999 | 7,354 | 9,462 | 11,172 | 13,199 |
| 4,00 | 4,301 | 6,152 | 7,655 | 9,925 | 11,900 | 14,169 |
| 5,00 | 3,680 | 5,272 | 6,579 | 8,541 | 10,271 | 12,247 |
| 6,00 | 3,058 | 4,381 | 5,470 | 7,104 | 8,547 | 10,194 |
| 7,00 | 2,349 | 3,365 | 4,201 | 5,456 | 6,565 | 7,831 |
| 8,00 | 1,759 | 2,520 | 3,146 | 4,085 | 4,915 | 5,863 |
| 9,00 | 1,305 | 1,868 | 2,332 | 3,027 | 3,643 | 4,344 |
| 10,00 | 0,964 | 1,378 | 1,720 | 2,232 | 2,685 | 3,202 |
| 11,00 | 0,710 | 1,014 | 1,265 | 1,641 | 1,974 | 2,353 |
| 12,00 | 0,523 | 0,746 | 0,929 | 1,205 | 1,449 | 1,726 |
| 13,00 | 0,385 | 0,548 | 0,682 | 0,884 | 1,062 | 1,265 |
| 14,00 | 0,284 | 0,403 | 0,501 | 0,648 | 0,779 | 0,927 |
| 15,00 | 0,210 | 0,297 | 0,369 | 0,476 | 0,571 | 0,679 |
| 16,00 | 0,156 | 0,219 | 0,272 | 0,350 | 0,419 | 0,498 |
| 17,00 | 0,116 | 0,163 | 0,201 | 0,258 | 0,308 | 0,366 |
| 18,00 | 0,088 | 0,121 | 0,149 | 0,191 | 0,228 | 0,270 |
| 19,00 | 0,066 | 0,091 | 0,111 | 0,142 | 0,168 | 0,199 |
| 20,00 | 0,051 | 0,069 | 0,084 | 0,106 | 0,125 | 0,148 |
| 21,00 | 0,040 | 0,053 | 0,064 | 0,080 | 0,094 | 0,110 |
| 22,00 | 0,032 | 0,041 | 0,049 | 0,061 | 0,071 | 0,083 |
| 23,00 | 0,026 | 0,033 | 0,038 | 0,047 | 0,055 | 0,063 |
| 24,00 | 0,022 | 0,027 | 0,031 | 0,037 | 0,042 | 0,049 |
| MAX | 4,301 | 6,152 | 7,655 | 9,925 | 11,900 | 14,169 |

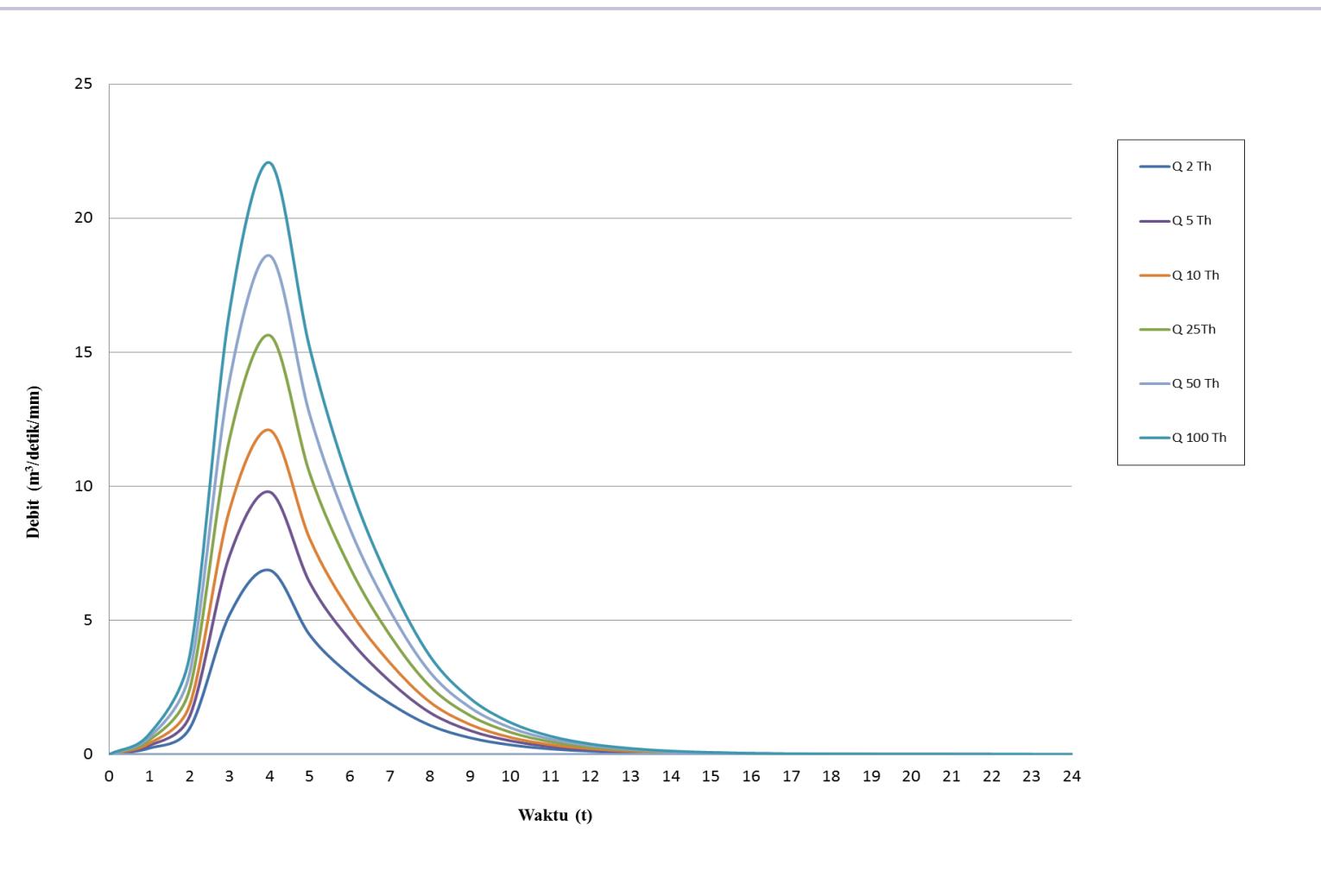
Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.67 Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan untuk Tiga Metode

| Kala Ulang (Tahun) | Qp (m³/dt) | Gamma 1 | Nakayasu | Snyder |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|---------------|
| 2 | | 6,87 | 10,53 | 4,30 |
| 5 | | 9,79 | 14,87 | 6,15 |
| 10 | | 12,10 | 18,10 | 7,66 |
| 25 | | 15,63 | 23,20 | 9,92 |
| 50 | | 18,60 | 27,18 | 11,90 |
| 100 | | 22,07 | 31,99 | 14,17 |

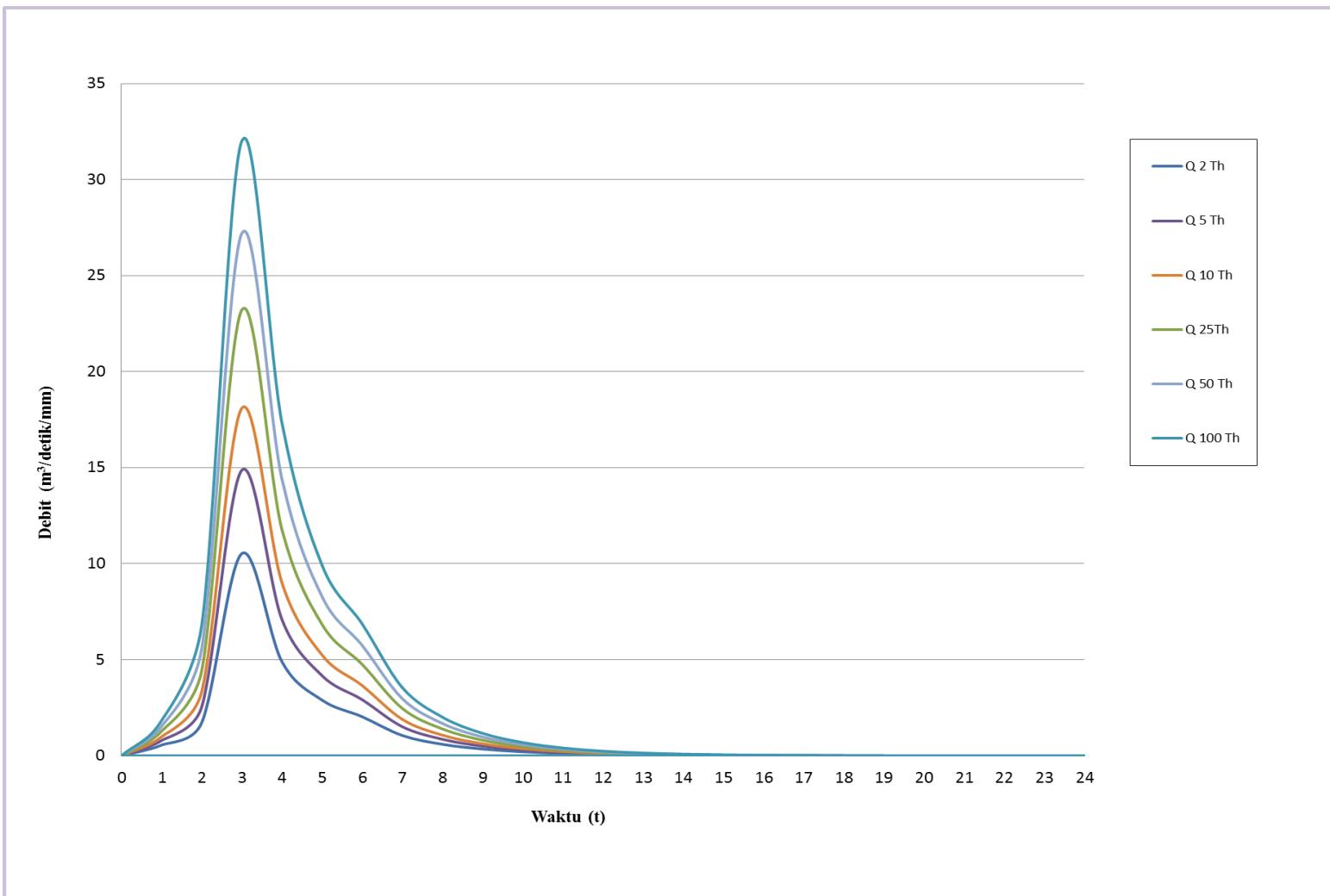
Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari Tabel 4.67 diatas didapat berbagai nilai debit rancangan dari tiga metode tersebut. Untuk kebutuhan analisis selanjutnya dari hasil analisis ketiga metode tersebut dipilihlah metode Nakayasu yang mana hasil yang diperoleh dari metode Nakayasu lebih besar dibanding yang lainnya sehingga diharapkan nilai keamanan dari desain embung yang didasarkan pada nilai debit banjir rancangan metode Nakayasu dapat lebih terjamin.



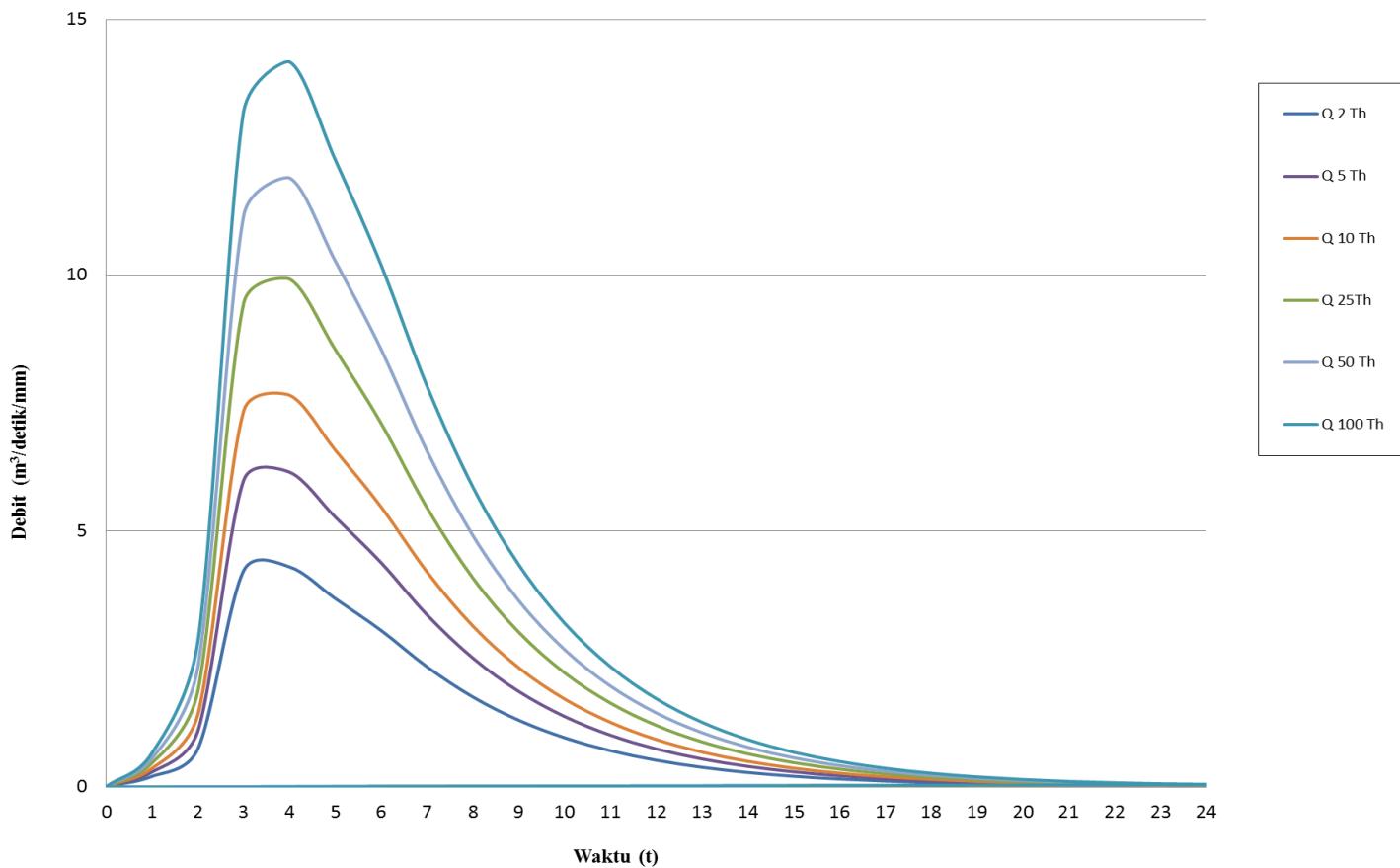
Gambar 4.4 Hidrograf Banjir Rancangan Metode Gama I

Sumber : Analisis Perhitungan, 2017



Gambar 4.5 Hidrograf Banjir Rancangan Metode Nakayasu

Sumber : Analisis Perhitungan, 2017



Gambar 4.6 Hidrograf Banjir Rancangan Metode Snyder

Sumber : Analisis Perhitungan, 2017

4.2 Evapotranspirasi

Dalam analisis ini, metode yang dipakai menggunakan metode Penman. Data klimatologi yang digunakan diambil dari Stasiun Balige dengan ketinggian 920m diatas permukaan laut dengan koordinat $02^{\circ} 19' 00.8''$ LU dan $099^{\circ} 04' 00.2''$ BT. Nilai dari evapotranspirasi potensial ini nantinya akan digunakan sebagai salah satu data input untuk menganalisis pendugaan debit aliran sungai.

Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut (Bulan Januari periode I):

$$\begin{aligned}\text{Suhu (T)} &= 19,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \text{Kelembapan Relatif (RH)} &= 91,6 \% \\ \text{Kecerahan Matahari (n/N)} &= 20,66 \% \\ \text{Kecepatan Angin (u)} &= 0,833 \text{ km/jam} \\ &= 0,231 \text{ m/detik}\end{aligned}$$

- Nilai w dapat dilihat pada Tabel 4.64 dibawah ini. Berdasarkan lokasi studi dengan suhu (T) = $19,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ maka didapatkan w sebesar 0,685.

Tabel 4.68 Hubungan T dengan εY , w , $f(t)$

| Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | εY (mbar) | w | 1-w | f(t) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | εY (mbar) | w | 1-w | f(t) |
|--------------------------------|---------------------------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------|-------|-------|--------|
| 19 | 19,145 | 0,685 | 0,315 | 14,275 | 22,2 | 25,993 | 0,717 | 0,283 | 14,995 |
| 19,2 | 19,573 | 0,687 | 0,313 | 14,32 | 22,4 | 26,421 | 0,719 | 0,281 | 15,04 |
| 19,4 | 20,001 | 0,689 | 0,311 | 14,365 | 22,6 | 26,849 | 0,721 | 0,279 | 15,085 |
| 19,6 | 20,429 | 0,691 | 0,309 | 14,41 | 22,8 | 27,277 | 0,723 | 0,277 | 15,13 |
| 19,8 | 20,857 | 0,693 | 0,307 | 14,455 | 23 | 27,705 | 0,725 | 0,275 | 15,175 |
| 20 | 21,285 | 0,695 | 0,305 | 14,5 | 23,2 | 28,133 | 0,727 | 0,273 | 15,22 |
| 20,2 | 21,713 | 0,697 | 0,303 | 14,545 | 23,4 | 28,561 | 0,729 | 0,271 | 15,265 |
| 20,4 | 22,141 | 0,699 | 0,301 | 14,59 | 23,6 | 28,989 | 0,731 | 0,269 | 15,31 |
| 20,6 | 22,569 | 0,701 | 0,299 | 14,635 | 23,8 | 29,417 | 0,733 | 0,267 | 15,355 |
| 20,8 | 22,997 | 0,703 | 0,297 | 14,68 | 24 | 29,845 | 0,735 | 0,265 | 15,4 |
| 21 | 23,425 | 0,705 | 0,295 | 14,725 | 24,2 | 30,273 | 0,737 | 0,263 | 15,445 |
| 21,2 | 23,853 | 0,707 | 0,293 | 14,77 | 24,4 | 30,581 | 0,739 | 0,261 | 15,491 |
| 21,4 | 24,281 | 0,709 | 0,291 | 14,815 | 24,6 | 30,95 | 0,741 | 0,259 | 15,536 |
| 21,6 | 24,709 | 0,711 | 0,289 | 14,86 | 24,8 | 31,319 | 0,743 | 0,257 | 15,581 |
| 21,8 | 25,137 | 0,713 | 0,287 | 14,905 | 25 | 31,688 | 0,745 | 0,255 | 15,627 |
| 22 | 25,565 | 0,715 | 0,285 | 14,95 | 22,2 | 25,993 | 0,717 | 0,283 | 14,995 |

Sumber: Limantara (2010 : 31)

- Nilai tekanan uap yang nyata (εY) pada suhu $T = 19,0^{\circ}\text{C}$ dari Tabel 4.64 didapat 19,145 mbar.
- Dari Tabel 4.64 dengan $T = 19,0^{\circ}\text{C}$ didapat $f(t) = 14,275$.
- Tekanan uap jenuh (ϵ) didapat dari:
$$\begin{aligned}\epsilon d &= \varepsilon Y \cdot RH/100 \\ &= 19,145 \cdot 91,6\% \\ &= 17,537 \text{ mbar}\end{aligned}$$
- Dengan $\epsilon d = 17,537$ mbar, maka diperoleh:
$$\begin{aligned}f(\epsilon d) &= 0,34 - 0,044 \sqrt{\epsilon d} \\ &= 0,34 - 0,044 \sqrt{17,537} \\ &= 0,156 \text{ mbar}\end{aligned}$$
- Nilai anggot radiasi matahari yang mencapai atmosfer (Ra) dapat dilihat pada Tabel 4.69. Untuk lokasi studi 2,317 LS diperoleh $RY = 15,332 \text{ mm/hari}$.

Tabel 4.69 Harga RY untuk Indonesia (5° LU s/d 10° LS)

| Bulan | Letak Lintang | | | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | 5° LU | 4° LU | 2° LU | 0 | 2° LS | 4° LS | 6° LS | 8° LS | 10° LS |
| | 5 | 4 | 2 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Januari | 13 | 14,3 | 14,7 | 15 | 15,3 | 15,5 | 15,8 | 16,1 | 16,1 |
| Februari | 14 | 15 | 15,3 | 15,5 | 15,7 | 15,8 | 16 | 16,1 | 16 |
| Maret | 15 | 15,5 | 15,6 | 15,7 | 15,65 | 15,6 | 15,6 | 15,5 | 15,3 |
| April | 15,1 | 15,5 | 15,3 | 15,3 | 15,1 | 14,9 | 14,7 | 14,4 | 14 |
| Mei | 15,3 | 14,9 | 14,6 | 14,4 | 14,1 | 13,9 | 13,4 | 13,1 | 12,6 |
| Juni | 15 | 14,4 | 14,2 | 13,9 | 13,5 | 13,2 | 12,8 | 12,4 | 12,6 |
| Juli | 15,1 | 14,6 | 14,3 | 14,1 | 13,7 | 13,4 | 13,1 | 12,7 | 11,8 |
| Agustus | 15,3 | 15,1 | 14,9 | 14,8 | 14,5 | 14,3 | 14 | 13,7 | 12,2 |
| September | 15,1 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,2 | 15,1 | 15 | 14,9 | 13,3 |
| Oktober | 15,7 | 15,1 | 15,2 | 15,4 | 15,5 | 15,6 | 15,7 | 15,8 | 14,6 |
| November | 14,8 | 14,5 | 14,8 | 15,1 | 15,3 | 15,5 | 15,75 | 16 | 15,6 |
| Desember | 14,6 | 14,1 | 14,4 | 14,8 | 15,1 | 15,4 | 15,7 | 16,1 | 16 |

Sumber: Limantara (2010:27)

- Nilai radiasi gelombang pendek yang diterima bumi, sebesar:
$$\begin{aligned}Rs &= (0,25 + 0,54 n/N) RY \\ &= (0,25 + 0,54 \cdot 20,66\%) \cdot 15,332 = 5,544 \text{ mm/hari}\end{aligned}$$
- Nilai $f(n/N)$ didapat dari:
$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 n/N$$

$$= 0,1 + 0,9 \cdot 20,66\%$$

$$= 0,286$$

- Nilai $f(u)$ diperoleh dari:

$$\begin{aligned} f(u) &= 0,27 (1 + 0,864 u) \\ &= 0,27 (1 + 0,864 \cdot 0,231) \\ &= 0,324 \text{ mm/detik} \end{aligned}$$

- Nilai $Rn1$ didapat dari:

$$\begin{aligned} Rn1 &= f(t) \cdot f(\varepsilon d) \cdot f(n/N) \\ &= 14,275 \cdot 0,156 \cdot 0,286 \\ &= 0,636 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

- Nilai angka koreksi (c) bulanan diperoleh dari Tabel 4.70 berikut:

Tabel 4.70 Angka koreksi (c) bulanan untuk rumus Penman

| Bulan | Jan | Feb | Mar | Apr | Mei | Jun |
|-------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| c | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Bulan | Jul | Agus | Sept | Okt | Nov | Des |
| c | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

Sumber: Limantara (2010;30)

- $Eto^* = [w(0,75Rs - Rn1) + (1-w) f(u) (\varepsilon y - \varepsilon d)]$
 $= [0,685(0,75 \cdot 5,544 - 0,636) + (1-0,685) \cdot 0,324 \cdot (19,145 - 17,537)]$
 $= 2,577 \text{ mm/hari}$
- $Eto = c \cdot Eto^*$
 $= 1,1 \cdot 2,577$
 $= 2,834 \text{ mm/hari}$

Untuk perhitungan bulan-bulan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.68.

Tabel 4.71 Analisa Evapotranspirasi Potensial dengan Metode Penman

| Parameter | Satuan | Bulan | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Jan | | Feb | | Mar | | Apr | | Mei | | Jun | |
| | | I | II |
| DATA | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur (T) | °C | 19 | 24,4 | 22,6 | 21,8 | 21,05 | 22,73 | 21,81 | 22,7 | 22,3 | 21,77 | 22,65 | 22,8 |
| Kelembapan Relatif (RH) | % | 91,6 | 88,73 | 88,4 | 89 | 93 | 91,82 | 91,6 | 89 | 86,6 | 88,18 | 85,4 | 86,6 |
| Kecerahan Matahari (n/N) | % | 20,66 | 29,61 | 32,91 | 20,82 | 28,15 | 41,94 | 35,43 | 38,90 | 41,12 | 37,64 | 41,80 | 61,12 |
| Kecepatan Angin (u) | km/jam | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 |
| | m/dt | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 |
| PERHITUNGAN | | | | | | | | | | | | | |
| w | | 0,685 | 0,739 | 0,721 | 0,713 | 0,706 | 0,722 | 0,713 | 0,722 | 0,718 | 0,713 | 0,722 | 0,723 |
| εY | mbar | 19,145 | 30,701 | 26,849 | 25,137 | 23,532 | 27,127 | 25,158 | 27,063 | 26,207 | 25,073 | 26,956 | 27,277 |
| f(t) | | 14,275 | 15,490 | 15,085 | 14,905 | 14,736 | 15,114 | 14,907 | 15,108 | 15,018 | 14,898 | 15,096 | 15,130 |
| εd | mbar | 17,537 | 27,241 | 23,735 | 22,372 | 21,885 | 24,908 | 23,045 | 24,086 | 22,695 | 22,109 | 23,020 | 23,622 |
| f(εd) | mbar | 0,156 | 0,110 | 0,126 | 0,132 | 0,134 | 0,120 | 0,129 | 0,124 | 0,130 | 0,133 | 0,129 | 0,126 |
| $R Y$ | mm/hari | 15,332 | 15,332 | 15,716 | 15,716 | 15,642 | 15,642 | 15,068 | 15,068 | 14,068 | 14,068 | 13,452 | 13,452 |
| R_s | mm/hari | 5,544 | 6,284 | 6,722 | 5,696 | 6,288 | 7,453 | 6,650 | 6,932 | 6,641 | 6,377 | 6,400 | 7,803 |
| f(n/N) | | 0,286 | 0,367 | 0,396 | 0,287 | 0,353 | 0,477 | 0,419 | 0,450 | 0,470 | 0,439 | 0,476 | 0,650 |
| f(U) | mm/detik | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 |
| R_{n1} | mm/hari | 0,636 | 0,626 | 0,751 | 0,565 | 0,699 | 0,869 | 0,804 | 0,844 | 0,921 | 0,870 | 0,927 | 1,241 |
| c | | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |
| Eto^* | mm/hari | 2,577 | 3,313 | 3,375 | 2,900 | 2,991 | 3,609 | 3,180 | 3,413 | 3,236 | 3,064 | 3,150 | 3,662 |
| Eto | mm/hari | 2,834 | 3,644 | 3,712 | 3,190 | 3,291 | 3,970 | 2,862 | 3,072 | 2,913 | 2,758 | 2,835 | 3,296 |

Lanjutan Tabel 4.71 Analisa Evapotranspirasi Potensial dengan Metode Penman

| Parameter | Satuan | Bulan | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Jul | | Agus | | Sept | | Okt | | Nov | | Des | |
| | | I | II |
| DATA | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur (T) | °C | 22,35 | 22,91 | 21,55 | 21,91 | 22,1 | 20,65 | 21,85 | 22,04 | 19,55 | 23,45 | 22,8 | 22,54 |
| Kelembapan Relatif (RH) | % | 89,6 | 90,36 | 89 | 80,91 | 88,4 | 91,4 | 87,8 | 90,36 | 90,8 | 90,2 | 91,1 | 94,27 |
| Kecerahan Matahari (n/N) | % | 54,76 | 56,35 | 81,23 | 78,47 | 70,58 | 71,50 | 78,72 | 72,39 | 78,60 | 46,72 | 45,10 | 64,54 |
| Kecepatan Angin (u) | km/jam | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 |
| | m/dt | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 | 0,231 |
| PERHITUNGAN | | | | | | | | | | | | | |
| w | | 0,719 | 0,724 | 0,711 | 0,714 | 0,716 | 0,702 | 0,714 | 0,715 | 0,691 | 0,730 | 0,723 | 0,720 |
| εY | mbar | 26,314 | 27,512 | 24,602 | 25,372 | 25,779 | 22,676 | 25,244 | 25,651 | 20,322 | 28,668 | 27,277 | 26,721 |
| f(t) | | 15,029 | 15,155 | 14,849 | 14,930 | 14,973 | 14,646 | 14,916 | 14,959 | 14,399 | 15,276 | 15,130 | 15,072 |
| εd | mbar | 23,577 | 24,860 | 21,896 | 20,529 | 22,789 | 20,726 | 22,164 | 23,178 | 18,452 | 25,859 | 24,849 | 25,190 |
| f(εd) | mbar | 0,126 | 0,121 | 0,134 | 0,141 | 0,130 | 0,140 | 0,133 | 0,128 | 0,151 | 0,116 | 0,121 | 0,119 |
| R γ | mm/hari | 13,652 | 13,652 | 14,468 | 14,468 | 15,184 | 15,184 | 15,516 | 15,516 | 15,332 | 15,332 | 15,148 | 15,148 |
| R _s | mm/hari | 7,450 | 7,568 | 9,964 | 9,748 | 9,583 | 9,659 | 10,475 | 9,944 | 10,340 | 7,701 | 7,476 | 9,066 |
| f(n/N) | | 0,593 | 0,607 | 0,831 | 0,806 | 0,735 | 0,744 | 0,809 | 0,751 | 0,807 | 0,521 | 0,506 | 0,681 |
| f(U) | mm/detik | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 | 0,324 |
| R _{n1} | mm/hari | 1,126 | 1,110 | 1,655 | 1,693 | 1,431 | 1,521 | 1,602 | 1,441 | 1,755 | 0,924 | 0,924 | 1,223 |
| c | | 0,900 | 0,900 | 1,000 | 1,000 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 |
| E _{to} * | mm/hari | 3,455 | 3,543 | 4,387 | 4,460 | 4,397 | 4,203 | 4,748 | 4,533 | 4,330 | 3,785 | 3,604 | 4,156 |
| E _{to} | mm/hari | 3,110 | 3,189 | 4,387 | 4,460 | 4,837 | 4,624 | 5,223 | 4,986 | 4,763 | 4,164 | 3,964 | 4,572 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.3 Kebutuhan Air Irigasi

4.3.1 Analisa Curah Hujan Efektif Tanaman

Analisis yang dipakai merupakan data curah hujan 15 harian yang diambil selama 10 tahun terakhir (tahun 2006 sampai 2015). Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan 70% dari hujan 80%(R80). Sedangkan tanaman palawija ditentukan dengan R50.

Berikut perhitungan curah hujan rancangan dan curah hujan efektif tanaman:

Tabel 4.72 Rerata Curah hujan 15 harian (mm)

| Tahun | JAN | | FEB | | MAR | | APR | | MEI | | JUN | |
|--------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | I | II |
| 2006 | 243 | 34 | 170 | 60 | 21 | 130 | 213 | 125 | 126 | 58 | 136 | 70 |
| 2007 | 164 | 116 | 61 | 103 | 72 | 136 | 98 | 80 | 144 | 98 | 96 | 45 |
| 2008 | 96 | 55 | 55 | 73 | 192 | 84 | 114 | 92 | 0 | 39 | 30 | 31 |
| 2009 | 69 | 37 | 18 | 93 | 50 | 80 | 42 | 72 | 14 | 12 | 12 | 47 |
| 2010 | 35 | 17 | 3 | 4 | 44 | 109 | 11 | 130 | 23 | 9 | 26 | 113 |
| 2011 | 59 | 8 | 81 | 132 | 45 | 92 | 46 | 115 | 14 | 116 | 12 | 0 |
| 2012 | 74 | 66 | 93 | 104 | 71 | 64 | 64 | 41 | 58 | 67 | 1 | 16 |
| 2013 | 5 | 24 | 104 | 271 | 10 | 46 | 51 | 65 | 10 | 9 | 58 | 25 |
| 2014 | 132 | 66 | 47 | 13 | 55 | 37 | 136 | 100 | 84 | 91 | 41 | 49 |
| 2015 | 150 | 82 | 40 | 52 | 68 | 57 | 107 | 127 | 101 | 120 | 86 | 25 |

| Tahun | JUL | | AGUST | | SEPT | | OKT | | NOV | | DES | |
|--------------|------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 2006 | 27 | 61 | 112 | 95 | 204 | 126 | 177 | 195 | 121 | 63 | 134 | 169 |
| 2007 | 29 | 257 | 20 | 96 | 180 | 138 | 149 | 300 | 114 | 184 | 64 | 119 |
| 2008 | 53 | 144 | 35 | 219 | 56 | 82 | 154 | 117 | 74 | 141 | 222 | 93 |
| 2009 | 10 | 25 | 24 | 246 | 130 | 133 | 27 | 119 | 130 | 107 | 97 | 133 |
| 2010 | 77 | 90 | 17 | 23 | 48 | 85 | 46 | 64 | 64 | 62 | 14 | 78 |
| 2011 | 4 | 6 | 66 | 41 | 106 | 44 | 11 | 84 | 142 | 94 | 92 | 95 |
| 2012 | 115 | 21 | 7 | 263 | 16 | 53 | 16 | 53 | 114 | 72 | 65 | 15 |
| 2013 | 38 | 2 | 1 | 36 | 78 | 0 | 58 | 158 | 113 | 68 | 62 | 31 |
| 2014 | 73 | 37 | 70 | 164 | 152 | 70 | 113 | 189 | 114 | 158 | 104 | 201 |
| 2015 | 9 | 55 | 77 | 85 | 100 | 92 | 40 | 90 | 120 | 119 | 120 | 145 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.73 Perhitungan R_{80} dan R_{50} (mm)

| No | JAN | | FEB | | MAR | | APR | | MEI | | JUN | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | I | II |
| 1 | 5 | 8 | 3 | 4 | 10 | 37 | 11 | 41 | 0 | 9 | 1 | 0 |
| 2 | 35 | 17 | 18 | 13 | 21 | 46 | 42 | 65 | 10 | 9 | 12 | 16 |
| 3 | 59 | 24 | 40 | 52 | 44 | 57 | 46 | 72 | 14 | 12 | 12 | 25 |
| 4 | 69 | 34 | 47 | 60 | 45 | 64 | 51 | 80 | 14 | 39 | 26 | 25 |
| 5 | 74 | 37 | 55 | 73 | 50 | 80 | 64 | 92 | 23 | 58 | 30 | 31 |
| 6 | 96 | 55 | 61 | 93 | 55 | 84 | 98 | 100 | 58 | 67 | 41 | 45 |
| 7 | 132 | 66 | 81 | 103 | 68 | 92 | 107 | 115 | 84 | 91 | 58 | 47 |
| 8 | 150 | 66 | 93 | 104 | 71 | 109 | 114 | 125 | 101 | 98 | 86 | 49 |
| 9 | 164 | 82 | 104 | 132 | 72 | 130 | 136 | 127 | 126 | 116 | 96 | 70 |
| 10 | 243 | 116 | 170 | 271 | 192 | 136 | 213 | 130 | 144 | 120 | 136 | 113 |
| R80 | 59 | 24 | 40 | 52 | 44 | 57 | 46 | 72 | 14 | 12 | 12 | 25 |
| R50 | 96 | 55 | 61 | 93 | 55 | 84 | 98 | 100 | 58 | 67 | 41 | 45 |

| No | JUL | | AGUST | | SEPT | | OKT | | NOV | | DES | |
|-----|-----|-----|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 1 | 4 | 2 | 1 | 23 | 16 | 0 | 11 | 53 | 64 | 62 | 14 | 15 |
| 2 | 9 | 6 | 7 | 36 | 48 | 44 | 16 | 64 | 74 | 63 | 62 | 31 |
| 3 | 10 | 21 | 17 | 41 | 56 | 53 | 27 | 84 | 113 | 68 | 64 | 78 |
| 4 | 27 | 25 | 20 | 85 | 78 | 70 | 40 | 90 | 114 | 72 | 65 | 93 |
| 5 | 29 | 37 | 24 | 95 | 100 | 82 | 46 | 117 | 114 | 94 | 92 | 95 |
| 6 | 38 | 55 | 35 | 96 | 106 | 85 | 58 | 119 | 114 | 107 | 97 | 119 |
| 7 | 53 | 61 | 66 | 164 | 130 | 92 | 113 | 158 | 120 | 119 | 104 | 133 |
| 8 | 73 | 90 | 70 | 219 | 152 | 126 | 149 | 189 | 121 | 141 | 120 | 145 |
| 9 | 77 | 144 | 77 | 246 | 180 | 133 | 154 | 195 | 130 | 158 | 134 | 169 |
| 10 | 115 | 257 | 112 | 263 | 204 | 138 | 177 | 300 | 142 | 184 | 222 | 201 |
| R80 | 10 | 21 | 17 | 41 | 56 | 53 | 27 | 84 | 113 | 68 | 64 | 78 |
| R50 | 38 | 55 | 35 | 96 | 106 | 85 | 58 | 119 | 114 | 107 | 97 | 119 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Keterangan :

Data diurutkan dari yang terkecil ke besar

$$n = 10$$

$$R80 = n/5 + 1$$

$$= 10/5 + 1$$

$$= 3$$

$$R50 = n/2 + 1$$

$$= 10/2 + 1$$

$$= 6$$

Tabel 4.74 Perhitungan Curah Hujan Efektif Tanaman

| Curah Hujan efektif | JAN | | FEB | | MAR | | APR | | MEI | | JUN | |
|--------------------------------|------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| Curah Hujan Efektif Padi | 2,75 | 1,05 | 1,87 | 2,80 | 2,05 | 2,49 | 2,15 | 3,36 | 0,65 | 0,53 | 0,56 | 1,17 |
| Curah Hujan Efektif Palawijaya | 6,40 | 3,44 | 4,07 | 7,15 | 3,67 | 5,25 | 6,53 | 6,67 | 3,87 | 4,19 | 2,73 | 3,00 |
| Curah Hujan efektif | JUL | | AGUST | | SEPT | | OKT | | NOV | | JUN | |
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| Curah Hujan Efektif Padi | 0,47 | 0,92 | 0,79 | 1,79 | 2,61 | 2,47 | 1,26 | 3,68 | 5,27 | 3,17 | 2,99 | 3,41 |
| Curah Hujan Efektif Palawijaya | 2,53 | 3,44 | 2,33 | 6,00 | 7,07 | 5,67 | 3,87 | 7,44 | 7,60 | 7,13 | 6,47 | 7,44 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Keterangan:

n = jumlah hari

Contoh Perhitungan (Bulan Januari periode I)

$$\begin{aligned}
 \text{Curah hujan efektif padi} &= 0,7 \times R80 / n \\
 &= 0,7 \times 59 / 15 \\
 &= 2,75 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Curah hujan efektif palawija} &= R50 / n \\
 &= 96 / 15 \\
 &= 6,40 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Penyiapan Lahan

Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut (Contoh bulan Januari Periode I):

1. Evapotranspirasi Potensial (Eto) = 2,834 mm/hari (dari Tabel 4.67)

$$\begin{aligned}
 \text{2. Nilai Evaporasi (Eo)} &= 1,1 \cdot Eto \\
 &= 1,1 \cdot 2,834 \\
 &= 3,118 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

3. Perkolasi = 2,00 mm/hari

4. Nilai kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air (M) :

$$M = P + Eo$$

$$= 2 + 3,118$$

$$= 5,118 \text{ mm/hari}$$

- | | |
|---|---|
| 5. Jangka waktu untuk penyiapan lahan (T) | = 30 hari |
| 6. Kebutuhan air untuk penjenuhan (S) | = 250 mm |
| 7. Nilai koefisien (k) | = M . T / S |
| | = $5,118 \cdot 30 / 250$ |
| | = 0,614 |
| 8. Bilangan natural (e) | = 2,718 |
| 9. Penyiapan lahan (PL) = $M \cdot e^k / (e^k - 1)$ | |
| | = $5,118 \cdot 2,718^{0,614} / (2,718^{0,614} - 1)$ |
| | = 11,153 mm/hari |
| | = 167,300 mm/bulan |

Untuk perhitungan bulan-bulan selanjutnya sampai bulan Desember disajikan pada Tabel 4.75 sebagai berikut :

Tabel 4.75 Perhitungan Penyiapan Lahan

| No | Parameter | Simbol | Satuan | Bulan | | | | | | | | | | | |
|----|---|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | Jan | | Feb | | Mar | | Apr | | Mei | | Jun | |
| 1 | Evapotranspirasi Potensial | Eto | mm/hari | 2,834 | 3,644 | 3,712 | 3,190 | 3,291 | 3,970 | 2,862 | 3,072 | 2,913 | 2,758 | 2,835 | 3,296 |
| 2 | Evaporasi | Eo | mm/hari | 3,118 | 4,008 | 4,084 | 3,509 | 3,620 | 4,367 | 3,148 | 3,379 | 3,204 | 3,034 | 3,118 | 3,625 |
| 3 | Perkolasi Kebutuhan air | P | mm/hari | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| 4 | untuk mengganti kehilangan air Jangka waktu | M | mm/hari | 5,118 | 6,008 | 6,084 | 5,509 | 5,620 | 6,367 | 5,148 | 5,379 | 5,204 | 5,034 | 5,118 | 5,625 |
| 5 | untuk penyiapan lahan | T | hari | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 6 | Kebutuhan air untuk penjenuhan | S | mm | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 7 | Koefisien | k | | 0,614 | 0,721 | 0,730 | 0,661 | 0,674 | 0,764 | 0,618 | 0,645 | 0,624 | 0,604 | 0,614 | 0,675 |
| 8 | Bilangan natural | e | | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 |
| | Kebutuhan air | | mm/hari | 11,153 | 11,696 | 11,743 | 11,390 | 11,457 | 11,919 | 11,171 | 11,311 | 11,205 | 11,103 | 11,154 | 11,461 |
| 9 | untuk penyiapan lahan | PL | mm/bulan | 167,30 | 187,14 | 176,14 | 148,07 | 171,86 | 190,71 | 167,57 | 169,66 | 168,08 | 177,64 | 167,30 | 171,91 |

Lanjutan Tabel 4.75 Perhitungan Penyiapan Lahan

| No | Parameter | Simbol | Satuan | Bulan | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | Jul | | | Agus | | | Sept | | | Okt | | |
| 1 | Evapotranspirasi Potensial | Eto | mm/hari | 3,110 | 3,189 | 4,387 | 4,460 | 4,837 | 4,624 | 5,223 | 4,986 | 4,763 | 4,164 | 3,964 | 4,572 |
| 2 | Evaporasi | Eo | mm/hari | 3,421 | 3,508 | 4,826 | 4,907 | 5,321 | 5,086 | 5,745 | 5,485 | 5,240 | 4,580 | 4,361 | 5,029 |
| 3 | Perkolasi Kebutuhan air | P | mm/hari | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| 4 | untuk mengganti kehilangan air | M | mm/hari | 5,421 | 5,508 | 6,826 | 6,907 | 7,321 | 7,086 | 7,745 | 7,485 | 7,240 | 6,580 | 6,361 | 7,029 |
| | Jangka waktu | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | untuk penyiapan lahan | T | hari | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Kebutuhan air | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | untuk penjenuhan | S | mm | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 7 | Koefisien | k | | 0,650 | 0,661 | 0,819 | 0,829 | 0,878 | 0,850 | 0,929 | 0,898 | 0,869 | 0,790 | 0,763 | 0,843 |
| 8 | Bilangan natural | e | | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 | 2,718 |
| | Kebutuhan air | | mm/hari | 11,336 | 11,389 | 12,208 | 12,259 | 12,524 | 12,373 | 12,798 | 12,629 | 12,472 | 12,053 | 11,915 | 12,337 |
| 9 | untuk penyiapan lahan | PL | mm/bulan | 170,05 | 182,23 | 183,12 | 196,14 | 187,85 | 185,60 | 191,97 | 202,07 | 187,07 | 180,79 | 178,73 | 197,39 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.3.3 Perkolasi

Besarnya air yang masuk dari lapisan tanah tak jenuh air (*unsaturated*) ke lapisan tanah jenuh air (*saturated*). Karena jenis tanah pada lokasi didominasi clay maka laju perkolasi diambil 2 mm/hari.

4.3.4 Pengolahan Tanah

Dalam produksi padi perhitungan kebutuhan air irigasi dalam penyiapan lahan digunakan Metode Van De Goor/Zilstra (1968), pada metode ini perhitungan kebutuhan air yang diperlukan tanah akibat adanya evaporasi dan perkolasi selama persiapan tanah selama 30 hari. Kedalaman air diperkirakan 250 mm adalah cukup untuk keperluan tersebut.

4.3.5 Penggantian Lapisan Air (WLR)

Water Level Replacement (WLR) diperlukan saat terjadi pemupukan maupun penyirangan yaitu 1-2 bulan dari transplanting. $WLR = 50 \text{ mm}$ (diperlukan penggantian lapisan air diasumsikan = 50 mm) menurut KP Bagian Penunjang.

4.4 Pola Tata Tanam

Jenis tanaman yang akan digunakan dalam analisa merupakan tanaman yang biasanya ditanam oleh masyarakat setempat, yakni PADI dan PALAWIJA (JAGUNG). Agar mendapatkan hasil yang optimal maka perlu adanya berbagai alternatif. Dalam analisis ini awal tanam dimulai pada Oktober periode II sampai Maret periode I, karena pada bulan tersebut curah hujan diatas vurah hujan rerata.

Langkah-langkah perhitungan Pola Tata Tanam disajikan sebagai berikut (Contoh Bulan Januari Periode II Alternatif I):

1. Pola tanam

Notasi pola tanam dibuat miring dimaksudkan bahwa pada saat penanaman dilakukan secara bertahap tidak serentak pada seluruh areal sawah. Periodenya yakni setiap 15 harian (setengah bulan).

2. Koefisien tanaman

Koefisien tanaman padi = 1,1 (dilihat dari lampiran)

3. Rerata Koefisien Tanaman

Didapat dari rata-rata harga dari k₁ dan k₂

Koefisien tanaman (k) = 1

4. Evapotranspirasi Potensial (Eto)

Eto = 3,644 (Dapat dilihat pada Tabel 4.67)

5. Penggunaan Air Konsumtif (PAK)

$$\text{PAK} = [3] \times [4] = 1 \times 3,644 = 3,644 \text{ mm/hari}$$

6. Rasio Luas Tanaman

$$\text{Rasio Luas Tanaman} = 1$$

7. Rasio Luas x PAK

$$\begin{aligned}\text{Rasio Luas x PAK} &= [5] \times [6] \\ &= 3,644 \times 1 \\ &= 3,644 \text{ mm/hari}\end{aligned}$$

8. Perkolasi

$$\text{Air yang hilang akibat proses perkolasi} = 2,00 \text{ mm/hari}$$

9. Rasio Perkolasi

$$\text{Rasio Perkolasi} = 1$$

10. Perkolasi x Rasio luas

$$\begin{aligned}\text{Perkolasi x Rasio luas} &= [8] \times [9] \\ &= 2 \times 1 \\ &= 2 \text{ mm/hari}\end{aligned}$$

11. Penyiapan Lahan (PL)

Karena bulan Januari Periode II tidak ada Penyiapan Lahan (PL) maka, PL = 0

12. Rasio PL

$$\text{Rasio Luas PL} = 0$$

13. PL x Rasio PL

$$\begin{aligned}\text{PL x Rasio PL} &= [11] \times [12] \\ &= 0\end{aligned}$$

14. WLR

$$\begin{aligned}\text{WLR} &= 50 \text{ mm / 30 hari} \\ &= 1,67 \text{ mm/hari}\end{aligned}$$

15. Rasio luas WLR

$$\text{Rasio luas WLR} = 0,75 \text{ mm/hari}$$

16. WLR x Rasio Luas WLR

$$\begin{aligned}\text{WLR x Rasio Luas WLR} &= [14] \times [15] \\ &= 1,67 \times 0,75 \\ &= 1,253 \text{ mm/hari}\end{aligned}$$

17. Kebutuhan Air Kotor

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Air Kotor} &= [7] + [10] + [13] + [16] \\
 &= 3,644 + 2 + 0 + 1,253 \\
 &= 6,897
 \end{aligned}$$

18. Curah Hujan Efektif

Curah Hujan Efektif bisa dilihat pada perhitungan sebelumnya, dapat dilihat pada Tabel 4.69

19. Rasio Luas Total

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Luas Total} &= [6] + [12] \\
 &= 1 + 0 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

20. Kebutuhan Air Bersih (NFR)

$$\begin{aligned}
 \text{NFR (Net field Ratio)} &= ([17]-[18]\times[19]) \times 10000 / (24\times60\times60) \\
 &= (6,897-1,050\times1)\times10000 / (24\times60\times60) \\
 &= 0,677 \text{ l/dt/ha}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan air bersih berdasarkan pola tata tanam disajikan pada Tabel sebagai berikut:

Tabel 4.76 Perhitungan Pola Tata Tanam

| No. | Bulan | Satuan | JANUARI | | FEBRUARI | | MARET | | APRIL | | MEI | | JUNI | | JULI | | AGUSTUS | | SEPTEMBER | | OKTOBER | | NOVEMBER | | DESEMBER | | | | |
|-----|---------------------------------|---------|---------|--------|----------|--------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|-------|---------|--------|----------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|
| | | | Periode | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | | | | |
| 1 | Pola Tata Tanam | | | PADI | PL | PADI | WLR | PADI | BERO | PALAWIJA | | | | | | | | PL | PADI | WLR | | | | | | | | | |
| 2 | Koefisien Tanaman | | | 0,000 | | | | 1,100 | 1,100 | 1,050 | 1,05 | 0,95 | 0,000 | | | 0,500 | 0,590 | 0,960 | 1,050 | 1,020 | 0,950 | | | 1,100 | 1,100 | 1,050 | 1,05 | 0,95 | |
| 3 | Rerata Koefisien Tanaman | | | 0,95 | 0,000 | | | 1,100 | 1,100 | 1,050 | 1,05 | 0,95 | 0,000 | | | 0,500 | 0,545 | 0,775 | 1,005 | 1,035 | 0,985 | 0,950 | | | 1,100 | 1,100 | 1,075 | 1,050 | 1,000 |
| 4 | Evapotranspirasi Potensial | mm/hr | 2,834 | 3,644 | 3,712 | 3,190 | 3,291 | 3,970 | 2,862 | 3,072 | 2,913 | 2,758 | 2,835 | 3,296 | 3,110 | 3,189 | 4,387 | 4,460 | 4,837 | 4,624 | 5,223 | 4,986 | 4,763 | 4,164 | 3,964 | 4,572 | | | |
| 5 | Penggunaan Air Konsumtif (PAK) | mm/hr | 2,834 | 0,000 | 0,000 | 3,509 | 3,620 | 4,268 | 3,005 | 3,072 | 1,383 | 0,000 | 0,000 | 1,648 | 1,695 | 2,471 | 4,409 | 4,617 | 4,764 | 4,392 | 0,000 | 5,485 | 5,240 | 4,476 | 4,162 | 4,572 | | | |
| 6 | Rasio Luas Tanaman | mm/hr | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | | |
| 7 | Rasio Luas x PAK | | 2,834 | 0,000 | 0,000 | 0,877 | 2,715 | 4,268 | 3,005 | 3,072 | 1,383 | 0,000 | 0,000 | 0,412 | 1,271 | 2,471 | 4,409 | 4,617 | 4,764 | 3,294 | 0,000 | 1,371 | 3,930 | 4,476 | 4,162 | 4,572 | | | |
| 8 | Perkolasi | mm/hr | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | | | | | | | | | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | | |
| 9 | Rasio Perkolasi | mm/hr | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | | | | | | | | | | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | | |
| 10 | Perkolasi x Rasio Luas | mm/hr | 2,000 | 1,500 | 0,500 | 0,500 | 1,500 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 1,500 | 0,500 | | | | | | | | | | 0,500 | 1,500 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | | |
| 11 | Penyiapan Lahan | | | 11,743 | 11,390 | 11,457 | 11,919 | | | | | | | | | | | | | | | 12,798 | 12,629 | 12,472 | 12,053 | | | | |
| 12 | Rasio PL | mm/hr | | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | | | | | | | | | | | | | | | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | | | | |
| 13 | PL x Rasio PL | mm/hr | | 2,936 | 2,848 | 2,864 | 2,980 | | | | | | | | | | | | | | | 3,200 | 3,157 | 3,118 | 3,013 | | | | |
| 14 | WLR | | | 1,670 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,670 | 1,670 | 1,670 | | |
| 15 | Rasio Luas WLR | mm/hr | | 0,250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,250 | 0,750 | 0,750 | | |
| 16 | WLR x Rasio Luas WLR | mm/hr | | 0,418 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,418 | 1,253 | 1,253 | | |
| 17 | Kebutuhan Air Kotor | | | 5,252 | 4,436 | 3,348 | 4,242 | 7,195 | 6,686 | 6,257 | 6,324 | 3,801 | 1,500 | 0,500 | 0,412 | 1,271 | 2,471 | 4,409 | 4,617 | 4,764 | 6,494 | 3,157 | 4,989 | 8,443 | 6,894 | 7,415 | 7,824 | | |
| 18 | Curah Hujan Efektif Padi | mm/hr | 2,753 | 1,050 | 1,867 | 2,800 | 2,053 | 2,494 | 2,147 | 3,360 | 0,653 | 0,525 | 0,560 | 1,167 | 0,467 | 0,919 | 0,793 | 1,794 | 2,613 | 2,473 | 1,260 | 3,675 | 5,273 | 3,173 | 2,987 | 3,413 | | | |
| 19 | Curah Hujan Efektif Palawija | mm/hr | 6,400 | 6,400 | 3,438 | 4,067 | 7,154 | 3,667 | 5,250 | 6,533 | 6,667 | 3,867 | 4,188 | 2,733 | 2,533 | 3,438 | 2,333 | 6,000 | 7,067 | 5,667 | 3,867 | 7,438 | 7,600 | 7,133 | 6,467 | 7,438 | | | |
| 20 | Rasio Luas Total | % | 1,000 | 1,000 | 0,500 | 0,500 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,500 | 0,500 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | | | | |
| 21 | Efisiensi | % | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | | | |
| 22 | Kebutuhan Air irigasi di Intake | l/dt/ha | 0,44 | 0,60 | 0,43 | 0,51 | 0,92 | 0,75 | 0,73 | 0,53 | 0,56 | 0,20 | 0,06 | 0,02 | 0,16 | 0,28 | 0,64 | 0,50 | 0,38 | 0,72 | 0,45 | 0,56 | 0,56 | 0,66 | 0,79 | 0,79 | | | |
| 23 | Kebutuhan Air irigasi | l/dt | 13,35 | 18,09 | 12,90 | 15,18 | 27,46 | 22,39 | 21,96 | 15,83 | 16,81 | 5,91 | 1,92 | 0,64 | 4,92 | 8,29 | 19,32 | 15,08 | 11,49 | 21,48 | 13,50 | 16,84 | 16,93 | 19,87 | 23,66 | 23,57 | | | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.5 Ketersediaan Air

4.5.1 Analisa Debit Aliran Rendah dengan Metode F.J.Mock

Di Indonesia Metode FJ Mock paling sering digunakan terutama dengan intensitas hujan sedang sampai tinggi (1000 – 3000 mm) seperti di daerah Sumatera, Kalimantan, Jawa dan bali. Selain FJ Mock terdapat metode lain yakni Metode NRECA dan Tanki (Tanki Model), Metode NRECA banyak dilakukan didaerah dengan dengan curah hujan rendah(> 1000 mm) seperti didaerah Nusa Tenggara sedangkan Metode Tanki jarang digunakan karena dibutuhkan data yang sangat komplek/detail terutama mengenai jenis tanah dan vegetasinya. Mengingat pada studi ini lokasinya berada di Sumatera dan dengan intensitas hujan di Toba Samosir 1000 mm – 3000mm maka Metode yang dipakai yaitu Metode FJ Mock.

Pada suatu sungai biasanya terdapat alat pencatat debit ataupun pada saluran biasanya terdapat bangunan pengukur debit yang mana nantinya untuk mendapatkan data debit. Data debit yang tercatat dapat berupa data debit harian maupun data debit jam-jaman. Mengingat di daerah Embung Bonan Dolok tidak terdapat alat pencatat debit maupun bangunan pengukur debit, maka proses pembandingan tidak dapat dilakukan, untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima dengan tingkat akurasi sedang tetapi masih dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

Dalam analisa menggunakan metode F.J Mock data debit bulanan yang akan dianalisa dari tahun 2006-2015 dengan periode 15 hari. Langkah-langkah perhitungan debit andalan dengan metode F.J Mock dapat dilihat pada contoh perhitungan sebagai berikut (pada periode I bulan Januari 2006):

I. Data Meteorologi

- a. Jumlah hari dalam I periode = 15 hari
- b. Curah hujan (R) = 243 mm
- c. Hari hujan (n) = 10 hari
- d. Temperatur (t) = 19°C
- e. Kecerahan Matahari (N) = 20,66%
- f. Kelembapan Relatif (RH) = 91,60
- g. Kecepatan Angin (U) = 0,23 m/det

II. Evaporasi Potensial (Eto)

- h. Tekanan uap jenuh (ϵ_y) = 19,14 mbar (dari Tabel PN.1)
- i. Tekanan uap nyata (ϵ_d) = $(h) \times \{(f)/100\}$

$$= 19,14 \times \{91,60/100\}$$

$$= 17,54$$

j. w (faktor hubungan dengan suhu dan elevasi daerah) = 0,69 (dari Tabel PN.1)

k. $f(t)$ (fungsi suhu) = 14,28 (dari Tabel PN.1)

l. $f(ed)$ (fungsi tekanan uap) = $[0,34 - 0,044] \times (i)^{0,5}$

$$= [0,34 - 0,044] \times 17,54^{0,5}$$

$$= 0,16$$

m. $f\left(\frac{n}{N}\right)$ (fungsi kecerahan matahari) = $\{0,1 + [0,9 \times (e)/100]\}$

$$= \{0,1 + [0,9 \times 20,66/100]\}$$

$$= 0,29$$

n. Nilai angot (R_y) = 15,33 mm/hari (dari Tabel R.2)

o. Radiasi gelombang pendek (R_s) = $[0,25 + [0,54 \times (e)/100]] \times (n)$

$$= [0,25 + [0,54 \times 20,66]] \times (15,33)$$

$$= 5,54 \text{ mm/hari}$$

p. Radiasi bersih gelombang panjang (R_{n1}) = $(k) \times (l) \times (m)$

$$= 14,28 \times 0,16 \times 0,29$$

$$= 0,64 \text{ mm/hari}$$

q. Fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2m $f(U)$ = $0,27 \times [1 + (g) \times 0,864]$

$$= 0,27 \times [1 + 0,23 \times 0,864]$$

$$= 0,32$$

r. $R_{ns} = (1-A)R_s$, $A=0,25$ = $0,75 \times (O)$

$$= 0,75 \times 5,54$$

$$= 4,16 \text{ mm/hari}$$

s. Faktor penyesuaian (c) = 1,10 (dari Tabel PN.3)

t. Evapotranspirasi (E_{to}^*) = $[(j) \times [(r) - (p)]] + [[1 - (j)] \times (q) \times [(h) - (i)]]$

$$= [(0,69) \times [(4,16) - (0,64)]] + [[1 - (0,69)] \times$$

$$(0,32) \times [(19,14) - (17,54)]]$$

$$= 2,58 \text{ mm/hari}$$

u. Evapotranspirasi potensial (E_{to}) = $(t) \times (s)$

$$= 2,58 \times 1,10$$

$$= 2,83 \text{ mm/hari}$$

III. Evapotranspirasi Terbatas (E_t)

v. Evapotranspirasi Potensial (E_{to}) = $(u) \times (a)$

$$\begin{aligned}
 &= 2,83 \times 15 \\
 &= 42,52 \text{ mm/15hari} \\
 \text{w. Permukaan Lahan terbuka (m)} &= 40\% \\
 \text{x. } (m/20) \times (18-(h)) &= (w/20) \times (18-(c)) \\
 &= (40\%/20) \times (18-(15)) \\
 &= 0,16 \\
 \text{y. E} &= Eto \times (m/20) \times (18-n) \\
 &= (v) \times (x) \\
 &= 45,52 \times 0,16 \\
 &= 6,80 \text{ mm/15hari} \\
 \text{z. Et} &= Eto - E \\
 &= (v) - (y) \\
 &= 42,52 - 6,80 \\
 &= 35,71 \text{ mm/15hari}
 \end{aligned}$$

IV. Keseimbangan Air

$$\begin{aligned}
 \text{aa. } Ds &= R - Et \\
 &= (b) - (z) \\
 &= 243 - 35,72 \\
 &= 207,29 \text{ mm/15hari} \\
 \text{ab. Aliran Permukaan (PF=5\%)} &= 0 \\
 \text{ac. Kandungan Air Tanah} &= 0 \text{ mm/15hari} \\
 \text{ad. Kapasitas Kelembapan Tanah (SMC)} &= 100 \text{ mm/15hari} \\
 \text{ae. Kelebihan Air (WS)} &= (aa) - (ac) \\
 &= 207,29 - 0 \\
 &= 207,29 \text{ mm/15hari}
 \end{aligned}$$

V. Aliran dan Penyimpanan Air Tanah

$$\begin{aligned}
 \text{af. Infiltrasi (I)} &= (ae) \times i \\
 &= 207,29 \times 0,3 \\
 &= 62,19 \text{ mm/15hari}
 \end{aligned}$$

i adalah nilai parameter, yakni koefisien infiltrasi berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Angka i di daerah ni ditaksir sekitar 0,3.

$$\begin{aligned}
 \text{ag. Volume Air Tanah (G)} &= 0,5 [1+k] \times (af) \\
 &= 0,5 [1+0,47] \times (62,19) \\
 &= 45,71 \text{ mm/15hari}
 \end{aligned}$$

k nilainya dipengaruhi oleh sifat DPS pada lokasi studi, faktor resesi aliran tanah yang ditaksir sebesar 0,47.

$$\text{ah. k. } V_{(n-1)} = 0,47 \times 32$$

$$= 14,84 \text{ mm.15hari}$$

$V_{(n-1)}$ adalah kandungan air tanah pada bulan sebelumnya. Untuk penentuan pada awal bulan (*initial storage*) ditaksir sebesar 32 mm

| | |
|---|------------------------------|
| ai. Volume Penyimpanan air tanah (V_n) | $= (ag) + (ah)$ |
| | $= 45,71 + 14,84$ |
| | $= 60,55 \text{ mm/15hari}$ |
| aj. Perubahan Volume Tampungan (ΔV_n) | $= (ai) - V_{(n-1)}$ |
| | $= 60,55 - 32$ |
| | $= 28,97 \text{ mm/15hari}$ |
| ak. Aliran Dasar (BF) | $= (af) - (aj)$ |
| | $= 62,19 - 28,97$ |
| | $= 33,22 \text{ mm/15hari}$ |
| al. Limpasan langsung (DRo) | $= (ab) + (ae) - (af)$ |
| | $= 0 + 207,29 - 62,19$ |
| | $= 145,10$ |
| am. Limpasan (Ro) | $= (ak) + (al)$ |
| | $= 33,22 + 145,10$ |
| | $= 178,32 \text{ mm/15hari}$ |

VI. Debit Sungai

| | |
|-------------------------|---|
| an. Debit aliran sungai | $= A \times (am)$ |
| | $= 2,32 \text{ km}^2 \times 178,32 \text{ mm/15hari}$ |
| | $= 0,32 \text{ m}^3/\text{dt}$ |
| | $= 319,21 \text{ lt/dt}$ |

Hasil perhitungan debit aliran tahun 2006 dapat dilihat pada Tabel 4.77. Demikian juga perhitungan untuk bulan-bulan selanjutnya. Hasil perhitungan detail tahun lainnya dapat dilihat pada Lampiran. Untuk Rekapitulasi hasil perhitungan besaran debit dapat dilihat pada Tabel 4.78.

Tabel 4.77 Perhitungan Debit Aliran Sungai dengan Metode F.J Mock Tahun 2006

| | URAIAN | Satuan | Hitungan | Januari | | Februari | | Maret | | April | | Mei | | Juni | | Juli | | Agustus | | September | | Oktober | | Nopember | | Desember | |
|--|---------|---|----------|---------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | | | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| I Data Meteorologi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a Jumlah Hari dalam 1 Periode | hari | data | | 15 | 16 | 15 | 13 | 15 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | 15 | 15 | 16 | 15 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | |
| b Curah Hujan (P) | mm/15hr | data | | 243,00 | 34,00 | 170,00 | 60,00 | 21,00 | 130,00 | 213,00 | 125,00 | 126,00 | 58,00 | 136,00 | 70,00 | 27,00 | 61,00 | 112,00 | 95,00 | 204,00 | 126,00 | 177,00 | 195,00 | 121,00 | 63,00 | 134,00 | 169,00 |
| c Hari hujan (h) | hari | data | | 10 | 6 | 6 | 4 | 3 | 9 | 14 | 9 | 11 | 8 | 10 | 8 | 6 | 8 | 9 | 12 | 13 | 12 | 9 | 11 | 9 | 7 | 11 | 10 |
| d Temperatur (t) | °C | data | | 19,00 | 24,40 | 22,60 | 21,80 | 21,05 | 22,73 | 21,81 | 22,70 | 22,30 | 21,77 | 22,65 | 22,80 | 22,35 | 22,91 | 21,55 | 21,91 | 22,10 | 20,65 | 21,85 | 22,04 | 19,55 | 23,45 | 22,80 | 22,54 |
| e Kecerahan Matahari (n/N) | % | data | | 20,66 | 29,61 | 32,91 | 20,82 | 28,15 | 41,94 | 35,43 | 38,90 | 41,12 | 37,64 | 41,80 | 61,12 | 54,76 | 56,35 | 81,23 | 78,47 | 70,58 | 71,50 | 78,72 | 72,39 | 78,60 | 46,72 | 45,10 | 64,54 |
| f Kelembaban Relatif (RH) | % | data | | 91,60 | 88,73 | 88,40 | 89,00 | 93,00 | 91,82 | 91,60 | 89,00 | 86,60 | 88,18 | 85,40 | 86,60 | 89,60 | 90,36 | 89,00 | 80,91 | 88,40 | 91,40 | 87,80 | 90,36 | 90,80 | 91,10 | 94,27 | |
| g Kecepatan Angin (U) | m/det | data | | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | |
| II Evapotranspirasi Potensial (Eto) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| h Tekanan uap jenuh (cy) | m bar | tabel | | 19,14 | 30,58 | 26,85 | 25,14 | 23,53 | 27,13 | 25,16 | 27,06 | 26,21 | 25,07 | 26,96 | 27,28 | 26,31 | 27,51 | 24,60 | 25,37 | 25,78 | 22,68 | 25,24 | 25,65 | 20,32 | 28,67 | 27,28 | 26,72 |
| i Tekanan uap nyata (zd) | m bar | (h) x [(f/100] | | 17,54 | 27,13 | 23,73 | 22,37 | 21,88 | 24,91 | 23,05 | 24,09 | 22,70 | 22,11 | 23,02 | 23,62 | 23,58 | 24,86 | 21,90 | 20,53 | 22,79 | 20,73 | 22,16 | 23,18 | 18,45 | 25,86 | 24,85 | 25,19 |
| j w | - | tabel | | 0,69 | 0,74 | 0,72 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,69 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | |
| k f(t) | - | tabel | | 14,28 | 15,49 | 15,09 | 14,91 | 14,74 | 15,11 | 14,91 | 15,11 | 15,02 | 14,90 | 15,10 | 15,13 | 15,03 | 15,15 | 14,85 | 14,93 | 14,97 | 14,65 | 14,92 | 14,96 | 14,40 | 15,28 | 15,13 | 15,07 |
| l f(ed) | - | [0,34 + 0,044] x (j) ^{0,5} | | 0,16 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | |
| m f(n/N) | - | [0,1 + 0,9 x (e/100)] | | 0,29 | 0,37 | 0,40 | 0,29 | 0,35 | 0,48 | 0,42 | 0,45 | 0,47 | 0,44 | 0,48 | 0,65 | 0,59 | 0,61 | 0,83 | 0,81 | 0,74 | 0,74 | 0,81 | 0,75 | 0,81 | 0,52 | 0,51 | 0,68 |
| n Nitrit Angot (Ry) | mm/hari | tabel | | 15,33 | 15,33 | 15,72 | 15,64 | 15,64 | 15,07 | 15,07 | 14,07 | 13,45 | 13,45 | 13,65 | 13,65 | 14,47 | 14,47 | 15,18 | 15,18 | 15,52 | 15,52 | 15,33 | 15,33 | 15,15 | 15,15 | 15,15 | |
| o Radiasi gelombang pendek (Rs) | mm/hari | [0,25 + 0,54 x (e/100)] x (n) | | 5,54 | 6,28 | 6,72 | 5,70 | 6,29 | 7,45 | 6,65 | 6,93 | 6,64 | 6,38 | 6,40 | 7,80 | 7,45 | 7,57 | 9,96 | 9,75 | 9,58 | 9,66 | 10,47 | 9,94 | 10,34 | 7,70 | 7,48 | 9,07 |
| p Radasi bersih gelombang panjang (Rn1) | mm/hari | (k) x (l) x (m) | | 0,64 | 0,63 | 0,75 | 0,56 | 0,70 | 0,87 | 0,80 | 0,84 | 0,92 | 0,87 | 0,93 | 1,24 | 1,13 | 1,11 | 1,63 | 1,69 | 1,43 | 1,52 | 1,60 | 1,44 | 1,76 | 0,92 | 1,22 | |
| q f(U) | - | 0,27 x [1 + (g) x 0,864] | | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | |
| r Rns=(1-A)Rs, A=0,25 | mm/hari | 0,75 x (o) | | 4,16 | 4,71 | 5,04 | 4,27 | 4,72 | 5,59 | 4,99 | 5,20 | 4,98 | 4,78 | 4,80 | 5,85 | 5,59 | 5,68 | 7,47 | 7,31 | 7,19 | 7,24 | 7,86 | 7,46 | 7,75 | 5,78 | 5,61 | 6,80 |
| s Faktor penyesuaian (c) | | tabel | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | |
| t Evapotranspirasi (Eto*) | mm/hari | [(j) x ((r) - (p))] + [(1 - (j)) x (q) x (h) - (i)] | | 2,58 | 3,31 | 3,37 | 2,90 | 2,99 | 3,61 | 3,18 | 3,41 | 3,24 | 3,06 | 3,15 | 3,66 | 3,46 | 3,54 | 4,39 | 4,46 | 4,40 | 4,20 | 4,75 | 4,53 | 4,33 | 3,79 | 3,60 | 4,16 |
| u Evapotranspirasi potensial (Eto) | mm/hari | (t) x (s) | | 2,83 | 3,64 | 3,71 | 3,19 | 3,29 | 3,97 | 2,86 | 3,07 | 2,91 | 2,76 | 2,83 | 3,30 | 3,11 | 3,19 | 4,39 | 4,46 | 4,84 | 4,62 | 5,22 | 4,99 | 4,76 | 4,16 | 3,96 | 4,57 |
| III Evapotranspirasi Terbatas (Et) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| v Evapotranspirasi (Eto) | mm/15hr | Eto | | 42,52 | 58,25 | 55,69 | 41,47 | 49,36 | 63,53 | 42,93 | 46,08 | 43,69 | 44,12 | 42,52 | 49,44 | 46,65 | 51,02 | 65,81 | 71,37 | 72,55 | 69,35 | 78,34 | 79,78 | 71,45 | 62,46 | 59,46 | 73,15 |
| w Permukaan Lahan yang Terbuka (m) | % | diteapatkan | | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | |
| x (m/20) x (18-h) | - | hitungan | | 0,16 | 0,24 | 0,24 | 0,28 | 0,30 | 0,18 | 0,08 | 0,18 | 0,14 | 0,20 | 0,20 | 0,24 | 0,20 | 0,18 | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,16 | |
| y E = Eto x [(m/20) x (18-h)] | mm/15hr | (v) x (x) | | 6,80 | 13,98 | 13,36 | 11,61 | 14,81 | 11,43 | 3,43 | 8,29 | 6,12 | 8,82 | 6,80 | 9,89 | 11,20 | 10,20 | 11,85 | 8,56 | 7,26 | 8,32 | 14,10 | 11,17 | 12,86 | 13,74 | 8,32 | 11,70 |
| z Et = Eto - E | mm/15hr | (v) - (y) | | 35,71 | 44,27 | 42,32 | 29,86 | 34,55 | 52,09 | 39,49 | 37,78 | 37,57 | 35,30 | 35,72 | 39,55 | 35,45 | 40,82 | 53,96 | 62,80 | 65,30 | 61,03 | 64,24 | 68,61 | 58,59 | 48,72 | 51,14 | 61,44 |
| IV Keseimbangan Air | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| aa Ax = P - Et | mm/15hr | (b) - (z) | | 207,29 | -10,27 | 127,68 | 30,14 | -13,55 | 77,91 | 173,51 | 87,22 | 88,43 | 22,70 | 100,28 | 30,45 | -8,45 | 20,18 | 58,04 | 32,20 | 138,70 | 64,97 | 112,76 | 126,39 | 62,41 | 14,28 | 82,86 | 107,56 |
| ab Aliran Permukaan (PF= 5%) | mm/15hr | PF x (b) | | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 0,00 | 1,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| ac Kandungan Air Tanah (SS) | mm/15hr | (z) - (aa) | | 0,00 | -11,97 | 0,00 | 0,00 | -14,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| ad Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC) | mm/15hr | SMC + (ac) | | 100,00 | -11,97 | 100,00 | 100,00 | -14,60 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | -9,80 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | |
| ae Kelembaban Air (WS) | mm/15hr | (aa) - (ac) | | 207,29 | 1,70 | 127,68 | 30,14 | 1,05 | 77,91 | 173,51 | 87,22 | 88,43 | 22,70 | 100,28 | 30,45 | 1,35 | 20,18 | 58,04 | 32,20 | 138,70 | 64,97 | 112,76 | 126,39 | 62,41 | 14,28 | 82,86 | 107,56 |
| V Aliran dan Penyimpanan Air Tanah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| af Infiltrasi (I) | mm/15hr | (ae) x i | | 62,19 | 0,51 | 38,30 | 9,04 | 0,32 | 23,37 | 52,05 | 26,17 | 26,53 | 6,81 | 30,08 | 9,13 | 0,41 | 6,05 | 17,41 | 9,66 | 41,61 | 19,49 | 33,83 | 37,92 | 18,72 | 4,28 | 24,86 | 32,27 |
| ag Volume Air Tanah (G) | mm/15hr | 0,5 [1-k] x (af) | | 45,71 | 0,37 | 28,15 | 6,65 | 0,23 | 17,18 | 38,26 | 19,50 | 5,01 | 22,11 | 6,71 | 0,30 | 4,45 | 12,80 | 7,10 | 30,58 | 14,33 | 24,86 | 27,87 | 13,76 | 3,15 | 18,27 | 23,72 | |
| ah k x V _(n,1) | mm/15hr | hitungan | | 14,84 | 28,46 | 13,55 | 19,60 | 12,34 | 5,91 | 10,85 | 18,51 | 11,05 | 15,59 | 10,48 | 5,07 | 4,47 | 8,12 | 7,15 | 17,74 | 15,07 | 18,77 | 21,92 | 16,77 | 9 | | | |

Tabel 4.78 Rekapitulasi Perhitungan Debit Aliran Sungai dengan Metode F.J Mock.

| No | Tahun | Debit (m^3/dt) | | | | | | | | | | | |
|----|-------|--------------------|------|----------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | Januari | | Februari | | Maret | | April | | Mei | | Juni | |
| | | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 1 | 2006 | 0,32 | 0,06 | 0,21 | 0,09 | 0,03 | 0,11 | 0,26 | 0,17 | 0,16 | 0,06 | 0,16 | 0,07 |
| 2 | 2007 | 0,22 | 0,13 | 0,06 | 0,14 | 0,07 | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,03 |
| 3 | 2008 | 0,11 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,22 | 0,08 | 0,13 | 0,10 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 4 | 2009 | 0,08 | 0,03 | 0,01 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,02 |
| 5 | 2010 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 0,14 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,10 |
| 6 | 2011 | 0,04 | 0,01 | 0,06 | 0,18 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,12 | 0,02 | 0,11 | 0,02 | 0,01 |
| 7 | 2012 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,01 | 0,01 |
| 8 | 2013 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,39 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,01 |
| 9 | 2014 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,03 | 0,02 |
| 10 | 2015 | 0,20 | 0,09 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,13 | 0,10 | 0,03 |

Lanjutan Tabel 4.78 Rekapitulasi Perhitungan Debit Aliran Sungai dengan Metode F.J Mock.

| No | Tahun | Debit (m ³ /dt) | | | | | | | | | | | |
|----|-------|----------------------------|------|---------|------|-----------|------|---------|------|----------|------|----------|------|
| | | Juli | | Agustus | | September | | Oktober | | Nopember | | Desember | |
| | | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 1 | 2006 | 0,03 | 0,04 | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,13 | 0,19 | 0,20 | 0,13 | 0,05 | 0,13 | 0,17 |
| 2 | 2007 | 0,02 | 0,28 | 0,05 | 0,07 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,33 | 0,14 | 0,22 | 0,07 | 0,10 |
| 3 | 2008 | 0,03 | 0,14 | 0,03 | 0,22 | 0,04 | 0,06 | 0,14 | 0,10 | 0,05 | 0,14 | 0,26 | 0,09 |
| 4 | 2009 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,24 | 0,14 | 0,15 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,11 |
| 5 | 2010 | 0,07 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| 6 | 2011 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,08 |
| 7 | 2012 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,26 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,01 |
| 8 | 2013 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 9 | 2014 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,13 | 0,15 | 0,05 | 0,08 | 0,17 | 0,11 | 0,18 | 0,11 | 0,21 |
| 10 | 2015 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |

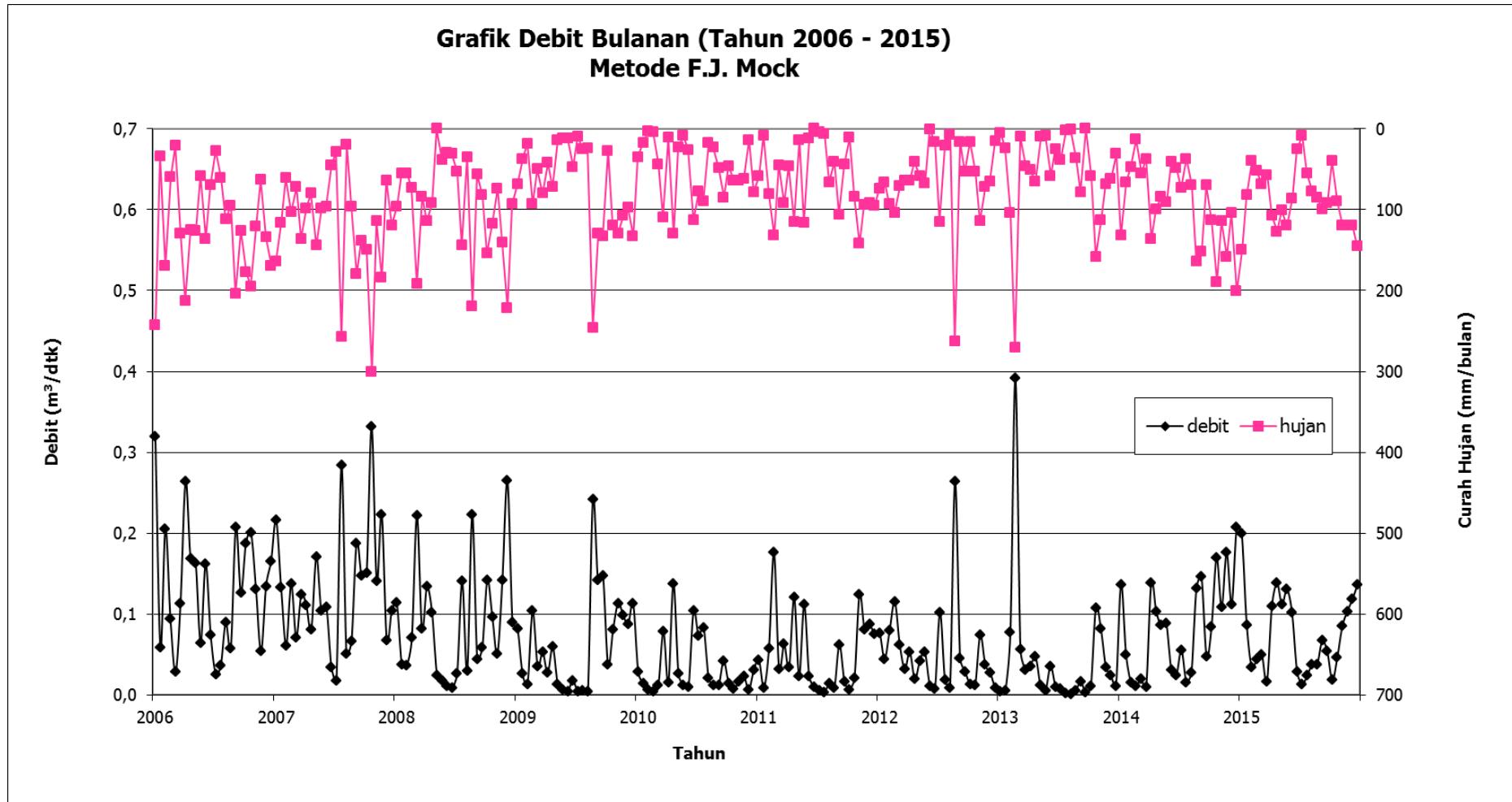
Sumber: Analisis perhitungan, 2017

Lanjutan Tabel 4.78 Rekapitulasi Perhitungan Debit Aliran Sungai dengan Metode F.J Mock.

| No | Tahun | Debit | | | | | | | | | | | | Rata-rata |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-----------|
| | | Jan | Feb | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Agust | Sept | Okt | Nov | Des | |
| 1 | 2006 | 0,19 | 0,15 | 0,07 | 0,21 | 0,11 | 0,11 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,19 | 0,09 | 0,15 | 0,13 |
| 2 | 2007 | 0,17 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,07 | 0,15 | 0,06 | 0,17 | 0,24 | 0,18 | 0,08 | 0,13 |
| 3 | 2008 | 0,07 | 0,05 | 0,16 | 0,11 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,13 | 0,05 | 0,12 | 0,09 | 0,17 | 0,09 |
| 4 | 2009 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,12 | 0,14 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,06 |
| 5 | 2010 | 0,02 | 0,00 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| 6 | 2011 | 0,03 | 0,12 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,10 | 0,08 | 0,05 |
| 7 | 2012 | 0,06 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,06 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| 8 | 2013 | 0,00 | 0,23 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,04 |
| 9 | 2014 | 0,09 | 0,01 | 0,02 | 0,11 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,08 |
| 10 | 2015 | 0,14 | 0,04 | 0,04 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,09 | 0,12 | 0,07 |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | | | | 0,07 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari hasil perhitungan menggunakan metode FJ.Mock diatas selanjutnya hasil perhitungannya digunakan untuk analisa debit andalan.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Debit FJ Mock dan Curah Hujan Tahun 2006-2015

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.6. Analisa Erosi dan Sedimentasi

Dalam studi ini, dilakukan perhitungan erosi lahan dan sedimentasi potensial. Analisa ini digunakan dalam menentukan besarnya sedimen yang mengendap di embung, yang mana nantinya digunakan dalam perhitungan menentukan kapasitas tampungan mati serta tinggi elevasi minimum untuk operasi embung.

4.6.1 Analisa Erosi Aktual (E_a)

Data Topografi dan kemiringan lahan maupun kondisi DAS diperlukan guna menentukan besarnya erosi aktual pada lahan sekitar DAS. Langkah-langkah dalam perhitungannya bisa dilihat sebagai berikut:

- Erosivitas Hujan (persamaan Lenvain)

$$El_{30} = 2,21 (RAIN)^{1,36}$$

Contoh perhitungan pada bulan januari:

$$(RAIN) = \text{Curah hujan rata-rata bulanan selama 10 tahun} = 150,9 \text{ mm}$$

CH bulanan harus dalam cm

$$\text{Jadi, } Rm = 2,21 (RAIN)_m^{1,36} = 2,21 (150,9/10)^{1,36} = 88,6 \text{ mm}$$

Perhitungan untuk bulan-bulan selanjutnya sama dan dapat dilihat pada Tabel 4.80 berikut:

Tabel 4.79 Erosivitas Hujan Metode Lenvain

| Bulan | Rm (mm) |
|---------------|---------------|
| Jan | 88,6 |
| Feb | 94,1 |
| Mar | 84,9 |
| Apr | 115,1 |
| May | 64,4 |
| Jun | 45,1 |
| Jul | 60,0 |
| Aug | 103,9 |
| Sep | 120,6 |
| Oct | 144,3 |
| Nov | 145,6 |
| Des | 134,7 |
| Jumlah | 1201,2 |

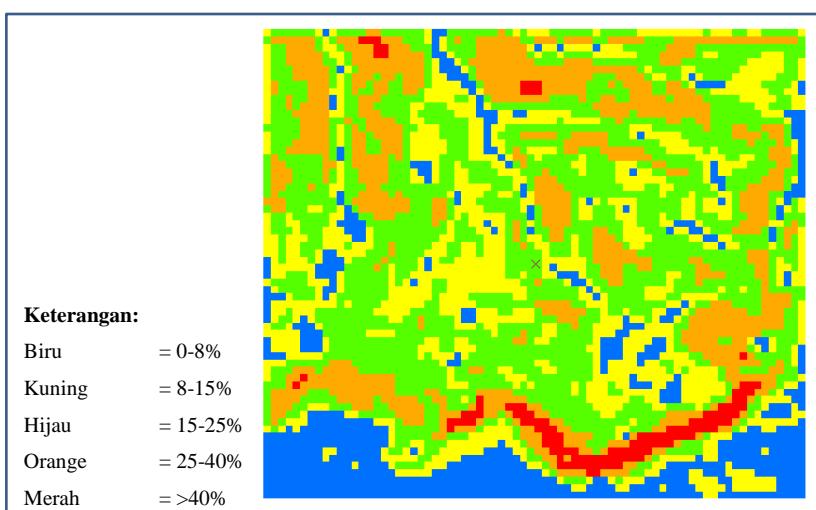
Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

- Nilai Erodibilitas (K)

Pada daerah studi ini, jenis tanah pada daerah Bonan Dolok adalah Podsolik Merah Kuning, sehingga nilai erodibilitas tanah 0,32.

- Faktor Panjang dan Kemiringan Lahan (LS)

Dalam perhitungan LS perlu dibuat peta kemiringan lereng untuk kawasan permukaan lahan sehingga dapat membantu proses perkiraan erosi. Untuk studi ini, pembuatan peta kemiringan lereng menggunakan bantuan ArcGis 10.1 dengan kemiringan interval lereng sesuai Tabel. Hasil dari Peta kemiringan lereng terlihat pada Gambar 4.7 dibawah ini:



Gambar 4.8 Peta Kemiringan Lereng DAS Embung Bonan Dolok

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Panjang lereng dan kemiringan dapat diklasifikasikan berdasarkan elevasi dan juga kemiringan lerengnya berdasarkan beberapa kelas. Berikut klasifikasinya menurut kementerian kehutanan Indonesia:

Tabel 4.80 Faktor LS

| Kelas Lereng | Kemiringan Lereng | Faktor LS |
|---------------------|--------------------------|------------------|
| I | 0-8 | 0,40 |
| II | 8-15 | 1,40 |
| III | 15-25 | 3,10 |
| IV | 25-40 | 6,80 |
| V | >40 | 9,50 |

Sumber: Dinas RLKT, Kementerian Kehutanan Indonesia

- Faktor Tanaman dan Pengolahan Tanaman (CP)

Tabel 4.81 Nilai Faktor CP

| Tata Guna Lahan | CP |
|--------------------|-------|
| Hutan | 0,001 |
| Sawah | 0,1 |
| Pemukiman Industri | 1 |
| Kawasan wisata | 1 |

Sumber: Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Asdak, 1995).

Untuk tata guna lahan berdararkan Tabel 4.81 didapatkan nilai CP untuk hutan primer 0,001, untuk sawah 0,1, sedangkan pemukiman adalah 1

- Nilai E_a daerah hutan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$E = R \cdot K \cdot LS \cdot CP$$

$$= 1201,2 \cdot 0,32 \cdot 3,10 \cdot 0,001$$

$$= 1,192 \text{ ton / ha / th}$$

Dengan luas sawah 93 ha, maka :

$$E_a = E \cdot A$$

$$= 1,192 \cdot 132$$

$$= 157,344 \text{ ton/tahun}$$

$$= 157,344 \text{ ton / (1,55 ton/m}^3 \text{)}$$

$$= 101,512 \text{ m}^3 \text{ / tahun}$$

Jadi, total erosi aktual (E_a) sebesar 110,818 ton/ha

Untuk selanjutnya, perhitungan selengkapnya pada Tabel 4.82 sebagai berikut:

Tabel 4.82 Pendugaan laju erosi

| Kemiringan lereng (%) | Tata guna lahan | Parameter USLE | | | | Laju Erosi ton/ha/th | Luas Daerah (ha) | Erosi Aktual ton/tahun | Berat Volume tanah (ton/m ³) | Laju erosi aktual m ³ /th |
|-------------------------------|--------------------|----------------|--------|------|------|----------------------------|------------------------|------------------------------|---|---|
| | | CP | R | K | LS | | | | | |
| 0-8% | Sawah | 0,1 | 1201,2 | 0,32 | 0,40 | 15,375 | 0,5 | 7,688 | 1,55 | 4,960 |
| 8-15% | | 0,1 | 1201,2 | 0,32 | 1,40 | 53,814 | 0,26 | 13,992 | 1,55 | 9,027 |
| 0-8% | Pemukiman | 1 | 1201,2 | 0,32 | 0,40 | 153,754 | 1 | 153,754 | 1,55 | 99,196 |
| 8-15% | | 1 | 1201,2 | 0,32 | 1,40 | 538,138 | 1,1 | 591,951 | 1,55 | 381,904 |
| 15-25% | Hutan | 0,001 | 1201,2 | 0,32 | 3,10 | 1,192 | 132, | 157,344 | 1,55 | 101,512 |
| 25-40% | | 0,001 | 1201,2 | 0,32 | 6,80 | 2,614 | 97,14 | 253,924 | 1,55 | 163,822 |
| Perkiraan laju erosi pertahun | | | | | | | | | | 760,421 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.6.2 Analisa Sedimentasi Potensial (S_{pot})

Dalam studi ini, untuk menduga besarnya sedimen yang mengendap pada embung dilakukan analisis dengan menghitung besarnya nilai SDR. Berikut langkah-langkah perhitungannya :

Koef. kekasaran Manning (n) = 0,02 (kondisi sungai merupakan saluran alam/tanah)

Luasan daerah = 0,5 ha (kemiringan 4%)

$$\begin{aligned} SDR &= \frac{S (1 - 0,8683 A^{-0,2018})}{2 (S + 50 n)} + 0,08683 A^{-0,2018} \\ &= \frac{0,04 (1 - 0,8683 0,5^{-0,2018})}{2 (0,04 + 50 0,02)} + 0,08683 0,5^{-0,2018} \\ SDR &= 0,1 \\ &= 10 \% \end{aligned}$$

Maka, persamaan sedimentasi potensial:

$$\begin{aligned} S_{pot} &= E_a \times SDR \\ &= 4,960 \times 0,1 = 0,496 \text{ m}^3/\text{th} \end{aligned}$$

Tabel 4.83 Pendugaan Sedimentasi Potensial

| Kemiringan lereng rerata (%) | Kemiringan lereng rerata | Laju erosi aktual m3/th | SDR | Sedimentasi potensial m3/th |
|---|--------------------------|-------------------------|-------|-----------------------------|
| 4 | 0,04 | 4,960 | 0,100 | 0,496 |
| 11,5 | 0,115 | 9,027 | 0,111 | 1,002 |
| 4 | 0,04 | 99,196 | 0,089 | 8,828 |
| 11,5 | 0,115 | 381,904 | 0,088 | 33,607 |
| 22,5 | 0,225 | 101,512 | 0,045 | 4,568 |
| 32,5 | 0,325 | 163,822 | 0,047 | 7,700 |
| Perkiraan jumlah sedimen yang masuk ke embung | | | | 56,201 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Sehingga didapat nilai total dari $S_{pot} = 56,201 \text{ m}^3/\text{th}$. Angka ini digunakan sebagai dugaan nantinya sedimen yang akan mengendap pada embung dalam kurun waktu per tahunnya. Sedangkan ruang sedimen yang disediakan sebesar $145,97 \text{ m}^3/\text{th}$. Secara logika maka dalam kurun waktu 2,5 tahun ruang sedimen akan terisi penuh, Oleh sebab itu harapannya dalam kurun waktu 2,5 tahun sekali diperlukan adanya *maintenance* semisal berupa pengurusan hal ini dimaksudkan agar nantinya fungsi embung dapat bertahan lebih lama.

4.7. Penentuan Kapasitas Tampungan

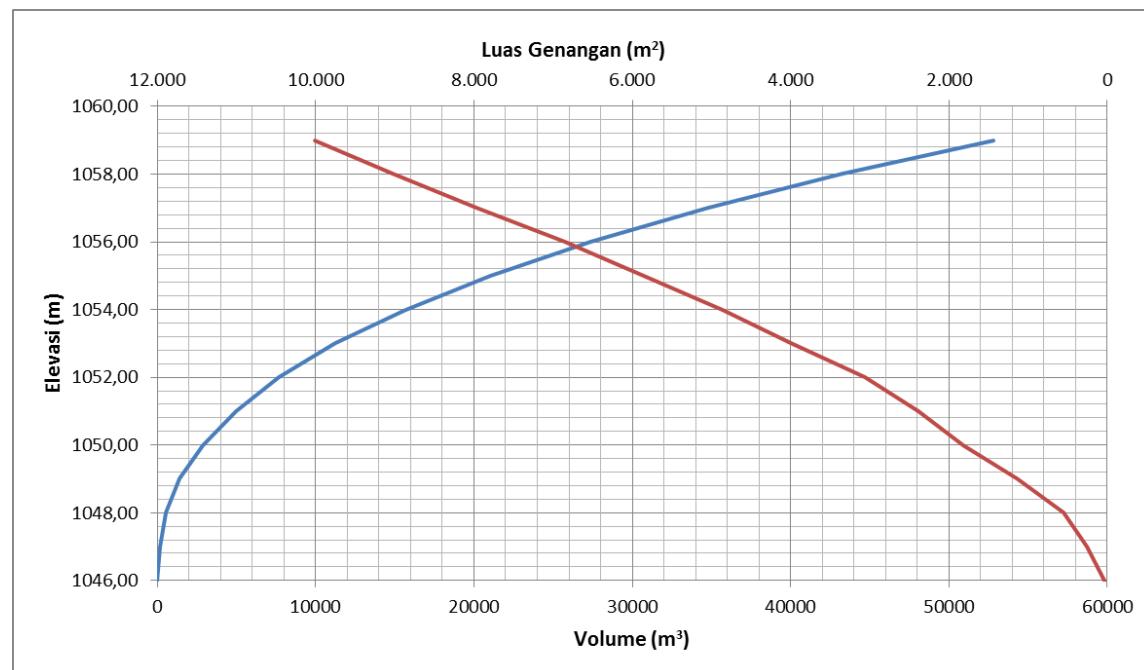
4.7.1 Lengkung Kapasitas Tampungan Waduk

Lengkung kapasitas waduk (*storage capacity curve of reservoir*) merupakan analisis guna menghasilkan kurva yang menggambarkan hubungan antara elevasi (*reservoir water level*), volume (*storage capacity*), dan juga luas genangan pada sekitar daerah perencanaan.

Tabel 4.84 Tampungan dan luas genangan waduk pada setiap elevasi

| Elevasi (m) | Tinggi (m) | Luas (m ²) | Volume (m ³) |
|----------------|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1046 | 0 | 35,998 | 0 |
| 1047 | 1 | 255,935 | 145,97 |
| 1048 | 2 | 554,380 | 551,12 |
| 1049 | 3 | 1.141,868 | 1.399,25 |
| 1050 | 4 | 1.821,166 | 2.880,77 |
| 1051 | 5 | 2.379,050 | 4.980,87 |
| 1052 | 6 | 3.062,036 | 7.701,42 |
| 1053 | 7 | 3.990,225 | 11.227,55 |
| 1054 | 8 | 4.860,589 | 15.652,95 |
| 1055 | 9 | 5.851,250 | 21.008,87 |
| 1056 | 10 | 6.843,355 | 27.356,18 |
| 1057 | 11 | 7.972,989 | 34.764,35 |
| 1058 | 12 | 9.022,132 | 43.261,91 |
| 1059 | 13 | 10.013,500 | 52.779,72 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017



Gambar 4.9 Lengkung Kapasitas Waduk Bonan Dolok

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.7.2 Penentuan Kapasitas Tampungan Mati

Kapasitas tampungan mati direncakan setinggi 1 m, tinggi tersebut secara praktis sudah bisa menampung sedimen (Pedoman Kriteria Desain Embung,1994). Tampungan Mati direncakan pada elevasi +1046 dan dengan tinggi 1 m dapat menampung sedimen sebesar 145,97 m³.

4.7.3 Penentuan Kapasitas Tampungan Efektif

Penentuan kapasitas tampungan efektif suatu embung harus diperhatikan besarnya kapasitas tampung desain dari embung tersebut dan seberapa besarnya ruangan sedimen yang disediakan. Besarnya kapasitas tampungan efektif merupakan besranya kapasitas tampungan desain dikurangi besarnya volume ruang yang disediakan

Ada beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam menentukan besarnya daya tampung oleh topografi terkait penentuan tinggi tubuh embung, hal ini sesuai dengan kriteria desain yakni kebutuhan tinggi untuk penurunan sebesar 0,25 m, asumsi tinggi mukai air 1,25 m, dan tinggi jagaan 0,5 m. Dengan elevasi dasar embung terletak pada elevasi +1044 m. Sesuai dengan batasan tinggi embung maksimum yang diperbolehkan adalah 15 m untuk tipe urugan maka, elevasi puncak embung terletak pada +1059 m.

Selanjutnya dalam menentukan elevasi crest pelimpah embung berdasarkan topografi ditentukan sebagai berikut :

| | |
|--|---|
| Elevasi tertinggi (berdasarkan kontur) | = +1059 m (puncak tertinggi embung) |
| Penurunan dari puncak embung | = 2 m (kebutuhan tinggi untuk muka air banjir, jagaan, dan penurunan) |
| Elevasi crest pelimpah | = +1059 – 2 m |
| | = +1057 m |
| Volume | = 34.764,35 m ³ |

Sehingga didapatkan kapasitas tampungan efektifnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas tampungan efektif} &= \text{Kapasitas tampung desain} - \text{Volume tampungan mati} \\
 &= 34.764,35 - 145,97 \\
 &= 34.618,38 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.8 Simulasi Tampungan Embung

Pada simulasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah debit yang tertampung di dalam embung cukup untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Embung Bonan Dolok ini merupakan embung untuk melayani kebutuhan air irigasi saja. Berikut perilaku yang diterapkan dalam perhitungan metode simulasi neraca air:

1. Perhitungan simulasi dilakukan pada 10 tahun
2. Data Outflow adalah data kebutuhan air irigasi penduduk
3. Data Inflow adalah data debit andalan yang didapat dari Perhitungan FJ.Mock
4. Saat awal simulasi kondisi tampungan waduk dianggap penuh

4.8.1 Perhitungan Simulasi Embung Bonan Dolok

Langkah-langkah perhitungan simulasi embung Bonan Dolok tahun 2006

Contoh Perhitungan:

1. Bulan Januari
2. Periode I
3. Jumlah hari pada periode I Januari = 15 hari
4. Inflow debit pada tahun , Januari periode I
5. Total Inflow debit periode I
 $= 0,319 \text{ m}^3/\text{dt}$
 $= 413694,286 \text{ m}^3$
6. Kebutuhan air irigasi
 $= 16,687/\text{dt}$
 $= 0,017 \text{ m}^3/\text{dt}$
 $= 21625,964 \text{ m}^3$
7. Total outflow
 $= 0,017 \times (24 \times 60 \times 60 \times 15)$
 $= 21625,964 \text{ m}^3$
8. $(S + (I - O))$
 $= \text{Kapasitas Tampungan Efektif} + \text{Inflow} - \text{Outflow}$
 $= 34618,318 + 413694,286 - 21625,964$
 $= 426686,703 \text{ m}^3$
9. S Akhir periode
 $= \text{IF}((S + (I - O)) <= 0; 0; (\text{IF} \{ ((S + (I - O)) > \text{Tampungan Efektif}; \text{Tampungan Efektif}; ((S + (I - O)) \})$
 $= 34618,381 \text{ m}^3$

10. S total periode

= IF { S akhir Periode = Tampungan Efektif; Tampungan Total; S akhir Periode +
tampungan mati }
= 35169,541 m³

11. SpillOut

= IF (((S+(I-O)) > S akhir periode ; ((S+(I-O)) - S akhir periode; 0)
= 392068,322

12. Keterangan

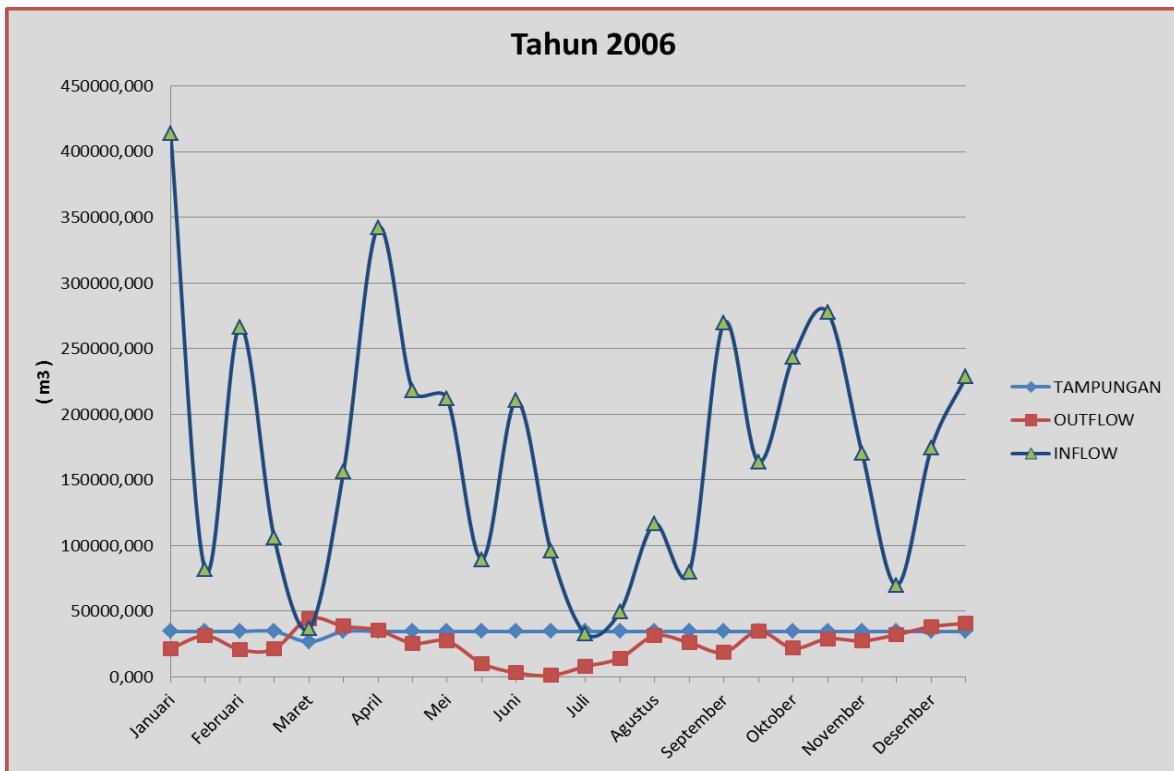
= Jika S total periode > Tampungan mati = Sukses
= Jika S total periode < Tampungan mati = Gagal
= “Sukses”

Perhitungan untuk simulasi selanjutnya disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.85 Simulasi Tahun 2006

| Bulan | Periode | Hari | Inflow | | Kebutuhan Air Irrigasi | | | Total outflow (m³) | (S+(I-O)) (m³) | S akhir periode (m³) | S total periode (m³) | Spillout (m³) | Ket | | | | | | |
|-----------|---------|------|---------------|------------|------------------------|------------|-----------|-----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|--------|--|--|--|--|--|--|
| | | | Debit Andalan | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | (m³/det) | (m³) | (l/det) | (m³/detik) | (m³) | | | | | | | | | | | | |
| (1) | (2) | (3) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | | | | | | |
| Januari | I | 15 | 0,319 | 413694,286 | 16,687 | 0,017 | 21625,964 | 21625,964 | 426686,703 | 34618,381 | 35169,541 | | | | | | | | |
| | II | 16 | 0,059 | 81468,426 | 22,608 | 0,023 | 31252,743 | 31252,743 | 84834,064 | 34618,381 | 35169,541 | 50215,683 | sukses | | | | | | |
| Februari | I | 15 | 0,206 | 266351,160 | 16,121 | 0,016 | 20892,208 | 20892,208 | 280077,333 | 34618,381 | 35169,541 | 245458,952 | sukses | | | | | | |
| | II | 13 | 0,094 | 105783,738 | 18,975 | 0,019 | 21312,685 | 21312,685 | 119089,434 | 34618,381 | 35169,541 | 84471,053 | sukses | | | | | | |
| Maret | I | 15 | 0,028 | 36607,727 | 34,330 | 0,034 | 44491,612 | 44491,612 | 26734,496 | 26734,496 | 27285,656 | 0,000 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,113 | 156346,471 | 27,991 | 0,028 | 38694,336 | 38694,336 | 144386,631 | 34618,381 | 35169,541 | 109768,250 | sukses | | | | | | |
| April | I | 15 | 0,264 | 342164,976 | 27,448 | 0,027 | 35572,976 | 35572,976 | 341210,381 | 34618,381 | 35169,541 | 306592,000 | sukses | | | | | | |
| | II | 15 | 0,168 | 218113,002 | 19,793 | 0,020 | 25651,659 | 25651,659 | 227079,724 | 34618,381 | 35169,541 | 192461,343 | sukses | | | | | | |
| Mei | I | 15 | 0,164 | 211943,244 | 21,018 | 0,021 | 27239,336 | 27239,336 | 219322,289 | 34618,381 | 35169,541 | 184703,908 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,065 | 89479,948 | 7,387 | 0,007 | 10211,538 | 10211,538 | 113886,791 | 34618,381 | 35169,541 | 79268,410 | sukses | | | | | | |
| Juni | I | 15 | 0,162 | 210271,319 | 2,404 | 0,002 | 3115,385 | 3115,385 | 241774,315 | 34618,381 | 35169,541 | 207155,934 | sukses | | | | | | |
| | II | 15 | 0,074 | 95846,451 | 0,803 | 0,001 | 1041,183 | 1041,183 | 129423,649 | 34618,381 | 35169,541 | 94805,268 | sukses | | | | | | |
| Juli | I | 15 | 0,025 | 32995,658 | 6,151 | 0,006 | 7971,462 | 7971,462 | 59642,577 | 34618,381 | 35169,541 | 25024,196 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,036 | 49753,004 | 10,367 | 0,010 | 14331,995 | 14331,995 | 70039,390 | 34618,381 | 35169,541 | 35421,009 | sukses | | | | | | |
| Agustus | I | 15 | 0,090 | 116657,055 | 24,145 | 0,024 | 31291,284 | 31291,284 | 119984,152 | 34618,381 | 35169,541 | 85365,771 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,057 | 79460,250 | 18,849 | 0,019 | 26057,072 | 26057,072 | 88021,559 | 34618,381 | 35169,541 | 53403,178 | sukses | | | | | | |
| September | I | 15 | 0,208 | 269544,076 | 14,363 | 0,014 | 18614,414 | 18614,414 | 285548,043 | 34618,381 | 35169,541 | 250929,662 | sukses | | | | | | |
| | II | 15 | 0,126 | 163893,138 | 26,846 | 0,027 | 34792,331 | 34792,331 | 163719,188 | 34618,381 | 35169,541 | 129100,807 | sukses | | | | | | |
| Oktober | I | 15 | 0,188 | 243340,518 | 16,876 | 0,017 | 21870,932 | 21870,932 | 256087,968 | 34618,381 | 35169,541 | 221469,587 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,201 | 277674,641 | 21,044 | 0,021 | 29091,180 | 29091,180 | 283201,842 | 34618,381 | 35169,541 | 248583,461 | sukses | | | | | | |
| November | I | 15 | 0,131 | 170213,323 | 21,165 | 0,021 | 27429,298 | 27429,298 | 177402,406 | 34618,381 | 35169,541 | 142784,025 | sukses | | | | | | |
| | II | 15 | 0,054 | 69701,559 | 24,843 | 0,025 | 32195,953 | 32195,953 | 72123,987 | 34618,381 | 35169,541 | 37505,606 | sukses | | | | | | |
| Desember | I | 15 | 0,135 | 174344,001 | 29,569 | 0,030 | 38321,160 | 38321,160 | 170641,222 | 34618,381 | 35169,541 | 136022,841 | sukses | | | | | | |
| | II | 16 | 0,165 | 228484,782 | 29,459 | 0,029 | 40724,230 | 40724,230 | 222378,933 | 34618,381 | 35169,541 | 187760,552 | sukses | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017



Gambar 4.10 Grafik Simulasi 2006

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.9 Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah

Dalam analisis penelusuran banjir perlu diperhitungkan untuk mengetahui besarnya air yang nantinya akan melimpah apabila terjadi banjir pada waduk. Analisis ini nantinya digunakan untuk mendesain bangunan peimpah agar tidak membahayakan puncak embung sat terjadi banjir yang besar. Awal perhitungan dimulai dengan menginput data Q rancangan yang telah dihitung pada perhitungan sebelumnya, dalam analisis perhitungan ini digunakan Q50 dan Q100 sebagai kontrolnya. Berikut data input yang dibutuhkan:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| Elevasi mercu pelimpah | = +1057 m |
| Elevasi dasar pelimpah | = +1054 m |
| P | = 3 m |
| Lebar pelimpah (L) | = 10 m |
| Q50th | = 27,185 m ³ /dt |
| Q100th | = 31,989 m ³ /dt |

4.9.1 Penentuan Koefisien Debit Pelimpah

Untuk penentuan koefisien debit limpasan, pertama kali dalam mencari nilai koefisien C dilakukan dengan perhitungan coba-coba. Perhitungan koefisien debit pelimpah (C) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Lebar efektif} &= L - 2 \times (n \times K_p + K_a) \times H_d \\ &= 10 - 2 \times (0 \times 0,02 + 0,12) \times H_d \\ \text{Leff} &= 10 - 0,235 H_d\end{aligned}$$

Untuk nilai Cd = 2,00 maka

$$\begin{aligned}Q_{50} &= Cd \times \text{Leff} \times H_d^{3/2} \\ 27,185 &= 2 \times 10 - 0,235 H_d^{2,5}\end{aligned}$$

Selanjutnya dengan nilai Cd = 2 , dicek menggunakan persamaan iwasaki sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Cd &= 2,20 - 0,0416 \times (H_d/P)^{0,99} \\ Cd &= 2,183\end{aligned}$$

Harga nilai dari Cd coba-coba belum tentu sama dengan harga Cd hitung, Maka harus dilakukan coba-coba harga Cd lagi sehingga ditemukan harga Cd coba-coba sama dengan harga Cd hitung. Berikut Tabel perhitungan coba-coba nilai Cd:

Tabel 4.86 Perhitungan Koefisien Debit (CD)

| C asumsi | Hd | a | C hitung |
|----------|-------|---------|----------|
| 2,0 | 1,252 | 0,57247 | 2,182 |
| 2,182 | 1,180 | 0,57401 | 2,183 |
| 2,183 | 1,179 | 0,57402 | 2,183 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari perhitungan tersebut didapat nilai Cd = 2,183 dan Hd = 1,179. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai a sebagai berikut:

$$Cd = 1,60 \times (1+2a(h/Hd))/(1+a(h/Hd))$$

$$2,179 = 1,60 \times (1+2a(h/Hd))/(1+a(h/Hd))$$

$$2,179 = 1,60 \times (1+2a)/(1+a)$$

$$a = 0,574$$

untuk nilai a = 0,558 , maka persamaan koefisien debit adalah:

$$Cd = 1,60 \times (1+2,0,574(h/1,179))/(1+0,574(h/1,179))$$

Dengan persamaan Cd diatas, maka didapat nilai Q untuk berbagai nilai H seperti pada Tabel 4.87 berikut:

Tabel 4.87 Hubungan H dan Q diatas pelimpah Embung Bonan Dolok (Cd=2,182)

| Elevasi (m) | h (m) | h/Hd | Ka | L | C | Q m ³ /det |
|----------------|----------|------|--------|--------|-------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1057,0 | 0,0 | 0,00 | 0,1672 | 10,000 | 1,600 | 0,000 |
| 1057,1 | 0,1 | 0,08 | 0,1665 | 9,967 | 1,641 | 0,517 |
| 1057,2 | 0,20 | 0,17 | 0,1658 | 9,934 | 1,680 | 1,493 |
| 1057,3 | 0,30 | 0,25 | 0,1643 | 9,901 | 1,717 | 2,793 |
| 1057,4 | 0,40 | 0,34 | 0,1623 | 9,870 | 1,752 | 4,375 |
| 1057,5 | 0,50 | 0,42 | 0,1596 | 9,840 | 1,786 | 6,213 |
| 1057,6 | 0,60 | 0,51 | 0,1550 | 9,814 | 1,818 | 8,292 |
| 1057,7 | 0,70 | 0,59 | 0,1503 | 9,790 | 1,849 | 10,599 |
| 1057,8 | 0,80 | 0,68 | 0,1448 | 9,768 | 1,878 | 13,127 |
| 1057,9 | 0,90 | 0,76 | 0,1392 | 9,749 | 1,906 | 15,867 |
| 1058,0 | 1,00 | 0,85 | 0,1322 | 9,736 | 1,933 | 18,820 |
| 1058,1 | 1,10 | 0,93 | 0,1240 | 9,727 | 1,959 | 21,983 |
| 1058,2 | 1,20 | 1,02 | 0,1154 | 9,723 | 1,984 | 25,354 |
| 1058,3 | 1,30 | 1,10 | 0,1046 | 9,728 | 2,008 | 28,947 |
| 1058,4 | 1,40 | 1,19 | 0,0938 | 9,737 | 2,030 | 32,751 |
| 1058,5 | 1,50 | 1,27 | 0,0770 | 9,769 | 2,053 | 36,836 |
| 1058,6 | 1,60 | 1,36 | 0,0591 | 9,811 | 2,074 | 41,176 |
| 1058,7 | 1,70 | 1,44 | 0,0000 | 10,000 | 2,094 | 46,419 |
| 1058,8 | 1,80 | 1,53 | 0,0000 | 10,000 | 2,114 | 51,050 |
| 1058,9 | 1,90 | 1,61 | 0,0000 | 10,000 | 2,133 | 55,862 |
| 1059,0 | 2,00 | 1,70 | 0,0000 | 10,000 | 2,151 | 60,850 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.9.2 Perhitungan Penelususran Banjir Melalui Pelimpah

Dalam perhitungan penelususran banjir melalui pelimpah, terlebih dahulu menghitung fungsi tampungan pada Tabel 4.87.

Tabel 4.88 Perhitungan Fungsi Tampungan untuk Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah Embung Bonan Dolok (Cd=2,182)

| Elevasi (m) | h (m) | S (m ³) | dS (m ³) | dS/dt (m ³ /det) | Q (m ³ /det) | Q/2 (m ³ /det) | ψ (m ³ /det) | j (m ³ /det) |
|----------------|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1057,000 | 0,0 | 34764 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 |
| 1057,100 | 0,1 | 35614 | 850 | 0,236 | 0,517 | 0,259 | -0,023 | 0,495 |
| 1057,200 | 0,2 | 36464 | 1.700 | 0,472 | 1,493 | 0,746 | -0,274 | 1,218 |
| 1057,300 | 0,3 | 37314 | 2.549 | 0,708 | 2,793 | 1,397 | -0,689 | 2,105 |
| 1057,400 | 0,4 | 38163 | 3.399 | 0,944 | 4,375 | 2,188 | -1,243 | 3,132 |

Lanjutan Tabel 4.88 Perhitungan Fungsi Tampungan untuk Penelusuran Banjir Melalui
Pelimpah Embung Bonan Dolok (Cd=2,182)

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 1057,500 | 0,5 | 39013 | 4.249 | 1,180 | 6,213 | 3,107 | -1,926 | 4,287 |
| 1057,600 | 0,6 | 39863 | 5.099 | 1,416 | 8,292 | 4,146 | -2,730 | 5,562 |
| 1057,700 | 0,7 | 40713 | 5.948 | 1,652 | 10,599 | 5,300 | -3,647 | 6,952 |
| 1057,800 | 0,8 | 41562 | 6.798 | 1,888 | 13,127 | 6,563 | -4,675 | 8,452 |
| 1057,900 | 0,9 | 42412 | 7.648 | 2,124 | 15,867 | 7,933 | -5,809 | 10,058 |
| 1058,000 | 1,0 | 43262 | 8.498 | 2,360 | 18,820 | 9,410 | -7,049 | 11,770 |
| 1058,100 | 1,1 | 44214 | 9.449 | 2,625 | 21,983 | 10,991 | -8,367 | 13,616 |
| 1058,200 | 1,2 | 45166 | 10.401 | 2,889 | 25,354 | 12,677 | -9,788 | 15,566 |
| 1058,300 | 1,3 | 46117 | 11.353 | 3,154 | 28,947 | 14,474 | -11,320 | 17,627 |
| 1058,400 | 1,4 | 47069 | 12.305 | 3,418 | 32,751 | 16,375 | -12,957 | 19,793 |
| 1058,500 | 1,5 | 48021 | 13.256 | 3,682 | 36,836 | 18,418 | -14,736 | 22,100 |
| 1058,600 | 1,6 | 48973 | 14.208 | 3,947 | 41,176 | 20,588 | -16,641 | 24,535 |
| 1058,700 | 1,7 | 49924 | 15.160 | 4,211 | 46,419 | 23,209 | -18,998 | 27,420 |
| 1058,800 | 1,8 | 50876 | 16.112 | 4,476 | 51,050 | 25,525 | -21,050 | 30,001 |
| 1058,900 | 1,9 | 51828 | 17.064 | 4,740 | 55,862 | 27,931 | -23,191 | 32,671 |
| 1059,000 | 2,0 | 52780 | 18.015 | 5,004 | 60,850 | 30,425 | -25,421 | 35,429 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

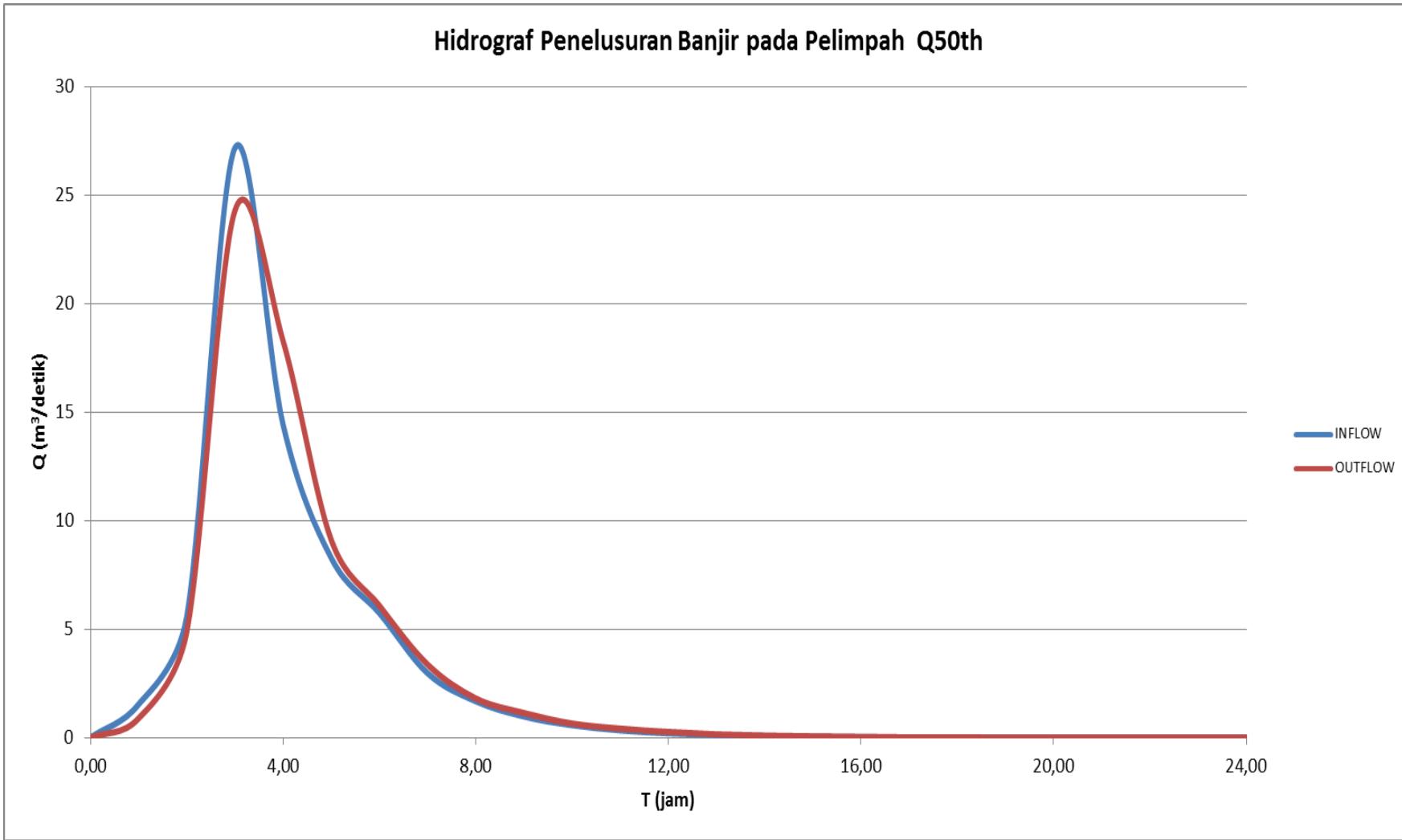
Tabel 4.89 Perhitungan Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah Q50

| T (jam) 1 | Inflow (I) (m ³ /det) 2 | (I ₁ +I ₂)/2 (m ³ /det) 3 | ψ (m ³ /det) 4 | j (m ³ /det) 5 | Outflow (Q) (m ³ /det) 6 | h (m) 7 | Elevasi (m) 8 |
|------------------------|--|--|---|--|---|----------------------|----------------------------|
| | | | | | | | |
| 0,00 | 0,010 | | | | 0,010 | 0,002 | 1057,002 |
| 1,00 | 1,548 | 0,779 | 0,000 | 0,778 | 0,900 | 0,139 | 1057,139 |
| 2,00 | 5,592 | 3,570 | -0,121 | 3,448 | 4,879 | 0,427 | 1057,427 |
| 3,00 | 27,185 | 16,388 | -1,431 | 14,957 | 24,302 | 1,169 | 1058,169 |
| 4,00 | 14,431 | 20,808 | -9,344 | 11,464 | 18,291 | 0,982 | 1057,982 |
| 5,00 | 8,286 | 11,359 | -5,300 | 6,059 | 9,116 | 0,636 | 1057,636 |
| 6,00 | 5,750 | 7,018 | -2,810 | 4,208 | 6,088 | 0,493 | 1057,493 |
| 7,00 | 2,979 | 4,364 | -1,880 | 2,485 | 3,379 | 0,337 | 1057,337 |
| 8,00 | 1,689 | 2,334 | -0,894 | 1,440 | 1,818 | 0,225 | 1057,225 |
| 9,00 | 0,985 | 1,337 | -0,378 | 0,959 | 1,143 | 0,164 | 1057,164 |
| 10,00 | 0,584 | 0,785 | -0,184 | 0,600 | 0,660 | 0,115 | 1057,115 |
| 11,00 | 0,348 | 0,466 | -0,059 | 0,406 | 0,425 | 0,082 | 1057,082 |
| 12,00 | 0,209 | 0,278 | -0,019 | 0,260 | 0,272 | 0,053 | 1057,053 |
| 13,00 | 0,127 | 0,168 | -0,012 | 0,156 | 0,163 | 0,032 | 1057,032 |
| 14,00 | 0,079 | 0,103 | -0,007 | 0,096 | 0,100 | 0,019 | 1057,019 |
| 15,00 | 0,051 | 0,065 | -0,004 | 0,060 | 0,063 | 0,012 | 1057,012 |
| 16,00 | 0,034 | 0,042 | -0,003 | 0,039 | 0,041 | 0,008 | 1057,008 |

Lanjutan Tabel 4.89 Perhitungan Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah Q50

| | | | | | | | |
|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| 17,00 | 0,024 | 0,029 | -0,002 | 0,027 | 0,028 | 0,005 | 1057,005 |
| 18,00 | 0,018 | 0,021 | -0,001 | 0,020 | 0,021 | 0,004 | 1057,004 |
| 19,00 | 0,015 | 0,017 | -0,001 | 0,016 | 0,016 | 0,003 | 1057,003 |
| 20,00 | 0,013 | 0,014 | -0,001 | 0,013 | 0,014 | 0,003 | 1057,003 |
| 21,00 | 0,012 | 0,012 | -0,001 | 0,012 | 0,012 | 0,002 | 1057,002 |
| 22,00 | 0,011 | 0,011 | -0,001 | 0,011 | 0,011 | 0,002 | 1057,002 |
| 23,00 | 0,011 | 0,011 | 0,000 | 0,010 | 0,011 | 0,002 | 1057,002 |
| 24,00 | 0,010 | 0,010 | 0,000 | 0,010 | 0,010 | 0,002 | 1057,002 |
| max | 27,185 | 20,808 | 0,000 | 14,957 | 24,302 | 1,169 | 1058,169 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017



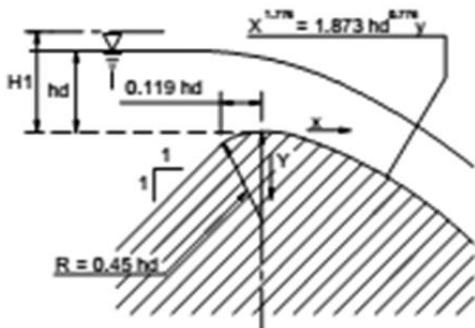
Gambar 4.11 Grafik Penelususran Banjir Q50th Embung Bonan Dolok

Sumber: Analisi Perhitungan, 2017

4.10 Perencanaan Pelimpah

Bangunan pelimpah diperlukan guna untuk mengalirkan air banjir yang masuk kedalam embung agar nantinya tidak membahayakan keamanan tubuh embung. Pada perencanaan bangunan pelimpah embung Bonan Dolok dipakai debit banjir rencana 50 tahun sebesar 21,006 m³/dt. Berikut perhitungannya:

| | |
|---|-----------------------------|
| Kala Ulang (T) | = 50 tahun |
| Debit Inflow maksimum (Qi) | = 27,185 m ³ /dt |
| Debit outflow pelimpah (Qo) | = 24,302 m ³ /dt |
| Lembar ambang pelimpah (B) | = 10 m |
| Kedalaman aliran diatas ambang (Hd) | = 1,179 m |
| Kedalaman aliran kritis diatas ambang (Hc) = $(\frac{Q_o}{B})^2 \cdot \frac{1}{9,81}$ | = 0,844 m |
| Kemiringan tubuh spillway (Z) | = 1 |



Gambar 4.12 Pelimpah Ogee IV

Persamaan Lengkung *Harold* pelimpah tipe Ogee IV:

$$X^{1,776} = 1,873 \times H_d^{0,776} \times Y$$

Sehingga,

$$Y = 0,470 \times X^{1,776}$$

$$Y' = 0,834 \times X^{0,776}$$

Titik awal melalui gradient, misal:

$$Y' = 0,1$$

$$1 = 0,834 \times X^{0,776}$$

$$X^{0,776} = 1,199$$

$$X = 1,263$$

$$Y = 0,470 \times X^{1,776}$$

$$Y = 0,711$$

Dari persamaan diatas, maka didapatkan perhitungan untuk lengkung *Harold* yang terdapat pada tabel berikut ini;

Tabel 4.90 Perhitungan Lengkung *Harold*

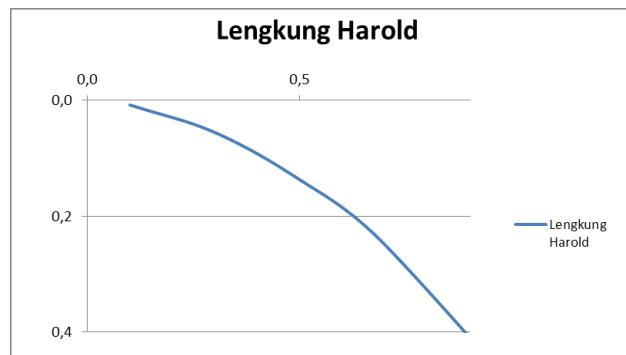
| X | Y |
|-------|-------|
| 0,100 | 0,008 |
| 0,300 | 0,055 |
| 0,500 | 0,137 |
| 0,700 | 0,249 |
| 1,263 | 0,711 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

$$R = 0,119 \text{ Hd} = 0,140 \text{ m}$$

$$\text{Jarak R} = 0,45 \text{ Hd} = 0,531 \text{ m}$$

Grafik lengkung *Harold* sebagai berikut:



Gambar 4.13 Lengkung *Harold*

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Perhitungan kecepatan air pada saluran pengarah, dimana batas aman kecepatan tidak boleh melebihi 4m/dt.

$$\begin{aligned} V &= Q / (B \cdot (H_o + 1)) \\ &= 27,185 / ((10 \cdot (1,179 + 1)) \\ &= 1,247 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Perhitungan tinggi jagaan pada Q50

$$\begin{aligned} W &= 0,6 + 0,037 \cdot V \cdot (1 + H_o)^{0,333} \\ &= 0,60 + 0,037 \cdot 1,247 \cdot (1 + 1,179)^{0,333} \\ &= 0,660 \end{aligned}$$

$$\text{Elevasi jagaan} = 1057 + 1,179 + 0,660 = +1058,839 \text{ m}$$

4.10.1 Perhitungan Muka Air Saluran Peluncur

Pada studi ini debit yang digunakan menggunakan debit Q50. Berikut peritungan muka air saluran peluncur pelimpah :

$$Q = 27,185 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{Lebar saluran} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi dasar} = +1040 \text{ m}$$

$$Y_c = \left(\left(\frac{Q}{B} \right)^2 \right)^{1/3} \\ = \left(\left(\frac{27,185}{10} \right)^2 \right)^{1/3}$$

$$= 0,9099 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan} = \text{beda tinggi/panjang pias}$$

$$= 17 / 17$$

$$= 1$$

$$\text{Jarak antar pias} = 5 \text{ m}$$

Contoh Perhitungan :

Pada pias pertama atau pada ujung hilir saluran transisi.

$$\text{Lebar saluran (b)} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Beda tinggi} = 17 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman air (h)} = Y_c (\text{sama dengan saluran transisi})$$

$$= \left(\left(\frac{Q}{B} \right)^2 \right)^{1/3} \\ = \left(\left(\frac{27,185}{10} \right)^2 \right)^{1/3}$$

$$= 0,9099 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi muka air} = + 1057,910 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang basah (A)} = b.h$$

$$= 10.0,910$$

$$= 9,099$$

$$\text{Kecepatan (V)} = Q/A$$

$$= 27,185/9,099$$

$$= 2,988 \text{ m/dt}$$

$$h+Z+V^2/2g = 0,910 + 17 + 2,988^2 / 2.9,81$$

$$= 18,365 \text{ m}$$

$$\text{Keliling basah} = (2h)+b$$

| | |
|------------------------|---|
| | $= (2.0,910)+10$ |
| | $= 11,820 \text{ m}$ |
| Radius hidrolis | $= A/P$ |
| | $= 9,099/11.820$ |
| | $= 0,770 \text{ m}$ |
| Kemiringan gesek | $= (n^2 \cdot v^2 / R^{1/3})$ |
| | $= 0,012^2 \cdot 2,988^2 / 0,770^{1/3}$ |
| | $= 0,002$ |
| Bilangan <i>froude</i> | $= 1$ (kondisi KRITIS) |

Berikut perhitungan muka air peluncur akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.91 Perhitungan Muka Air Saluran Peluncur

| No. | Jarak | Jarak Antar Pias | Lebar Saluran | Beda Tinggi Antar Titik | Kedalaman Air | Elevasi | Luas Penampang | Kecepatan Basah | |
|-----|------------|---------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| No | Jarak m | ΔX m | B1 m | Z1 m | H1 m | El. MA | A2 m | V1 m/det | $h + Z + U^2 / 2g$ m |
| 1 | 0 | 0 | 10,000 | 17,00 | 0,910 | 1057,910 | 9,099 | 2,988 | 18,365 |
| 2 | 5 | 5 | 10,000 | 15,00 | 0,347 | 1055,347 | 3,474 | 7,825 | 18,468 |
| 3 | 10 | 5 | 10,000 | 10,00 | 0,208 | 1050,208 | 2,082 | 13,055 | 18,895 |
| 4 | 15 | 5 | 10,000 | 5,00 | 0,162 | 1045,162 | 1,616 | 16,817 | 19,577 |
| 5 | 17 | 2 | 10,000 | 0,00 | 0,141 | 1040,141 | 1,409 | 19,300 | 19,126 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Lanjutan Tabel 4.91 Perhitungan Muka Air Saluran Peluncur

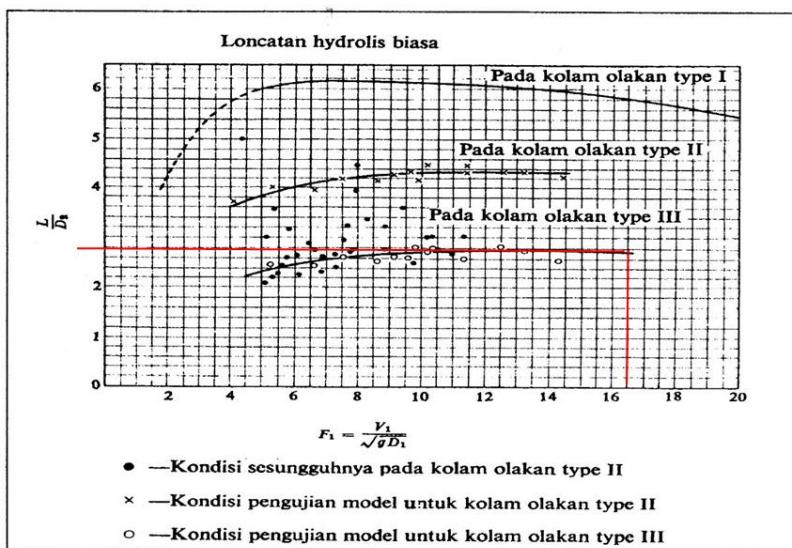
156

| Keliling Basah | Radius Hidrolis | Kemiringan Gesek | Rata-rata Kemiringan Gesek | Kehilangan Tinggi Akibat Gesekan | Kehilangan Tinggi Akibat Pusaran | $h_2 + Z_2 + U^2 / 2g + hf + he$ | Keterangan | Bilangan Froude | Kondisi Saluran |
|----------------|-----------------|------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
| | | | | hf | he | | | | |
| P1 m | R1 m | Sf | Sf-rata | | | | | | |
| 11,820 | 0,770 | 0,002 | | | | | | 1,000 | KRITIS |
| 10,695 | 0,325 | 0,039 | 0,021 | 0,103 | 0,000 | 18,468 | OK | 4,239 | SUPER KRITIS |
| 10,416 | 0,200 | 0,210 | 0,106 | 0,529 | 0,000 | 18,894 | OK | 9,134 | SUPER KRITIS |
| 10,323 | 0,157 | 0,483 | 0,242 | 1,211 | 0,000 | 19,576 | OK | 13,355 | SUPER KRITIS |
| 10,282 | 0,137 | 0,760 | 0,381 | 0,761 | 0,000 | 19,126 | OK | 16,419 | SUPER KRITIS |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.10.2 Perhitungan Peredam Energi

Pada studi ini perencanaan peredam energi direncanakan memakai debit Q50th. Hasil dari nilai Froude yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya digunakan untuk menentukan tipe peredam energi. Hasil dari perhitungan bilangan Froude sebelumnya yakni didapatkan $Fr = 16,419$. Dari nilai tersebut kemudian dimasukkan ke grafik loncatan hidrolik sebagai berikut:



Gambar 4.14 Grafik Loncatan Hidraulik

Pada studi ini peredam energi direncanakan menggunakan peredam energi tipe III.

Berikut perhitungannya:

$$Q = 27,185 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$d_1 = 0,141$$

$$b = 10 \text{ m}$$

$$V_1 = 19,300 \text{ m}/\text{dt}$$

$$A = 1,409 \text{ m}^2$$

$$Fr = 16,419$$

$$q = Q/b$$

$$= 27,185 / 10$$

$$= 2,718 \text{ m}^3/\text{dt}$$

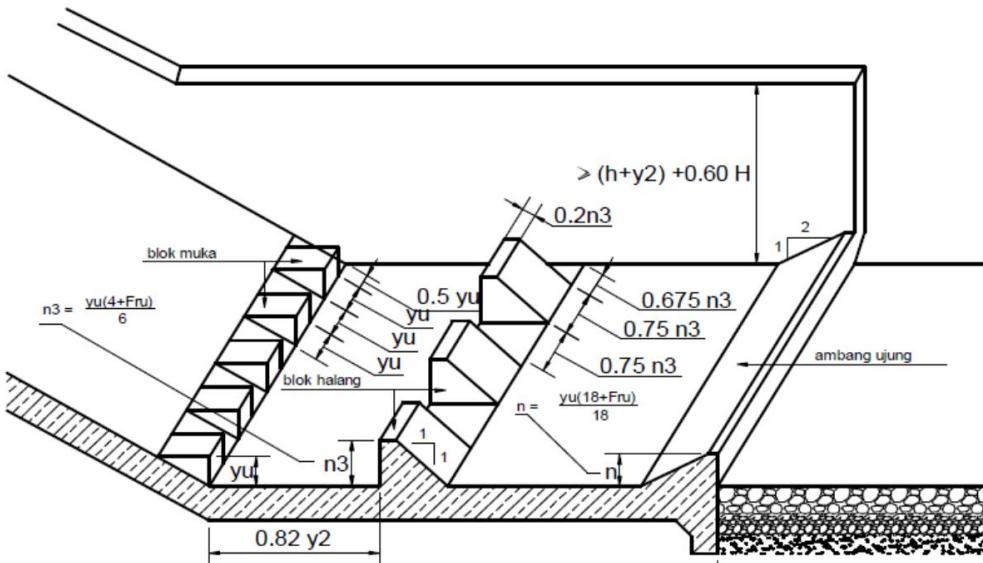
$$d_2 = (d_1/2).(((1+(8fr)^2)^{0,5})-1)$$

$$= 3,201 \text{ m}$$

$$L = L/d_2.d_2$$

$$= 2,8.3,201$$

$$= 8,962 \text{ m}$$



Gambar 4.15 Kolam Olak USBR Tipe III

$$y_1 = 0,141 \text{ m}$$

$$F_1 = 16,419$$

$$y_2 = 3,201$$

$$L = 8,962 \text{ m}$$

$$0,82 y_2 = 0,82 \cdot 3,201$$

$$= 2,625 \text{ m}$$

$$y_u = y_1 = 0,141 \text{ m}$$

$$0,5 y_u = 0,5 \cdot 0,141$$

$$= 0,070 \text{ m}$$

$$n_3 = (y_u(4+F_1))/6$$

$$= (0,141(4+16,419))/6$$

$$= 0,479 \text{ m}$$

$$0,75 n_3 = 0,75 \cdot 0,479$$

$$= 0,360 \text{ m}$$

$$0,2 n_3 = 0,2 \cdot 0,360$$

$$= 0,096 \text{ m}$$

$$0,675 n_3 = 0,675 \cdot 0,479$$

$$= 0,324 \text{ m}$$

$$n = (y_u(18+F_1))/18$$

$$= (0,141(18+16,419))/18$$

$$= 0,269 \text{ m}$$

4.11 Perhitungan Tubuh Embung

Pada analisis ini, perencanaan tubuh dimensi tubuh embung menggunakan kala ulang Q50th. Penentuan tinggi embung menggunakan rumus:

$$Hd = Hk + Hb + Hf + 0,25$$

Keterangan:

$$Hd = \text{tinggi embung}$$

$$Hk = (\text{tinggi mercu pelimpah})$$

$$Hb = (\text{tinggi banjir Q50th})$$

$$Hf = 0,5 \text{ (tinggi jagaan)}$$

$$\text{Jadi, } Hd = 13,00 + 1,169 + 0,5 + 0,25 = 14,900 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

Dalam penentuan lebar mercu ditentukan berdasarkan kegunaan sebagai jalan dan pemeliharaan embung nantinya.

$$\begin{aligned} B &= 3,6H^{1/3} - 3 \\ &= 3,6 \cdot 15^{1/3} - 3 \\ &= 5,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Rumus pendekatan yang digunakan dalam menentukan kemiringan tubuh embung sebagai berikut:

$$Fs \text{ hulu} = \frac{m-k.y}{1+k.y.m} \tan \phi \geq 1,1$$

$$Fs \text{ hilir} = \frac{n-k}{1+k.n} \tan \phi \geq 1,1$$

dengan material:

$$\gamma_{sat} = 2,040 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_{sub} = 1,040 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 20^\circ$$

$$k = 0,147$$

$$y' = 1,640$$

sehingga perhitungan sebagai berikut:

kemiringan talud bagian hulu :

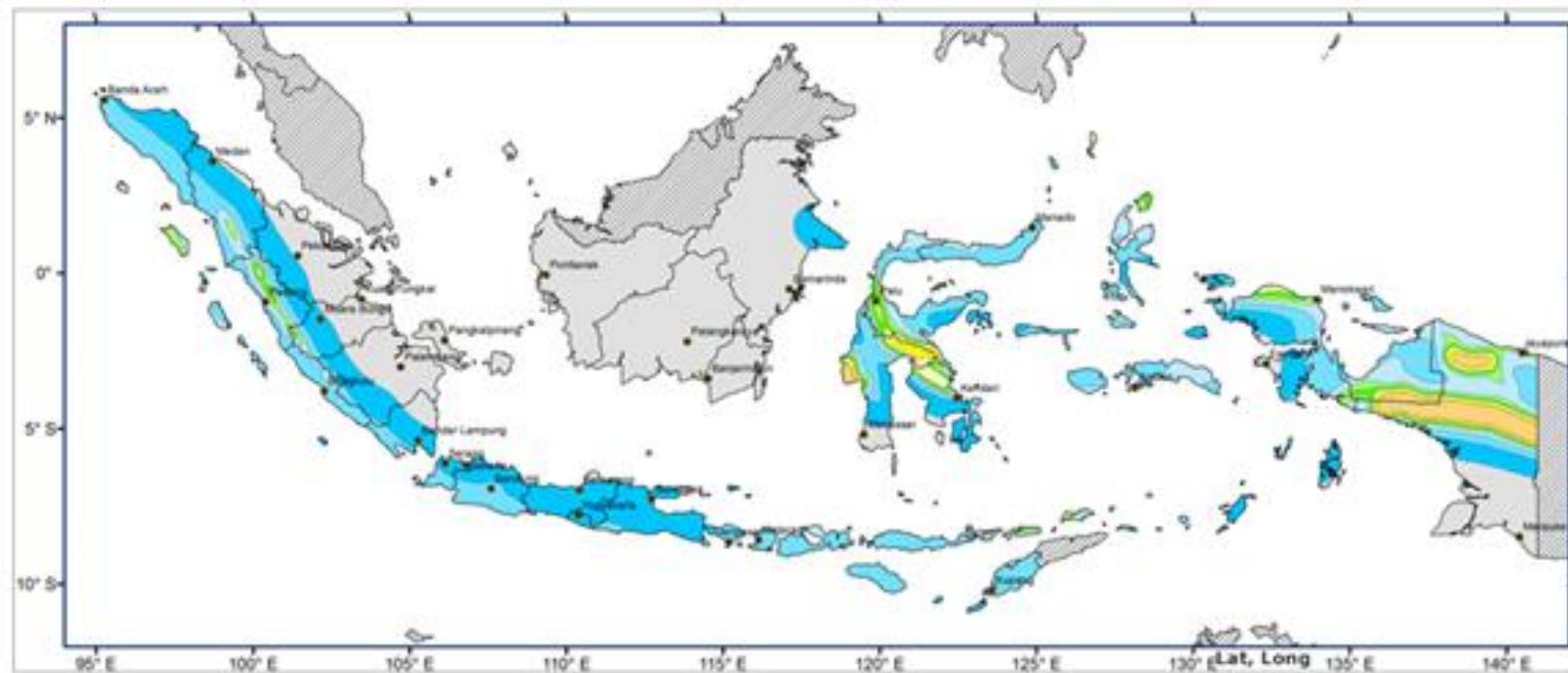
$$1,1 = \frac{m-k.y}{1+k.y.m} \tan \phi$$

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

kemiringan talud bagian hilir :

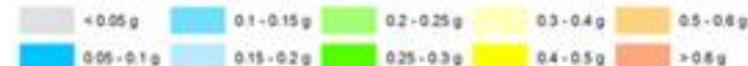
$$1,1 = ((n-k)/(1+n.k)) \tan \phi$$

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



KETERANGAN:

Percepatan puncak di batuan dasar S_B , untuk periode ulang gempa 50 tahun



Tim Penyusun :

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSCE, Ph.D., Ir. I Wayan Sengara, MSCE, Ph.D., Fahmi Aldiamar, ST,MT., Prof. Dr. Sri Widiyantoro, Wahyu Triyoso, MSc., Ph.D., Ir. Engkon Kertapati, Dr. Ir. Danny Hilman Natawidjaja, MSc., Dr. Ir. Irwan Meilano, MSc., Drs. Soehardjono Dipl. Seis., Ir. M. Asrurifak, MT., Ir. Mohamad Ridwan, Dipl.E.Eng.

PETA ZONASI GEMPA INDONESIA



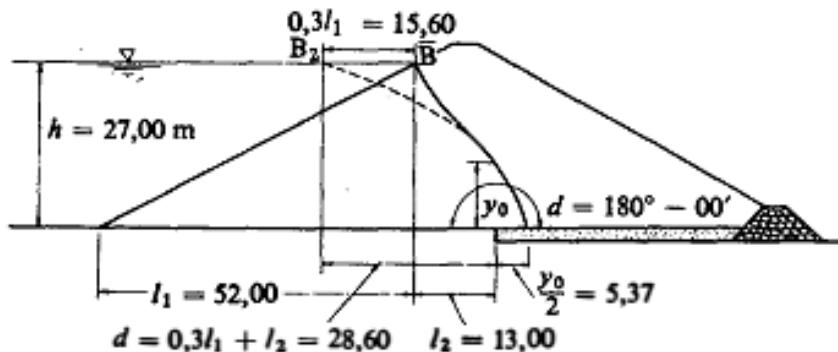
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

Jakarta, Juli 2010
MENTERI PEKERJAAN UMUM,

BAMBANG KIRMANTO

4.12 Analisis Stabilitas Terhadap Rembesan

Dalam perencanaan tubuh embung maupun pondasi diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air infiltrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh embung dan pondasi tersebut. Perhitungan formasi garis depresi disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.17 Skema Formasi Garis Depresi pada Embung Homogen

Sumber: Sosrodarsono, 1977: 158

$$h = 13 \text{ m}$$

$$l_1 = 39 \text{ m}$$

$$l_2 = 12,9 \text{ m}$$

$$0,3 \cdot l_1 = 0,3 \cdot 39$$

$$= 11,7 \text{ m}$$

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

$$= 12,9 + 11,7$$

$$= 24,6 \text{ m}$$

$$y_o = (((h^2 + d^2)^{0,5}) - d)$$

$$= 3,2 \text{ m}$$

$$2 \cdot y_o = 2 \cdot 3,2$$

$$= 6,4 \text{ m}$$

$$0,5 \cdot y_o = 0,5 \cdot 3,2$$

$$= 1,61 \text{ m}$$

$$y_o^2 = 3,2^2$$

$$= 10,39 \text{ m}$$

Dalam perhitungan perkiraan debit rembesan uang mengalir melalui tubuh dan pondasi embung berdasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$Q_f = \frac{Nf}{Nd} \cdot k \cdot h \cdot L$$

dimana:

Q_f = kapasitas aliran infiltrasi

Nf = angka pembagi dari garis trayektori aliran infiltrasi

Nd = angka pembagi dari garis *equipotensial*

k = koefisien infiltrasi

h = tinggi tekanan air total

L = panjang profil melintang tubuh embung

Tubuh embung Bonan Dolok menggunakan tipe urugan homogen, maka:

Diketahui:

$Nf = 3$

$Nd = 16$

$h = 13 \text{ m}$

$L = 95,9 \text{ m}$

$k = 2,4 \times 10^{-5} \text{ cm/dt} = 2,4 \times 10^{-7} \text{ m/dt}$

$$\begin{aligned} Q_f &= \frac{Nf}{Nd} \cdot k \cdot h \cdot L \\ &= \frac{3}{16} \cdot 2,4 \times 10^{-6} \cdot 13 \cdot 95,9 \\ &= 0,0000561 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Jadi, perkiraan besar debit yang mengalir melalui tubuh embung Bonan Dolok sebesar $5,61 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$.

Berdasarkan panduan dari Pedoman Grouting untuk Bendungan (2005:21) yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum yaitu besarnya angka kebocoran yang diperbolehkan yakni tidak lebih dari 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke waduk, hal ini sesuai dengan batasan yang berlaku di Jepang (*Japanese Institute of Irrigation and Drainage*). Rata-rata debit sungai yang masuk didapatkan dari analisis perhitungan F.J Mock karena pada lokasi studi tidak terdapat data AWLR.

- Q rata-rata hasil perhitungan FJ.Mock dari Tahun 2006-2015 = $0,075 \text{ m}^3/\text{det}$
- $1\% Q$ rata-rata = $0,00075 \text{ m}^3/\text{det}$

Jadi, Q rembesan $< 1\% Q$ rata-rata debit yang masuk pada embung, sehingga rembesan yang terjadi pada embung bisa dikatakan aman.

4.12.1 Analisis Stabilitas Tubuh Embung

Analisis stabilitas tubuh embung pada studi ini menggunakan analisa stabilitas lereng metode irisan bidang luncur dengan beberapa kondisi, yakni:

1. Kondisi setelah selesai dibangun (waduk kosong)
2. Kondisi saat muka air normal
3. Kondisi saat muka air banjir

Berikut hasil perhitungan dari masing-masing kondisi ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.92 Karakteristik Material Penyusun Tubuh Embung Bonan Dolok

| Zone | Bahan | Kepadatan | | | | Permeabilitas (cm/dt) | Kohesi (kg/cm ²) | Sudut geser \emptyset |
|------|------------|----------------|-------|------------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | y _d | y | y _{sat} | y _{sub} | | | |
| inti | Clays Sand | 1,64 | 1,986 | 2,014 | 1,014 | 0,000024 | 1,68 | 20 |

Sumber: Data Perhitungan, 2017

Berikut contoh perhitungan stabilitas lereng embung dilakukan dengan metode irisan bidang luncur bundar:

- Embung kondisi kosong bagian hulu
1. Dalam penentuan jari-jari bidang longsor (r) tepi lingkaran menyinggung dasar pondasi sehingga mengenai semua jenis material timbunan tubuh embung.
 2. Bidang longsor dibagi menjadi beberapa pias sama lebar, masing-masing pias dihitung luas (A) dan gaya beratnya (W). Contoh embung kondisi kosong normal pias 1:

$$A = 15,783 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma$$

$$= 15,783 \cdot 1,986$$

$$= 31,345 \text{ t/m}$$

3. Sudut yang ditentukan dari jari-jari bidang longsor (α) dengan arah berat masing-masing pias. Nilai pias 1, α didapatkan: -26°

4. Hitung momen geser pada bidang longsor tubuh embung:

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

$$= 31,345 \cdot \sin -26^\circ$$

$$= -13,741$$

5. Menghitung momen tahan bidang longsor pada embung:

$$N' = N \cdot \tan \emptyset$$

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

$$= 31,345 \cos -26^\circ$$

$$= 28,173$$

Tan \emptyset merupakan sudut geser yang didapat dari jenis bahan timbunan. Dalam analisis ini untuk zona tanah inti urugan nilai $\emptyset = 20^\circ$

$$N' = N \cdot \tan \emptyset$$

$$= 28,173 \cdot \tan 20^\circ$$

$$= 10,254$$

6. Angka kohesi tiap pias

$$C' = C \cdot l$$

$$= C \cdot (14/360) \cdot \pi \cdot 2 \cdot R$$

$$= 2,1 \cdot (7/360) \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 26,509$$

$$= 13,596$$

Untuk c didapat dari hasil lab jenis bahan timbunan dan b adalah lebar tiap pias

7. Menghitung nilai faktor keamanan (SF)

$$SF = \frac{\Sigma(C \cdot l + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)}$$

Nilai U ada saat embung terisi air

Nilai Ne dan Te ada saat kondisi gempa

$$SF = \frac{\Sigma(C \cdot l + N \cdot \tan \alpha)}{\Sigma T}$$

$$= \frac{92,256 + 187,489}{125,099}$$

$$= 2,236$$

- Embung kondisi muka air normal keadaan gempa bagian hulu

1. Perhitungan sama seperti perhitungan sebelumnya melainkan dalam nilai W diperoleh dari hasil jumlah dari W dan basah dan W kering.

Contoh pada pias 1:

$$W_{tot} = W_{sat} + W + W_w$$

$$= 0 + 44,631 + 30,714$$

$$= 75,344$$

2. *Uplift* adalah gaya air keatas saat tubuh embung jenuh air

$$U = h_u \times I$$

$$= 2,709 \times 6,474$$

$$= 17,538$$

3. Komponen vertikal dan tangesial beban seismis yang masing-masing dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Ne = k \cdot T$$

$$= 0,168 \cdot 33,029$$

$$= -5,549$$

$$SF = \frac{\sum(C.l + (N-U-Ne)\tan\alpha)}{\sum(T)}$$

$$= 114,907 + 92,256 / 100,905$$

$$= 2,053$$

Tabel 4.93 Analisis Stabilitas Lereng Embung Berbagai Macam Kondisi

| Zona Kondisi | Hulu Embung | | Hilir Embung | |
|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | Normal $\geq 1,5$ | Gempa $\geq 1,1$ | Normal $\geq 1,5$ | Gempa $\geq 1,1$ |
| Kosong (aman) | 2,089 | 2,035 | 2,089 | 2,028 |
| NWL (aman) | 1,931 | 2,053 | 2,089 | 2,028 |
| FWL (aman) | 1,970 | 2,095 | 2,089 | 2,028 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.94 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi Kosong, Normal

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ø | tan Ø | N.tan Ø | I | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|----|-------|---------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | 20 | 0,364 | 10,254 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | 20 | 0,364 | 28,510 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 20 | 0,364 | 40,406 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 20 | 0,364 | 44,311 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 20 | 0,364 | 39,107 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 20 | 0,364 | 24,901 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | 187,489 | | 73,805 |
| SF | | 2,089 | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.95 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi Kosong, Normal

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ø | tan Ø | N.tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|----|-------|---------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | 20 | 0,364 | 10,254 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | 20 | 0,364 | 28,510 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 20 | 0,364 | 40,406 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 20 | 0,364 | 44,311 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 20 | 0,364 | 39,107 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 20 | 0,364 | 24,901 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | 187,489 | | 73,805 |
| SF | | 2,089 | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.96 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi NWL, Normal

| No | Zona | ysat (t/m ³) | Y (t/m ³) | Wsat (t/m) | W (t/m) | Ww (t/m) | Wtot (t/m) | α | sin α | cos α | T | N | hw | hu | U | \emptyset | tan. \emptyset | (N-U).tan \emptyset | I | C (t/m ²) |
|--------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|------------|-------------|---------------|----------|--------------|--------------|---------|---------|-------|--------|--------|-------------|------------------|-----------------------|--------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 44,631 | 30,714 | 75,344 | -26 | -0,438 | 0,899 | -33,029 | 67,719 | 7,438 | 2,709 | 17,538 | 20 | 0,364 | 18,264 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 32,631 | 78,466 | 111,097 | -12 | -0,208 | 0,978 | -23,098 | 108,669 | 5,438 | 6,781 | 40,765 | 20 | 0,364 | 24,715 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 20,631 | 108,794 | 129,424 | 1 | 0,017 | 1,000 | 2,259 | 129,405 | 3,438 | 9,375 | 56,359 | 20 | 0,364 | 26,586 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 8,631 | 122,942 | 131,572 | 14 | 0,242 | 0,970 | 31,830 | 127,664 | 1,438 | 10,592 | 63,675 | 20 | 0,364 | 23,290 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 19,055 | 0,288 | 100,826 | 120,169 | 28 | 0,469 | 0,883 | 56,416 | 106,103 | 0,219 | 8,855 | 61,423 | 20 | 0,364 | 16,262 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 76,347 | 0,000 | 19,423 | 95,770 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,527 | 68,891 | 0,000 | 2,886 | 36,034 | 20 | 0,364 | 11,959 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | | | | 100,905 | | | | | | | 121,077 | | 73,805 |
| SF | | 1,931 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.97 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi NWL, Normal

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ø | tan Ø | N.tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|----|-------|---------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | 20 | 0,364 | 10,254 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | 20 | 0,364 | 28,510 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 20 | 0,364 | 40,406 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 20 | 0,364 | 44,311 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 20 | 0,364 | 39,107 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 20 | 0,364 | 24,901 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | 187,489 | | 73,805 |
| SF | | | 2,089 | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.98 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi FWL, Normal

| No | Zona | ysat (t/m ³) | Y (t/m ³) | Wsat (t/m) | W (t/m) | Ww (t/m) | Wtot (t/m) | α | sin α | cos α | T | N | hw | hu | U | \emptyset | tan. \emptyset | (N-U).tan. \emptyset | I | C (t/m ²) |
|--------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|------------|-------------|---------------|----------|--------------|--------------|---------|---------|-------|--------|---------|-------------|------------------|------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 52,233 | 30,714 | 82,946 | -26 | -0,438 | 0,899 | -36,361 | 74,552 | 8,705 | 2,709 | 17,538 | 20 | 0,3640 | 20,751 | 6,474 | 13,596 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 40,233 | 78,466 | 118,699 | -12 | -0,208 | 0,978 | -24,679 | 116,105 | 6,705 | 6,781 | 40,765 | 20 | 0,3640 | 27,421 | 6,012 | 12,624 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 28,233 | 108,794 | 137,026 | 1 | 0,017 | 1,000 | 2,391 | 137,006 | 4,705 | 9,375 | 56,359 | 20 | 0,3640 | 29,353 | 6,012 | 12,624 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 16,233 | 122,942 | 139,174 | 14 | 0,242 | 0,970 | 33,669 | 135,040 | 2,705 | 10,592 | 63,675 | 20 | 0,3640 | 25,975 | 6,012 | 12,624 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0,975 | 4,363 | 118,294 | 123,632 | 28 | 0,469 | 0,883 | 58,042 | 109,161 | 0,853 | 10,376 | 71,973 | 20 | 0,3640 | 13,535 | 6,937 | 14,567 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 57,055 | 0,000 | 38,064 | 95,118 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,075 | 68,423 | 0,000 | 4,491 | 56,073 | 20 | 0,3640 | 4,495 | 12,486 | 26,220 |
| Jumlah | | | | | | | | | | | 99,137 | | | | 121,530 | | | | 73,805 | |
| SF | | 1,970 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.99 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi FWL, Normal

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ø | tan Ø | N.tan Ø | I | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|----|-------|---------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | 20 | 0,364 | 10,254 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | 20 | 0,364 | 28,510 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 20 | 0,364 | 40,406 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 20 | 0,364 | 44,311 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 20 | 0,364 | 39,107 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 20 | 0,364 | 24,901 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | 187,489 | | 73,805 |
| SF | | | 2,089 | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.100 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi Kosong, Gempa

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ne | Ø | tan Ø | (N-Ne).tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|--------|----|-------|--------------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | -2,020 | 20 | 0,364 | 10,989 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | -2,447 | 20 | 0,364 | 29,401 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 0,285 | 20 | 0,364 | 40,302 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 4,462 | 20 | 0,364 | 42,687 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 8,398 | 20 | 0,364 | 36,050 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 9,712 | 20 | 0,364 | 21,366 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | | 180,796 | | 73,805 |
| SF | | | | 2,035 | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.101 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi Kosong, Gempa

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ne | Ø | tan Ø | (N-Ne).tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|--------|----|-------|--------------|--------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | -2,308 | 20 | 0,364 | 11,094 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | -2,797 | 20 | 0,364 | 29,528 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 0,326 | 20 | 0,364 | 40,288 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 5,099 | 20 | 0,364 | 42,455 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 9,598 | 20 | 0,364 | 35,614 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 11,099 | 20 | 0,364 | 20,861 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | | 179,839 | | 73,805 |
| SF | | 2,028 | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.102 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi NWL, Gempa

| No | Zona | ysat (t/m ³) | Y (t/m ³) | Wsat (t/m) | W (t/m) | Ww (t/m) | Wtot (t/m) | α | sin α | cos α | T | N | Ne | hw | hu | U | \emptyset | tan. \emptyset | (N-Ne-U).tan \emptyset | I | C (t/m ²) |
|--------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|------------|-------------|---------------|----------|--------------|--------------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|-------------|------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 44,631 | 30,714 | 75,344 | -26 | -0,438 | 0,899 | -33,029 | 67,719 | -5,549 | 7,438 | 2,709 | 17,538 | 20 | 0,3640 | 20,284 | 6,474 | 13,596 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 32,631 | 78,466 | 111,097 | -12 | -0,208 | 0,978 | -23,098 | 108,669 | -3,881 | 5,438 | 6,781 | 40,765 | 20 | 0,3640 | 26,127 | 6,012 | 12,624 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 20,631 | 108,794 | 129,424 | 1 | 0,017 | 1,000 | 2,259 | 129,405 | 0,379 | 3,438 | 9,375 | 56,359 | 20 | 0,3640 | 26,448 | 6,012 | 12,624 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 8,631 | 122,942 | 131,572 | 14 | 0,242 | 0,970 | 31,830 | 127,664 | 5,347 | 1,438 | 10,592 | 63,675 | 20 | 0,3640 | 21,344 | 6,012 | 12,624 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 19,055 | 0,288 | 100,826 | 120,169 | 28 | 0,469 | 0,883 | 56,416 | 106,103 | 9,478 | 0,219 | 8,855 | 61,423 | 20 | 0,3640 | 12,812 | 6,937 | 14,567 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 76,347 | 0,000 | 19,423 | 95,770 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,527 | 68,891 | 11,177 | 0,000 | 2,886 | 36,034 | 20 | 0,3640 | 7,891 | 12,486 | 26,220 |
| Jumlah | | | | | | | | | | | 100,905 | | | | | | | | 114,907 | | 92,256 |
| | SF | | 2,053 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.103 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi NWL, Gempa

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ne | Ø | tan Ø | (N-Ne).tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|--------|----|-------|--------------|--------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | -2,308 | 20 | 0,364 | 11,094 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | -2,797 | 20 | 0,364 | 29,528 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 0,326 | 20 | 0,364 | 40,288 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 5,099 | 20 | 0,364 | 42,455 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 9,598 | 20 | 0,364 | 35,614 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 11,099 | 20 | 0,364 | 20,861 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | | 179,839 | | 73,805 |
| SF | | 2,028 | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.104 Stabilitas Hulu Embung Bonan Dolok Kondisi FWL, Gempa

| No | Zona | ysat (t/m ³) | Y (t/m ³) | Wsat (t/m) | W (t/m) | Ww (t/m) | Wtot (t/m) | α | sin α | cos α | T | N | Ne | hw | hu | U | \emptyset | tan. \emptyset | (N-Ne-U).tan \emptyset | I | C (t/m ²) |
|--------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|------------|-------------|---------------|----------|--------------|--------------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|-------------|------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 52,233 | 30,714 | 82,946 | -26 | -0,438 | 0,899 | -36,361 | 74,552 | -6,109 | 8,705 | 2,709 | 17,538 | 20 | 0,3640 | 22,975 | 6,474 | 13,596 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 40,233 | 78,466 | 118,699 | -12 | -0,208 | 0,978 | -24,679 | 116,105 | -4,146 | 6,705 | 6,781 | 40,765 | 20 | 0,3640 | 28,931 | 6,012 | 12,624 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 28,233 | 108,794 | 137,026 | 1 | 0,017 | 1,000 | 2,391 | 137,006 | 0,402 | 4,705 | 9,375 | 56,359 | 20 | 0,3640 | 29,207 | 6,012 | 12,624 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0 | 16,233 | 122,942 | 139,174 | 14 | 0,242 | 0,970 | 33,669 | 135,040 | 5,656 | 2,705 | 10,592 | 63,675 | 20 | 0,3640 | 23,916 | 6,012 | 12,624 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 0,975 | 4,363 | 118,294 | 123,632 | 28 | 0,469 | 0,883 | 58,042 | 109,161 | 9,751 | 0,853 | 10,376 | 71,973 | 20 | 0,3640 | 9,986 | 6,937 | 14,567 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 2,014 | 1,986 | 57,055 | 0,000 | 38,064 | 95,118 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,075 | 68,423 | 11,101 | 0,000 | 4,491 | 56,073 | 20 | 0,3640 | 0,454 | 12,486 | 26,220 |
| Jumlah | | | | | | | | | | | | 99,137 | | | | | | 115,468 | | | 92,256 |
| | SF | | | 2,095 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.105 Stabilitas Hilir Embung Bonan Dolok Kondisi FWL, Gempa

| No | Zona | A (m ²) | y(t/m ²) | W(t/m) | a | sin a | cos a | T | N | Ne | Ø | tan Ø | (N-Ne).tan Ø | 1 | C (ton/m ²) |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|-----|--------|-------|---------|---------|--------|----|-------|--------------|--------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | Urugan tanah homogen | 15,783 | 1,986 | 31,345 | -26 | -0,438 | 0,899 | -13,741 | 28,173 | -2,308 | 20 | 0,364 | 11,094 | 6,474 | 10,876 |
| 2 | Urugan tanah homogen | 40,322 | 1,986 | 80,080 | -12 | -0,208 | 0,978 | -16,650 | 78,330 | -2,797 | 20 | 0,364 | 29,528 | 6,012 | 10,100 |
| 3 | Urugan tanah homogen | 55,907 | 1,986 | 111,032 | 1 | 0,017 | 1,000 | 1,938 | 111,015 | 0,326 | 20 | 0,364 | 40,288 | 6,012 | 10,100 |
| 4 | Urugan tanah homogen | 63,177 | 1,986 | 125,470 | 14 | 0,242 | 0,970 | 30,354 | 121,743 | 5,099 | 20 | 0,364 | 42,455 | 6,012 | 10,100 |
| 5 | Urugan tanah homogen | 61,274 | 1,986 | 121,689 | 28 | 0,469 | 0,883 | 57,130 | 107,445 | 9,598 | 20 | 0,364 | 35,614 | 6,937 | 11,653 |
| 6 | Urugan tanah homogen | 47,889 | 1,986 | 95,108 | 44 | 0,695 | 0,719 | 66,068 | 68,415 | 11,099 | 20 | 0,364 | 20,861 | 12,486 | 20,976 |
| Jumlah | | | | | | | | 125,099 | | | | | 179,839 | | 92,805 |
| SF | | 2,028 | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.12.2 Analisis Stabilitas Pelimpah

Analisis stabilitas pelimpah embung terhadap bahaya guling, geser, dan daya dukung tanah yakni:

Data-data yang digunakan dalam analisis yakni:

$$\begin{aligned}
 \text{Sudut geser dalam } (\emptyset) &= 18^0 \\
 G_s &= 2,6 \\
 e &= 1,251 \\
 \gamma_w &= 1 \\
 \gamma_t &= (1+w)/(1+e) \times 1 \times G_s \\
 &= (1+0,0,443)/(1+1,251) \times 1 \times 2,6 \\
 &= 1,667 \\
 \sin \emptyset &= \sin 18 \\
 &= 0,309 \\
 1-\sin \emptyset &= 0,691 \\
 1+\sin \emptyset &= 1,309
 \end{aligned}$$

Berikut dalam penentuan nilai koefisien tekanan tanah aktif dan pasif:

$$\begin{aligned}
 K_a \text{ (koefisien tekanan tanah aktif)} &= \frac{1-\sin \emptyset}{1+\sin \emptyset} \\
 &= \frac{0,691}{1,309} \\
 &= 0,528
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_p \text{ (koefisien tekanan tanah pasif)} &= \frac{1}{K_a} \\
 &= \frac{1}{0,528} \\
 &= 1,894 \\
 \gamma_{sat} &= \gamma_w \cdot (G_s + 1)/(1+e) \\
 &= 1 \cdot (2,6 + 1)/(1+1,251) \\
 &= 1,599 \\
 \gamma_{sub} &= \gamma_{sat} - 1 \\
 &= 1,599 - 1 \\
 &= 0,599
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan dalam penentuan σ_{ijin} :

$$\begin{aligned}
 G_s &= 2,6 \\
 e &= 1,251 \\
 \gamma_{sat} &= 1,599
 \end{aligned}$$

D = 2,5 (kedalaman pondasi)

B = 39,08

$q_u = c \cdot N_c + \gamma_{sat} \cdot D \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_{sat} \cdot N_y$

dengan:

c = 2,23

Nc = 15,12

γ_{sat} = 1,599

D = 2,5

Nq = 6,04

B = 39,08

Ny = 2,59

$q_u = 114,655 \text{ t/m}^2$

f_k = 3 (ketentuan)

$\sigma_{ijin} = q_u/f_k$

= 114,655/3

= 38,218 t/m³

Perhitungan koefisien gempa di daerah Toba Samosir yakni:

A_d = z.ac.v

Z = 1,05 (zona gempa)

A_c = 0,175 gal (percepatan gempa dasar)

V = 0,8 (koefisien koreksi pengaruh jenis tanah setempat)

A_d = 0,147 gal (cm/dt²)

k = A_d/g

= 0,147

Gaya angkat (*Uplift*) yang bekerja pada dasar pondasi terjadi karena adanya perbedaan elevasi antara muka air hulu dengan muka air hilir. Karena gaya tersebut menyebabkan berat efektif pelimpah berkurang. Untuk mengetahui besarnya gaya angkat yang terjadi pada bangunan pelimpah maka dilakukan perhitungan dengan metode Lane yang ditabelkan sebagai berikut:

4.12.3 Pelimpah Kondisi Muka Air Normal

Tabel 4.106 Perhitungan tekanan ke atas (*uplift pressure*) pelimpah kondisi NWL

| Titik | Garis | Panjang Rembesan | | ΔH | H | uplift |
|-------|-------|------------------|------------|------------|--------|--------|
| | | Vertikal | Horizontal | Σ | | |
| | | | 1/3 horiz | | | |
| A | | | | 0 | 16,731 | 3,000 |
| | A - B | 2,500 | | | | |
| B | | | | 2,500 | 16,731 | 5,500 |
| | B - C | | 1,000 | 0,333 | | 4,430 |
| C | | | | | 16,731 | 5,500 |
| | C - D | 1,500 | | | | 4,287 |
| D | | | | 4,333 | 16,731 | 4,000 |
| | D - E | | 8,000 | 2,667 | | 2,145 |
| E | | | | | 16,731 | 4,000 |
| | E - F | 2,000 | | | | 1,003 |
| F | | | | 9,000 | 16,731 | 6,000 |
| | F - G | | 3,000 | 1,000 | | 2,147 |
| G | | | | | 16,731 | 6,000 |
| | G - H | 1,000 | | | | 1,719 |
| H | | | | 11,000 | 16,731 | 5,000 |
| | H - I | | 2,000 | 0,667 | | 0,291 |
| I | | | | | 16,731 | 5,000 |
| | I - J | 1,500 | | | | 0,005 |
| J | | | | 13,167 | 16,731 | 6,500 |
| | J - K | | 2,000 | 0,667 | | 0,863 |
| K | | | | | 16,731 | 6,500 |
| | K - L | 1,000 | | | | 0,578 |
| L | | | | 13,833 | 16,731 | 7,500 |
| | L - M | | 2,000 | 0,667 | | 1,150 |
| M | | | | | 16,731 | 7,500 |
| | M - N | 0,500 | | | | 0,864 |
| N | | | | 15,500 | 16,731 | 8,000 |
| | N - O | | 2,032 | 0,677 | | 1,150 |
| O | | | | | 16,731 | 8,000 |
| | O - P | 4,588 | | | | 0,860 |
| P | | | | 21,265 | 16,731 | 11,300 |
| | P - Q | 1,035 | | | | 2,196 |
| Q | | | | | 16,731 | 12,335 |
| | Q - R | | 1,000 | 0,333 | | 2,788 |
| R | | | | | 16,731 | 12,335 |
| | R - S | 6,994 | | | | 2,645 |
| S | | | | 22,634 | 16,731 | 17,365 |
| | S - T | 1,635 | | | | 4,681 |

Lanjutan Tabel 4.106 Perhitungan tekanan ke atas (*uplift pressure*) pelimpah kondisi

NWL

| Titik | Garis | Panjang Rembesan | ΔH | H | uplift | | |
|-------|-------|------------------|------------|----------|--------|--------|-------|
| | | Vertikal | Horizontal | Σ | | | |
| T | | | | 31,263 | 16,731 | 19,000 | 5,616 |
| | T - U | | 2,000 | 0,667 | | | |
| U | | | | 31,929 | 16,731 | 19,000 | 5,330 |
| | U - V | 1,000 | | | | | |
| V | | | | 32,929 | 16,731 | 18,000 | 3,902 |
| | V - W | | 7,000 | 2,333 | | | |
| W | | | | 35,263 | 16,731 | 18,000 | 2,903 |
| | W - X | 1,000 | | | | | |
| X | | | | 36,263 | 16,731 | 19,000 | 3,475 |
| | X - Y | | 1,000 | 0,333 | | | |
| Y | | | | 36,596 | 16,731 | 19,000 | 3,332 |
| | Y - Z | 2,269 | | | | | |
| Z | | | | 38,865 | 16,731 | 18,000 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

$$\begin{aligned} CL &= [Lv + \sum 1/3.Hv]/H \\ &= 2,046 \end{aligned}$$

Ket:

Lv = Panjang jalur vertikal

Hv = Panjang horizontal

L = Panjang lintasan rembesan air

H = Tinggi air

Selanjutnya adalah perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada tubuh pelimpah saat kondisi muka air normal. Dalam mempermudah perhitungan maka bangunan akan dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} G1 &= \text{volume} \times \gamma \text{ bangunan} \\ &= 2,5 \times 2,2 \\ &= 5,5 \text{ t} \end{aligned}$$

Berat air merupakan pembebanan vertikal dimana volume air dikalikan dengan berat jenis air

$$\begin{aligned} Wa1 &= \text{volume} \times \gamma \text{ air} \\ &= 30 \times 1 \\ &= 30 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan keatas (*uplift pressure*) didapatkan dari jalur rembesan seperti pada tabel sebelumnya.

$$\begin{aligned} Pv_1 &= \text{volume} \times \gamma_{\text{air}} \\ &= 5,537 \times 1 \\ &= 5,537 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan air menyebabkan gaya horizontal yang mempengaruhi pembebanan pelimpah.

$$\begin{aligned} Pw_1 &= 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma_{\text{air}} \\ &= 0,5 \cdot 3^2 \cdot 1 \\ &= 4,5 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} Pa &= 0,5 \cdot K_a \cdot y_t \cdot H^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,528 \cdot 1,667 \cdot 3^2 \\ &= 3,960 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif

$$\begin{aligned} Pp &= 0,5 \cdot K_p \cdot \gamma_{\text{sub}} \cdot H^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,894 \cdot 0,599 \cdot 2,269^2 \\ &= 2,922 \text{ t} \end{aligned}$$

Perhitungan stabilitas pada saat kondisi gempa. Kondisi dimana gempa mempengaruhi gaya yang terjadi. Berikut adalah perhitungan tekanan hidrodinamik:

$$\begin{aligned} Pd &= 7/12 \cdot \gamma_{\text{air}} \cdot K_H \cdot H^2 \\ &= 0,583 \cdot 1 \cdot 0,147 \cdot 3^2 \\ &= 0,771 \end{aligned}$$

Tabel 4.107 Momen Tahan Akibat Tubuh Pelimpah dan Gaya Vertikal

| Notasi | Volume per meter | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Tahan | | |
|-----------------|------------------|---|-------|----------|----------|-----------|-------------|----------|----------|
| G ₁ | 2,500 | x | 1,000 | 2,500 | 2,2 | 5,500 | 23,720 | -130,460 | |
| G ₂ | 1,000 | x | 8,000 | 8,000 | 2,2 | 17,600 | 19,220 | -338,272 | |
| G ₃ | 3,000 | x | 3,000 | 9,000 | 2,2 | 19,800 | 13,720 | -271,656 | |
| G ₄ | 2,000 | x | 2,000 | 4,000 | 2,2 | 8,800 | 11,220 | -98,736 | |
| G ₅ | 2,982 | x | 2,982 | x 0,500 | 4,446 | 2,2 | 9,782 | 12,232 | -119,648 |
| G ₆ | 2,000 | x | 3,500 | 7,000 | 2,2 | 15,400 | 9,220 | -141,988 | |
| G ₇ | 2,982 | x | 3,610 | x 0,500 | 5,383 | 2,2 | 5,135 | 10,035 | -51,530 |
| G ₈ | 4,500 | x | 0,592 | 2,664 | 2,2 | 5,861 | 7,924 | -46,441 | |
| G ₉ | 1,457 | x | 1,408 | x 0,500 | 1,026 | 2,2 | 2,256 | 7,159 | -16,153 |
| G ₁₀ | 3,043 | x | 1,408 | 4,284 | 2,2 | 9,424 | 6,924 | -65,252 | |

Lanjutan Tabel 4.107 Momen Tahan Akibat Tubuh Pelimpah dan Gaya Vertikal

| Notasi | Volume per meter | | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Tahan |
|-----------------|------------------|---|--------|---|-------|--------|----------|----------|-----------|-------------|
| G ₁₁ | 2,104 | x | 2,032 | x | 0,500 | 2,138 | 2,2 | 4,703 | 5,543 | -26,068 |
| G ₁₂ | 1,439 | x | 2,032 | | | 2,924 | 2,2 | 6,434 | 5,204 | -33,481 |
| G ₁₃ | 1,439 | x | 1,000 | x | 0,500 | 0,720 | 2,2 | 1,583 | 3,948 | -6,250 |
| G ₁₄ | 1,035 | x | 1,000 | x | 0,500 | 0,518 | 2,2 | 1,139 | 0,667 | -0,759 |
| G ₁₅ | 1,000 | x | 13,021 | | | 13,021 | 2,2 | 28,646 | 0,695 | 19,909 |
| G ₁₆ | 0,719 | x | 0,695 | x | 0,500 | 0,250 | 2,2 | 0,550 | 5,339 | 2,935 |
| G ₁₇ | 0,319 | x | 0,330 | x | 0,500 | 0,053 | 2,2 | 0,116 | 5,685 | 0,658 |
| G ₁₈ | 0,635 | x | 0,719 | | | 0,457 | 2,2 | 1,005 | 5,219 | 5,244 |
| G ₁₉ | 2,000 | x | 1,000 | | | 2,000 | 2,2 | 4,400 | 5,859 | 25,780 |
| G ₂₀ | 1,000 | x | 1,281 | | | 1,281 | 2,2 | 2,818 | 6,219 | 17,526 |
| G ₂₁ | 0,479 | x | 0,096 | | | 0,046 | 2,2 | 0,101 | 8,570 | 0,867 |
| G ₂₂ | 0,479 | x | 0,479 | x | 0,500 | 0,115 | 2,2 | 0,252 | 8,778 | 2,215 |
| G ₂₃ | 1,000 | x | 8,000 | | | 8,000 | 2,2 | 17,600 | 10,359 | 182,318 |
| G ₂₄ | 2,000 | x | 1,000 | | | 2,000 | 2,2 | 4,400 | 14,359 | 63,180 |
| G ₂₅ | 0,269 | x | 0,539 | x | 0,500 | 0,072 | 2,2 | 0,159 | 14,580 | 2,325 |
| G ₂₆ | 0,269 | x | 0,100 | | | 0,027 | 2,2 | 0,059 | 14,809 | 0,876 |
| W ₁ | 10,000 | x | 3,000 | | | 30,000 | 1,0 | 30,000 | 19,220 | -576,600 |
| W ₂ | 3,000 | x | 3,312 | x | 0,500 | 4,968 | 1,0 | 4,968 | 13,226 | -65,703 |
| Jumlah | | | | | | | | 208,490 | | -1665,164 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.108 Momen Guling dan Gaya Vertikal Akibat *Uplift*

| Notasi | Volume/m panjang | | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling |
|--------|------------------|----|-------|-------------|-------|-------|----------|----------|-----------|--------------|
| Pv1 | 0,5 | x | 4,430 | x | 2,500 | 5,537 | 1 | 5,537 | 20,967 | 116,097 |
| Pv2 | 0,5 | x(| 4,430 | + 4,287) x | 0,333 | 1,453 | 1 | 1,453 | 19,965 | 29,005 |
| Pv3 | 0,5 | x(| 4,287 | + 2,145) x | 1,500 | 4,824 | 1 | 4,824 | 18,801 | 90,693 |
| Pv4 | 0,5 | x(| 2,145 | + 1,003) x | 2,667 | 4,197 | 1 | 4,197 | 16,484 | 69,188 |
| Pv5 | 0,5 | x(| 1,003 | + 2,147) x | 2,000 | 3,150 | 1 | 3,150 | 14,997 | 47,241 |
| Pv6 | 0,5 | x(| 2,147 | + 1,719) x | 1,000 | 1,933 | 1 | 1,933 | 13,079 | 25,280 |
| Pv7 | 0,5 | x(| 1,719 | + 0,291) x | 1,000 | 1,005 | 1 | 1,005 | 11,779 | 11,835 |
| Pv8 | 0,5 | x(| 0,291 | + 0,005) x | 0,667 | 0,099 | 1 | 0,099 | 11,065 | 1,091 |
| Pv9 | 0,5 | x(| 0,005 | + 0,863) x | 1,500 | 0,651 | 1 | 0,651 | 10,885 | 7,089 |
| Pv10 | 0,5 | x(| 0,863 | + 0,578) x | 0,667 | 0,480 | 1 | 0,480 | 9,068 | 4,355 |
| Pv11 | 0,5 | x(| 0,578 | + 1,150) x | 1,000 | 0,864 | 1 | 0,864 | 8,466 | 7,311 |
| Pv12 | 0,5 | x(| 1,150 | + 0,864) x | 0,667 | 0,671 | 1 | 0,671 | 7,419 | 4,980 |
| Pv13 | 0,5 | x(| 0,864 | + 1,150) x | 0,500 | 0,504 | 1 | 0,504 | 6,919 | 3,484 |
| Pv14 | 0,5 | x(| 1,150 | + 0,860) x | 0,677 | 0,681 | 1 | 0,681 | 6,246 | 4,252 |

Lanjutan Tabel 4.108 Momen Guling dan Gaya Vertikal Akibat *Uplift*

| Notasi | Volume/m panjang | | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling | |
|--------|------------------|----|-------|---|-------|-----|----------|---------------|-----------|--------------|---------------|
| Pv15 | 0,5 | x(| 0,860 | + | 2,196 |) x | 4,588 | 7,010 | 1 | 7,010 | 4,665 |
| Pv16 | 0,5 | x(| 2,196 | + | 2,788 |) x | 1,035 | 2,579 | 1 | 2,579 | 0,912 |
| Pv17 | 0,5 | x(| 2,788 | + | 2,645 |) x | 0,333 | 0,905 | 1 | 0,905 | 0,162 |
| Pv18 | 0,5 | x(| 2,645 | + | 4,681 |) x | 6,994 | 25,618 | 1 | 25,618 | 2,525 |
| Pv19 | 0,5 | x(| 4,681 | + | 5,616 |) x | 1,635 | 8,417 | 1 | 8,417 | 7,737 |
| Pv20 | 0,5 | x(| 5,616 | + | 5,330 |) x | 0,667 | 3,649 | 1 | 3,649 | 8,971 |
| Pv21 | 0,5 | x(| 5,330 | + | 3,902 |) x | 1,000 | 4,616 | 1 | 4,616 | 9,873 |
| Pv22 | 0,5 | x(| 3,902 | + | 2,903 |) x | 2,333 | 7,940 | 1 | 7,940 | 11,634 |
| Pv23 | 0,5 | x(| 2,903 | + | 2,903 |) x | 1,000 | 2,903 | 1 | 2,903 | 13,084 |
| Pv24 | 0,5 | x(| 2,903 | + | 3,332 |) x | 0,333 | 1,039 | 1 | 1,039 | 13,799 |
| Pv25 | 0,5 | x(| | | 3,332 |) x | 2,269 | 3,781 | 1 | 3,781 | 14,718 |
| Jumlah | | | | | | | | 94,506 | | | 48,638 |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.109 Momen Guling Akibat Tekanan Air dan Gaya Horizontal

| Notasi | Volume/m panjang | | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling | | |
|-----------------|------------------|-----|---------------------------------|---|-------|----------------|----------|---------------|-----------|--------------|----------------|--------|
| Ph1 | 0,500 | x | 4,430 | | x | 2,500 | 5,537 | 1 | 5,537 | 25,697 | 142,287 | |
| Ph3 | 0,500 | x (| 1,003 | + | 2,147 |) x | 2,000 | 3,150 | 1 | 3,150 | 15,904 | 50,098 |
| Ph5 | 0,500 | x (| 0,005 | + | 0,863 |) x | 1,500 | 0,651 | 1 | 0,651 | 10,255 | 6,678 |
| Ph6 | 0,500 | x (| 0,578 | + | 1,150 |) x | 1,000 | 0,864 | 1 | 0,864 | 8,605 | 7,431 |
| Ph7 | 0,500 | x (| 0,864 | + | 1,150 |) x | 0,500 | 0,504 | 1 | 0,504 | 6,714 | 3,381 |
| Ph8 | 0,500 | x (| 0,860 | + | 2,196 |) x | 4,588 | 7,010 | 1 | 7,010 | 3,909 | 27,403 |
| Ph9 | 0,500 | x (| 2,196 | + | 2,788 |) x | 1,053 | 2,624 | 1 | 2,624 | 2,228 | 5,846 |
| Ph10 | 0,500 | x (| 2,645 | + | 4,681 |) x | 6,994 | 25,618 | 1 | 25,618 | 0,064 | 1,640 |
| Ph11 | 0,500 | x (| 4,681 | + | 5,616 |) x | 1,635 | 8,417 | 1 | 8,417 | 2,306 | 19,411 |
| Ph13 | 0,500 | x (| 2,903 | + | 3,475 |) x | 1,000 | 3,189 | 1 | 3,189 | 12,278 | 39,157 |
| P _a | 0,500 | x | K _a x Y _t | | x | h ₂ | | | | | | |
| | 0,500 | x | 0,880 | | x | 9 | 3,960 | 1 | 3,960 | 25,540 | 101,130 | |
| P _{w1} | 0,500 | x | y _w | | x | h ₂ | | | | | | |
| | 0,500 | x | 1 | | x | 9 | 4,500 | 1 | 4,500 | 25,720 | 115,740 | |
| Jumlah | | | | | | | | 66,024 | | | 520,203 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.110 Momen Tahan Akibat Tekanan Tanah Pasif dan Gaya Horizontal

| Notasi | Volume/m panjang | | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling |
|------------|---------------------|---------|---------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|--------------|
| Ph2 0,500 | $\frac{x}{(} 2,145$ | + 4,287 |) x | 1,500 | 4,824 | 1 | 4,824 | 21,791 | -105,116 | |
| Ph4 0,500 | $\frac{x}{(} 0,291$ | + 1,719 |) x | 1,500 | 1,507 | 1 | 1,507 | 11,972 | -18,043 | |
| Ph12 0,500 | $\frac{x}{(} 3,902$ | + 5,330 |) x | 1,000 | 4,616 | 1 | 4,616 | 9,112 | -42,064 | |
| Ph14 0,500 | x 3,332 | | x | 2,269 | 3,781 | 1 | 3,781 | 15,970 | -60,377 | |
| Pp 0,500 | x Kp x ysub | | x h2 | | | | | | | |
| | 0,500 x 1,135 | | x 5,148 | 2,922 | 1 | 2,922 | 15,833 | -46,272 | | |
| | | | | Jumlah | | | 17,650 | | -271,872 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Kontrol stabilitas pelimpah kondisi muka air normal

$$\sum V = 113,984 \text{ t}$$

$$\sum H = 48,374 \text{ t}$$

$$\sum M_t = 1937,036 \text{ t}$$

$$\sum M_g = 568,840 \text{ t}$$

$$\sum M = 1368,195 \text{ t}$$

Stabilitas terhadap guling

$$S_f = \sum M_t / \sum M_g > 1,5$$

$$= 1937,036 / 900,258 > 1,5$$

$$= 3,405 > 1,5 \text{ aman}$$

Stabilitas terhadap geser

$$S_f = (\tan \theta \cdot \sum V) + (2,23 \cdot (B \cdot L)) / \sum H > 1,5$$

$$= 18,781 > 1,5 \text{ aman}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah

$$e = (\sum M / \sum V) - (L/2)$$

$$= (1368,195 / 113,984) - (39,08 / 2)$$

$$= 7,537$$

$$L/6 = 39,08 / 6$$

$$= 6,513$$

Karena $e > L/6$ maka, $e = 2 \cdot \sum V / L \cdot 3 \cdot (L/2 - e) \cdot B$

$$\sigma = 2 \cdot 113,984 / 39,08 \cdot 3 \cdot (39,08 / 2 - 7,537) \cdot 10$$

$$= 0,633 < \sigma_{ijin} \text{ aman}$$

4.12.4 Pelimpah Kondisi Banjir

Tabel 4.111 Perhitungan tekanan ke atas (*uplift pressure*) pelimpah kondisi FWL

| Titik | Garis | Panjang Rembesan | | ΔH | H | uplift |
|-------|-------|------------------|------------|------------|--------|--------|
| | | Vertikal | Horizontal | Σ | | |
| | | | 1/3 horiz | | | |
| A | | | | 0 | 14,700 | 4,169 |
| | A - B | 2,500 | | | | |
| B | | | | 2,500 | 14,700 | 6,669 |
| | B - C | | 1,000 | 0,333 | | 5,729 |
| C | | | | | 14,700 | 6,669 |
| | C - D | 1,500 | | | | 5,603 |
| D | | | | 4,333 | 14,700 | 5,169 |
| | D - E | | 8,000 | 2,667 | | 3,539 |
| E | | | | | 14,700 | 5,169 |
| | E - F | 2,000 | | | | 2,536 |
| F | | | | 9,000 | 14,700 | 7,169 |
| | F - G | | 3,000 | 1,000 | | 3,784 |
| G | | | | | 14,700 | 7,169 |
| | G - H | 1,000 | | | | 3,407 |
| H | | | | 11,000 | 14,700 | 6,169 |
| | H - I | | 2,000 | 0,667 | | 2,031 |
| I | | | | | 14,700 | 6,169 |
| | I - J | 1,500 | | | | 1,781 |
| J | | | | 13,167 | 14,700 | 7,669 |
| | J - K | | 2,000 | 0,667 | | 2,716 |
| K | | | | | 14,700 | 7,669 |
| | K - L | 1,000 | | | | 2,466 |
| L | | | | 13,833 | 14,700 | 8,669 |
| | L - M | | 2,000 | 0,667 | | 3,089 |
| M | | | | | 14,700 | 8,669 |
| | M - N | 0,500 | | | | 2,839 |
| N | | | | 15,500 | 14,700 | 8,669 |
| | N - O | | 2,032 | 0,677 | | 3,151 |
| O | | | | | 14,700 | 9,169 |
| | O - P | 4,588 | | | | 2,896 |
| P | | | | 21,265 | 14,700 | 12,469 |
| | P - Q | 1,035 | | | | 4,470 |
| Q | | | | | 14,700 | 13,504 |
| | Q - R | | 1,000 | 0,333 | | 5,116 |
| R | | | | 22,300 | 14,700 | 13,504 |
| | R - S | 6,994 | | | | 4,990 |
| S | | | | 22,634 | 14,700 | 18,534 |
| | S - T | 1,635 | | | | 7,390 |

Lanjutan Tabel 4.111 Perhitungan tekanan ke atas (*uplift pressure*) pelimpah kondisi FWL

| Titik | Garis | Panjang Rembesan | ΔH | H | uplift | | |
|-------|-------|------------------|------------|----------|--------|--------|-------|
| | | Vertikal | Horizontal | Σ | | | |
| T | | | | 31,263 | 14,700 | 20,169 | 8,410 |
| | T - U | | 2,000 | 0,667 | | | |
| U | | | | 31,929 | 14,700 | 20,169 | 8,159 |
| | U - V | 1,000 | | | | | |
| V | | | | 32,929 | 14,700 | 19,169 | 6,783 |
| | V - W | | 7,000 | 2,333 | | | |
| W | | | | 35,263 | 14,700 | 19,169 | 5,905 |
| | W - X | 1,000 | | | | | |
| X | | | | 36,263 | 14,700 | 20,169 | 6,529 |
| | X - Y | | 1,000 | 0,333 | | | |
| Y | | | | 36,596 | 14,700 | 20,169 | 6,403 |
| | Y - Z | 2,269 | | | | | |
| Z | | | | 38,865 | 14,700 | 19,169 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

$$\begin{aligned} CL &= [Lv + \sum 1/3.Hv]/H \\ &= 1,927 \end{aligned}$$

Ket:

- Lv = Panjang jalur vertikal
- Hv = Panjang horizontal
- L = Panjang lintasan rembesan air
- H = Tinggi air

Selanjutnya adalah perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada tubuh pelimpah saat kondisi muka air normal. Dalam mempermudah perhitungan maka bangunan akan dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} G1 &= \text{volume} \times \gamma \text{ bangunan} \\ &= 2,5 \times 2,2 \\ &= 5,5 \text{ t} \end{aligned}$$

Berat air merupakan pembebanan vertikal dimana volume air dikalikan dengan berat jenis air

$$\begin{aligned} Wa1 &= \text{volume} \times \gamma \text{ air} \\ &= 30 \times 1 \\ &= 30 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan keatas (*uplift pressure*) didapatkan dari jalur rembesan seperti pada tabel sebelumnya.

$$\begin{aligned} Pv1 &= \text{volume} \times \gamma \text{ air} \\ &= 7,161 \times 1 \\ &= 7,161 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan air menyebabkan gaya horizontal yang mempengaruhi pembebanan pelimpah.

$$\begin{aligned} Pw1 &= 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma \text{ air} \\ &= 0,5 \cdot 4,169^2 \cdot 1 \\ &= 8,690 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} Pa &= 0,5 \cdot Ka \cdot yt \cdot H^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,528 \cdot 1,667 \cdot 4,169^2 \\ &= 7,647 \text{ t} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif

$$\begin{aligned} Pw2 &= 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma \text{ air} \\ &= 0,5 \cdot 3,201^2 \cdot 1 \\ &= 5,123 \text{ t} \\ Pp &= 0,5 \cdot Kp \cdot \gamma_{\text{sub}} \cdot H^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,894 \cdot 0,599 \cdot 2,269^2 \\ &= 2,922 \text{ t} \end{aligned}$$

Perhitungan stabilitas pada saat kondisi gempa. Kondisi dimana gempa mempengaruhi gaya yang terjadi. Berikut adalah perhitungan tekanan hidrodinamik:

$$\begin{aligned} Pd &= 7/12 \cdot \gamma_{\text{air}} \cdot KH \cdot H^2 \\ &= 0,583 \cdot 1 \cdot 0,147 \cdot 4,169^2 \\ &= 1,49 \end{aligned}$$

Tabel 4.112 Momen Tahan Akibat Tubuh Pelimpah dan Gaya Vertikal

| Notasi | Volume per meter | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Tahan | | | |
|----------------|------------------|---|-------|----------|----------|-----------|-------------|----------|--------|----------|
| G ₁ | 2,500 | x | 1,000 | 2,500 | 2,2 | 5,500 | 23,720 | -130,460 | | |
| G ₂ | 1,000 | x | 8,000 | 8,000 | 2,2 | 17,600 | 19,220 | -338,272 | | |
| G ₃ | 3,000 | x | 3,000 | 9,000 | 2,2 | 19,800 | 13,720 | -271,656 | | |
| G ₄ | 2,000 | x | 2,000 | 4,000 | 2,2 | 8,800 | 11,220 | -98,736 | | |
| G ₅ | 2,982 | x | 2,982 | x | 0,500 | 4,446 | 2,2 | 9,782 | 12,232 | -119,648 |
| G ₆ | 2,000 | x | 3,500 | | | 7,000 | 2,2 | 15,400 | 9,220 | -141,988 |
| G ₇ | 2,982 | x | 3,610 | x | 0,500 | 5,383 | 2,2 | 5,135 | 10,035 | -51,530 |

Lanjutan Tabel 4.112 Momen Tahan Akibat Tubuh Pelimpah dan Gaya Vertikal

| Notasi | Volume per meter | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Tahan | | |
|-----------------|-------------------------|---|--------|---|----------|-----------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| G ₈ | 4,500 | x | 0,592 | | 2,664 | 2,2 | 5,861 | 7,924 | -46,441 | |
| G ₉ | 1,457 | x | 1,408 | x | 0,500 | 1,026 | 2,2 | 2,256 | 7,159 | -16,153 |
| G ₁₀ | 3,043 | x | 1,408 | | | 4,284 | 2,2 | 9,424 | 6,924 | -65,252 |
| G ₁₁ | 2,104 | x | 2,032 | x | 0,500 | 2,138 | 2,2 | 4,703 | 5,543 | -26,068 |
| G ₁₂ | 1,439 | x | 2,032 | | | 2,924 | 2,2 | 6,434 | 5,204 | -33,481 |
| G ₁₃ | 1,439 | x | 1,000 | x | 0,500 | 0,720 | 2,2 | 1,583 | 3,948 | -6,250 |
| G ₁₄ | 1,035 | x | 1,000 | x | 0,500 | 0,518 | 2,2 | 1,139 | 0,667 | -0,759 |
| G ₁₅ | 1,000 | x | 13,021 | | | 13,021 | 2,2 | 28,646 | 0,695 | 19,909 |
| G ₁₆ | 0,719 | x | 0,695 | x | 0,500 | 0,250 | 2,2 | 0,550 | 5,339 | 2,935 |
| G ₁₇ | 0,319 | x | 0,330 | x | 0,500 | 0,053 | 2,2 | 0,116 | 5,685 | 0,658 |
| G ₁₈ | 0,635 | x | 0,719 | | | 0,457 | 2,2 | 1,005 | 5,219 | 5,244 |
| G ₁₉ | 2,000 | x | 1,000 | | | 2,000 | 2,2 | 4,400 | 5,859 | 25,780 |
| G ₂₀ | 1,000 | x | 1,281 | | | 1,281 | 2,2 | 2,818 | 6,219 | 17,526 |
| G ₂₁ | 0,479 | x | 0,096 | | | 0,046 | 2,2 | 0,101 | 8,570 | 0,867 |
| G ₂₂ | 0,479 | x | 0,479 | x | 0,500 | 0,115 | 2,2 | 0,252 | 8,778 | 2,215 |
| G ₂₃ | 1,000 | x | 8,000 | | | 8,000 | 2,2 | 17,600 | 10,359 | 182,318 |
| G ₂₄ | 2,000 | x | 1,000 | | | 2,000 | 2,2 | 4,400 | 14,359 | 63,180 |
| G ₂₅ | 0,269 | x | 0,539 | x | 0,500 | 0,072 | 2,2 | 0,159 | 14,580 | 2,325 |
| G ₂₆ | 0,269 | x | 0,100 | | | 0,027 | 2,2 | 0,059 | 14,809 | 0,876 |
| W ₁ | 10,000 | x | 3,000 | | | 30,000 | 1,0 | 30,000 | 19,220 | -576,600 |
| W ₂ | 3,000 | x | 3,312 | x | 0,500 | 4,968 | 1,0 | 4,968 | 13,226 | -65,703 |
| W ₃ | 13,118 | x | 1,169 | | | 15,335 | 1,0 | 15,335 | 17,661 | -270,830 |
| W ₄ | 1,169 | x | 1,102 | x | 0,500 | 0,644 | 1,0 | 0,644 | 10,735 | -6,916 |
| W ₅ | 2,625 | x | 0,141 | | | 0,370 | 1,0 | 0,370 | 7,210 | 2,669 |
| W ₆ | 2,625 | x | 0,975 | x | 0,500 | 1,280 | 1,0 | 1,280 | 7,647 | 9,786 |
| W ₇ | 0,479 | x | 0,479 | x | 0,500 | 0,115 | 1,0 | 0,115 | 8,938 | 1,025 |
| W ₈ | 0,479 | x | 5,123 | | | 2,454 | 1,0 | 2,454 | 11,659 | 28,610 |
| W ₉ | 0,637 | x | 5,698 | | | 3,628 | 1,0 | 3,628 | 11,371 | 41,260 |
| W ₁₀ | 2,116 | x | 5,698 | x | 0,500 | 6,028 | 1,0 | 6,028 | 12,321 | 74,273 |
| W ₁₁ | 0,639 | x | 2,963 | | | 1,893 | 1,0 | 1,893 | 14,540 | 27,527 |
| W ₁₂ | 0,237 | x | 0,639 | x | 0,500 | 0,076 | 1,0 | 0,076 | 14,646 | 1,110 |
| W ₁₃ | 0,269 | x | 0,539 | x | 0,500 | 0,072 | 1,0 | 0,072 | 14,400 | 1,044 |
| Jumlah | | | | | | 240,386 | -1755,607 | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.113 Momen Guling dan Gaya Vertikal Akibat *Uplift*

| Notasi | Volume/m panjang | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling |
|--------|------------------|----|---------------|----|----------|----------------|----------------|--------------|
| Pv1 | 0,5 | x(| 5,729 | x | 2,500 | 7,161 | 1 | 7,161 |
| Pv2 | 0,5 | x(| 5,729 + 5,603 |)x | 0,333 | 1,889 | 1 | 1,889 |
| Pv3 | 0,5 | x(| 5,603 + 3,539 |)x | 1,500 | 6,857 | 1 | 6,857 |
| Pv4 | 0,5 | x(| 3,539 + 2,536 |)x | 2,667 | 8,100 | 1 | 8,100 |
| Pv5 | 0,5 | x(| 2,536 + 3,784 |)x | 2,000 | 6,320 | 1 | 6,320 |
| Pv6 | 0,5 | x(| 3,784 + 3,407 |)x | 1,000 | 3,596 | 1 | 3,596 |
| Pv7 | 0,5 | x(| 3,407 + 2,031 |)x | 1,000 | 2,719 | 1 | 2,719 |
| Pv8 | 0,5 | x(| 2,031 + 1,781 |)x | 0,667 | 1,271 | 1 | 1,271 |
| Pv9 | 0,5 | x(| 1,781 + 2,716 |)x | 1,500 | 3,373 | 1 | 3,373 |
| Pv10 | 0,5 | x(| 2,716 + 2,466 |)x | 0,667 | 1,727 | 1 | 1,727 |
| Pv11 | 0,5 | x(| 2,466 + 3,089 |)x | 1,000 | 2,777 | 1 | 2,777 |
| Pv12 | 0,5 | x(| 3,089 + 2,839 |)x | 0,667 | 1,976 | 1 | 1,976 |
| Pv13 | 0,5 | x(| 2,839 + 3,151 |)x | 0,500 | 1,497 | 1 | 1,497 |
| Pv14 | 0,5 | x(| 3,151 + 2,896 |)x | 0,677 | 2,048 | 1 | 2,048 |
| Pv15 | 0,5 | x(| 2,896 + 4,470 |)x | 4,588 | 16,897 | 1 | 16,897 |
| Pv16 | 0,5 | x(| 4,470 + 5,116 |)x | 1,035 | 4,961 | 1 | 4,961 |
| Pv17 | 0,5 | x(| 5,116 + 4,990 |)x | 0,333 | 1,684 | 1 | 1,684 |
| Pv18 | 0,5 | x(| 4,990 + 7,390 |)x | 6,994 | 43,292 | 1 | 43,292 |
| Pv19 | 0,5 | x(| 7,390 + 8,410 |)x | 1,635 | 12,916 | 1 | 12,916 |
| Pv20 | 0,5 | x(| 8,410 + 8,159 |)x | 0,667 | 5,523 | 1 | 5,523 |
| Pv21 | 0,5 | x(| 8,159 + 6,783 |)x | 1,000 | 7,471 | 1 | 7,471 |
| Pv22 | 0,5 | x(| 6,783 + 5,905 |)x | 2,333 | 14,802 | 1 | 14,802 |
| Pv23 | 0,5 | x(| 5,905 + 5,905 |)x | 1,000 | 5,905 | 1 | 5,905 |
| Pv24 | 0,5 | x(| 5,905 + 6,403 |)x | 0,333 | 2,051 | 1 | 2,051 |
| Pv25 | 0,5 | x(| 6,403 |)x | 2,269 | 7,265 | 1 | 7,265 |
| Jumlah | | | | | | 174,076 | 101,940 | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.114 Momen Guling Akibat Tekanan Air dan Gaya Horizontal

| Notasi i | Volume/m panjang | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling | |
|-----------------|------------------|---|-------------------|---|-----------|----------------|----------|----------------|-----------------|---------|
| Ph1 | 0,500 | x | 5,729 | x | 2,500 | 7,161 | 1 | 7,161 | 26,081 | 186,760 |
| Ph3 | 0,500 | x | (2,536 + 3,784) | x | 1,500 | 4,740 | 1 | 4,740 | 16,506 | 78,233 |
| Ph5 | 0,500 | x | (1,781 + 2,716) | x | 1,000 | 2,248 | 1 | 2,248 | 10,920 | 24,553 |
| Ph6 | 0,500 | x | (2,466 + 3,089) | x | 1,500 | 4,166 | 1 | 4,166 | 9,167 | 38,192 |
| Ph7 | 0,500 | x | (2,839 + 3,151) | x | 1,500 | 4,492 | 1 | 4,492 | 7,249 | 32,562 |
| Ph8 | 0,500 | x | (2,896 + 4,470) | x | 4,588 | 16,897 | 1 | 16,897 | 4,199 | 70,951 |
| Ph9 | 0,500 | x | (4,470 + 5,116) | x | 1,053 | 5,047 | 1 | 5,047 | 2,743 | 13,844 |
| Ph10 | 0,500 | x | (4,990 + 7,390) | x | 6,994 | 43,292 | 1 | 43,292 | 0,309 | 13,377 |
| Ph11 | 0,500 | x | (7,390 + 8,410) | x | 1,635 | 12,916 | 1 | 12,916 | 1,823 | 23,545 |
| Ph13 | 0,500 | x | (5,905 + 6,529) | x | 1,000 | 6,217 | 1 | 6,217 | 11,813 | 73,439 |
| P _a | 0,500 | x | Ka x Yt | x | h2 | | | | | |
| | 0,500 | x | 0,880 | x | 17,38056 | 7,647 | 1 | 7,647 | 26,769 | 204,697 |
| P _{w1} | 0,500 | x | yw | x | h2 | | | | | |
| | 0,500 | x | 1 | x | 17,38056 | 8,690 | 1 | 8,690 | 27,117 | 235,654 |
| Jumlah | | | | | | 123,513 | | 995,809 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.115 Momen Tahan Akibat Tekanan Tanah Pasif dan Gaya Horizontal

| Notasi | Volume/m panjang | | | | | γ | Gaya (t) | Jarak (m) | Momen Guling | |
|-----------------|------------------|---|-------------------|---|-----------|---------------|----------|-----------------|--------------|----------|
| Ph2 | 0,500 | x | (3,539 + 5,603) | x | 1,500 | 6,857 | 1 | 6,857 | 21,173 | -145,177 |
| Ph4 | 0,500 | x | (2,031 + 3,407) | x | 1,500 | 4,079 | 1 | 4,079 | 11,292 | -46,061 |
| Ph12 | 0,500 | x | (6,783 + 8,159) | x | 1,000 | 7,471 | 1 | 7,471 | 9,594 | -71,673 |
| Ph14 | 0,500 | x | 6,403 | x | 2,269 | 7,265 | 1 | 7,265 | 16,276 | -118,239 |
| P _p | 0,500 | x | Kp x ysub | x | h2 | | | | | |
| | 0,500 | x | 1,135 | x | 5,148 | 2,922 | 1 | 2,922 | 15,833 | -46,272 |
| P _{w2} | 0,500 | x | yw | x | h2 | | | | | |
| | 0,500 | x | 1 | x | 10,2464 | 5,123 | 1 | 5,123 | 16,567 | -84,876 |
| Jumlah | | | | | | 33,717 | | -512,298 | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Kontrol stabilitas pelimpah kondisi muka air normal

$$\Sigma V = 66,310 \text{ t}$$

$$\Sigma H = 89,796 \text{ t}$$

$$\Sigma Mt = 2267,905 \text{ t}$$

$$\Sigma Mg = 1097,749 \text{ t}$$

$$\Sigma M = 1170,156 \text{ t}$$

Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned} Sf &= \sum M_t / \sum M_g &> 1,3 \\ &= 2267,905 / 1097,749 &> 1,3 \\ &= 2,066 &> 1,3 \text{ aman} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned} Sf &= (\tan \phi \cdot \sum V) + (2,23 \cdot (B \cdot L)) / \sum H &> 1,3 \\ &= 9,945 &> 1,3 \text{ aman} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah

$$\begin{aligned} e &= (\sum M / \sum V) - (L/2) \\ &= (1170,156 / 66,310) - (39,08 / 2) \\ &= 1,893 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L/6 &= 39,08 / 6 \\ &= 6,513 \end{aligned}$$

Karena $e < L/6$ maka, $e = \sum V / L \cdot (1 \pm 6e/L)$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 2,190 &< \sigma_{ijin} &\text{aman} \\ \sigma_{\min} &= 1,204 &< \sigma_{ijin} &\text{aman} \end{aligned}$$

4.12.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisis Stabilitas

Tabel 4.116 Tinjauan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

| No. | Tinjauan Stabilitas | Angka keamanan terhadap Guling | | Kontrol Stabilitas |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
| | | SF Guling | Angka Keamanan | |
| 1 | Kondisi muka air normal | 3,405 | 1,5 | aman |
| | Kondisi muka air normal, gempa | 3,296 | 1,3 | aman |
| 2 | Kondisi muka air banjir | 2,066 | 1,3 | aman |
| | Kondisi muka air banjir, gempa | 1,999 | 1,1 | aman |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.117 Tinjauan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

| No. | Tinjauan Stabilitas | Angka keamanan terhadap Geser | | Kontrol Stabilitas |
|-----|--------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|
| | | SF Guling | Angka Keamanan | |
| 1 | Kondisi muka air normal | 18,781 | 1,5 | aman |
| | Kondisi muka air normal, gempa | 18,486 | 1,3 | aman |
| 2 | Kondisi muka air banjir | 9,945 | 1,3 | aman |
| | Kondisi muka air banjir, gempa | 9,783 | 1,1 | aman |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 4.118 Tinjauan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

| No. | Tinjauan Stabilitas | Tegangan tanah (ton/m ²) | | Kontrol Stabilitas |
|-----|--------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------------|
| | | q ijin | q | |
| 1 | Kondisi muka air normal | 38,218 | 0,633 | aman |
| | Kondisi muka air normal, gempa | 38,218 | 0,642 | aman |
| 2 | Kondisi muka air banjir | 38,218 | 2,190 | aman |
| | Kondisi muka air banjir, gempa | 38,218 | 1,233 | aman |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

4.13 Rencana Anggaran Biaya

4.13.1 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Dalam menghitung seberapa besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pelaksanaan Embung Bonan Dolok maka dibutuhkan suatu dasar yakni analisis harga satuan pekerjaan (AHSP). Dalam perencanaan ini, perhitungan didasarkan pada Harga Satuan Dasar Upah Kerja, Bahan, dan Alat Unit Pengadaan Sumatera Utara Tahun Anggaran 2016.

Tabel 4.119 Harga Satuan Upah

| No | Jenis Upah Kerja | Satuan | Daftar Harga (Rp.) |
|----|--------------------|--------|--------------------|
| 1 | Kepala Tukang | OH | 150.000,00 |
| 2 | Mandor | OH | 150.000,00 |
| 3 | Tukang Tembok/Gali | OH | 120.000,00 |
| 4 | Tukang Kayu | OH | 120.000,00 |
| 5 | Tukang Besi | OH | 120.000,00 |
| 6 | Tukang Batu | OH | 120.000,00 |
| 7 | Pekerja | OH | 100.000,00 |

Sumber: Unit Layanan Pengadaan Kabupaten Toba Samosir, 2016

Tabel 4.120 Harga Satuan Barang

| No | Jenis Upah Kerja/Bahan/Peralatan | Satuan | Daftar Harga (Rp.) |
|----|----------------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | Pasir Urug | m ³ | 232.056,00 |
| 2 | Pasir Pasang/Cor | m ³ | 396.000,00 |
| 3 | Sirtu | m ³ | 207.900,00 |
| 4 | Tanah Urug | m ³ | 232.056,00 |
| 5 | Batu Kali | m ³ | 481.536,00 |
| 6 | Batu Koral Beton | m ³ | 554.400,00 |

Lanjutan Tabel 4.120 Harga Satuan Barang

| No | Jenis Upah Kerja/Bahan/Peralatan | Satuan | Daftar Harga (Rp.) |
|----|-------------------------------------|----------------|-----------------------|
| 7 | Semen Portland 40 kg | zak | 102.696,00 |
| 8 | Semen Portland 50 kg | zak | 130.680,00 |
| 9 | Besi Tulangan Beton (polos) | Kg | 11.616,00 |
| 10 | Kawat Ikat Beton | Kg | 20.724,00 |
| 11 | Kayu Bekisting | m ³ | 3.604.788,00 |
| 12 | Paku Reng/Usuk/Triplek/Seng | Kg | 32.604,00 |

Sumber: Unit Layanan Pengadaan Kabupaten Toba Samosir, 2016

Tabel 4.121 Harga Satuan Peralatan

| No. | Jenis Peralatan | Satuan | Daftar Harga (Rp.) |
|-----|--|----------|-----------------------|
| 1 | Palu/Bodem | bh | 63.600,00 |
| 2 | Keranjang | bh | 17.952,00 |
| 3 | Gergaji | bh | 83.292,00 |
| 4 | Timbris | unit | 21.600,00 |
| 5 | Ember | bh | 12.672,00 |
| 6 | Kotak Adukan | bh | 40.200,00 |
| 7 | Asphalt Mixing Plant | unit/jam | 6.941.400,00 |
| 8 | Asphalt Finisher | unit/jam | 320.850,00 |
| 9 | Asphalt Sprayer | unit/jam | 248.400,00 |
| 10 | Bar Bender D-32 mm | unit/jam | 22.700,00 |
| 11 | Bar Cutter D-32 mm | unit/jam | 15.100,00 |
| 12 | Bore Pile Machine | unit/jam | 808.450,00 |
| 13 | Bulldozer 100-150 HP | unit/jam | 612.950,00 |
| 14 | Bulldozer D-31 / min 8 jam | unit/jam | 241.500,00 |
| 15 | Compressor 4000-6500 LM | unit/jam | 270.250,00 |
| 16 | Concrete Mixer 0.3-0.6 m ³ | unit/jam | 63.250,00 |
| 17 | Concrete Vibrator | unit/jam | 36.800,00 |
| 18 | Concrete Pump | unit/jam | 231.150,00 |
| 19 | Crane 10-15 Ton | unit/jam | 489.900,00 |
| 20 | Crane on Track 35 Ton | unit/jam | 400.200,00 |
| 21 | Dump Truck | unit/jam | 424.350,00 |
| 22 | Dump Truck 3-4 m ³ | unit/jam | 266.800,00 |
| 23 | Diesel generator, 20 kVA | unit/jam | 136.800,00 |
| 24 | Excavator 80-140 HP | unit/jam | 469.200,00 |
| 25 | Flat Bed Truck Crane 3-4 m ³ /0.3 Ton | unit/jam | 272.550,00 |
| 26 | Fulvi Mixer | unit/jam | 217.350,00 |
| 27 | Generator Set | unit/jam | 733.700,00 |
| 28 | Jack Hammer | unit/jam | 36.800,00 |

Lanjutan Tabel 4.121 Harga Satuan Peralatan

| No. | Jenis Peralatan | Satuan | Daftar Harga (Rp.) |
|-----|-------------------------------------|----------|-----------------------|
| 29 | Motor Grader >100 HP | unit/jam | 541.650,00 |
| 30 | Mollen | unit/jam | 75.000,00 |
| 31 | Pedestrian Roller | unit/jam | 59.800,00 |
| 32 | Stone Crusher | unit/jam | 886.650,00 |
| 33 | Stamper | unit/jam | 37.950,00 |
| 34 | Three Wheel Roller 6-8 T | unit/jam | 175.950,00 |
| 35 | Tandem Roller 6-8 T | unit/jam | 411.700,00 |
| 36 | Tire Roller 8-10 T | unit/jam | 327.750,00 |
| 37 | Trailer 20 Ton | unit/jam | 558.900,00 |
| 38 | Vibratory Soil Compactor | unit/jam | 504.850,00 |
| 39 | Water Pump 70-100 mm | unit/jam | 33.350,00 |
| 40 | Water Tanker 3000-4500 L | unit/jam | 224.250,00 |
| 41 | Welding Set | unit/jam | 104.650,00 |
| 42 | Wheel Loader 1.0-1.6 m ³ | unit/jam | 575.000,00 |

Sumber: Unit Layanan Pengadaan Kabupaten Toba Samosir, 2016

Tabel 4.122 Papan Nama Proyek 1,2 m x 1,8 m

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|--------------------------------------|--|--------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | OH | 1,000 | 100.000 | 100.000 |
| 2 | Tukang Kayu | OH | 1,000 | 120.000 | 120.000 |
| 3 | Kepala Tukang Kayu | OH | 0,100 | 150.000 | 15.000 |
| 4 | Tukang Cat | OH | 1,500 | 120.000 | 180.000 |
| 5 | Mandor | OH | 0,100 | 150.000 | 15.000 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 430.000 |
| B | BAHAN | | | | |
| 1 | Multiplek tebal 12mm | Lembar | 0,350 | 212.113 | 74.240 |
| 2 | Tiang Kayu | m3 | 0,077 | 215.100 | 16.563 |
| 3 | Frame Besi | kg | 5,800 | 78.870 | 457.446 |
| 4 | Paku campuran | kg | 1,250 | 19.120 | 23.900 |
| 5 | Cat Kayu | kg | 2,500 | 78.870 | 77.675 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 649.823 |
| Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | | 1.079.823 |
| C | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 161.973 |
| D | JUMLAH | | | | 1.241.797 |
| E | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 1.241.800 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.123 Pengukuran Kembali

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|--------------------------------------|--|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | OH | 0,012 | 100.000 | 1.200 |
| 2 | Pembantu Juru Ukur | OH | 0,004 | 120.000 | 480 |
| 3 | Juru Ukur | OH | 0,004 | 150.000 | 600 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 2.280 |
| B | BAHAN | | | | |
| 1 | Waterpass | Sewa-hari | 0,004 | 289.200 | 1.157 |
| 2 | Theodolith | Sewa-hari | 0,004 | 439.400 | 1.758 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 2.914 |
| C | PERALATAN | | | | |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | |
| Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | | 5.194 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 779 |
| E | JUMLAH | | | | 5.974 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 6.000 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.124 1m² tebas berupa memotong dan membersihkan lokasi dari tanaman/tumbuhan < 15 cm

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|--------------------------------------|--|--------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | OH | 0,075 | 100.000 | 7.500 |
| 2 | Mandor | OH | 0,0075 | 150.000 | 1.125 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 8.625 |
| B | BAHAN | | | | |
| 1 | Minyak Tanah | Liter | 0,010 | 9.000 | 90 |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | 90 |
| C | PERALATAN | | | | |
| Jumlah harga tenaga kerja | | | | | |
| Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | | 8.715 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 1.307 |
| E | JUMLAH | | | | 10.022 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 10.000 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.125 Galian Tanah Kedalaman 0-2 m

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|-----|--|--------------------------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | OH | 0,163 | 12.500 | 2.041 |
| 2 | Mandor | OH | 0,0163 | 18.750 | 306 |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | 2.347 |
| B | BAHAN | | | | |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | 90 |
| C | PERALATAN | | | | |
| 1 | Excavator (Standart) | Jam | 0,0272 | 313.500 | 8.527 |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | 8.527 |
| | | Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | 10.874 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 1.631 |
| E | JUMLAH | | | | 12.505 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 12.500 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.126 DT angkut material dari BA ke lokasi pekerjaan, jarak 1 km

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|-----|--|--------------------------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | |
| B | BAHAN | | | | |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | |
| C | PERALATAN | | | | |
| 1 | Dump Truck | Jam | 0,0783 | 235.092 | 18.408 |
| | | Jumlah harga tenaga kerja | | | 18.408 |
| | | Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | 18.408 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 2.761 |
| E | JUMLAH | | | | 21.169 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 21.200 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel. 127 (Timbunan Tanah) Tanah dihampar, diratakan dan dirapihkan

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|-----|--|--------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | Jam | 0,144 | 12.500 | 1.799 |
| 2 | Mandor | Jam | 0,0144 | 18.750 | 270 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 2.069 |
| B | BAHAN | | | | |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | |
| C | PERALATAN | | | | |
| 1 | Bulldozer | Jam | 0,018 | 365.750 | 6.584 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 6.584 |
| | Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | 8.652 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 1.298 |
| E | JUMLAH | | | | 9.950 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 9.900 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel. 128 1m² bekisting lantai beton pias a dengan multiflex 12 mm atau 18 mm (TP)

| No. | Item Pekerjaan | Satuan | Koefisien | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|-----|--|----------------|-----------|-------------------|-------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | OH | 0,200 | 100.000 | 20.000 |
| 2 | Tukang Kayu | OH | 0,100 | 120.000 | 12.000 |
| 3 | Kepala Tukang | OH | 0,010 | 150.000 | 1.500 |
| 4 | Mandor | OH | 0,020 | 150.000 | 3.000 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 36.500 |
| B | BAHAN | | | | |
| | Multiplek tebal 12/18 | | | | |
| 1 | mm | Lembar | 0,128 | 212.113 | 27.150 |
| 2 | Laso 5/7 cm | m ³ | 0,005 | 3.035.300 | 15.177 |
| 3 | Paku 5cm dan 7 cm | kg | 0,220 | 19.120 | 4.206 |
| 4 | Minyak bekisting | Liter | 0,200 | 2.700 | 540 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 47.073 |
| C | PERALATAN | | | | |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | |
| | Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | 83.573 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 12.536 |
| E | JUMLAH | | | | 96.109 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 96.100 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel. 129 Jarak angkut >60 km termasuk bahan timbunan clay dan penghamparan

| No . | Item Pekerjaan | Satua n | Koefisie n | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|---------|--|----------------|---------------|----------------------|----------------------|
| A | TENAGA KERJA | | | | |
| 1 | Pekerja | Jam | 0,144 | 12.500 | 1.799 |
| 2 | Mandor | Jam | 0,014 | 18.750 | 270 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 2.069 |
| B | BAHAN | | | | |
| | Multiplek tebal 12/18 | | | | |
| 1 | mm | m ³ | 1,200 | 75.000 | 90.000 |
| 2 | Laso 5/7 cm | Jam | 1,985 | 235.092 | 466.723 |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | 556.723 |
| C | PERALATAN | | | | |
| | Jumlah harga tenaga kerja | | | | |
| | Biaya Langsung (Sub Total I s/d III) | | | | 558.791 |
| D | OVER HEAD DAN KEUNTUNGAN (15% dari Biaya Langsung) | | | | 83.819 |
| E | JUMLAH | | | | 642.610 |
| F | HARGA SATUAN PEKERJAAN (Rp/buah) | | | | 642.600 |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4.13.2 Rincian dan Rekapitulasi Anggaran Biaya

Setelah dilakukan perhitungan volume pekerjaan dan juga harga satuan upah kerja, bahan,dan alat maka perhitungan besarnya biaya yang harus dikeluarkan dapat dihitung. Berikut hasil perhitungannya:

Tabel 130 Rincian Estimasi Anggaran Biaya

| NO | URAIAN PEKERJAAN | VOLUME | SATUAN | HARGA SATUAN | TOTAL BIAYA |
|-----|--|-----------|--------|--------------|------------------|
| I | Pekerjaan Persiapan | | LS | | |
| 1 | Mobilisasi Peralatan dan SDM | 1,00 | LS | 100.000.000 | Rp 100.000.000 |
| 2 | Pembuatan Direks keet, Los kerja dan Gudang | 1,00 | bh | 175.000.000 | Rp 175.000.000 |
| 3 | Papan Nama Proyek uk 1,2 m x 1,8 m | 1,00 | m2 | 1.241.800 | Rp 1.241.800 |
| 4 | Pengukuran kembali | 53.051,61 | m | 6000 | Rp 318.309.642 |
| 5 | Pemagararan Daerah Kerja | 233,84 | m2 | 273.394 | Rp 63.930.343 |
| 6 | Pembersihan Lapangan dan striping/korsekan | 3.547,92 | m2 | 7.900 | Rp 28.028.560 |
| 7 | Tebas tebang tanaman | 2.130,15 | m2 | 10.000 | Rp 21.301.500 |
| | TOTAL I | | | | Rp 707.811.645 |
| II | Pekerjaan Tubuh Embung | | | | |
| 1 | Galian tanah (dilokasi BA) | 81.158,39 | m3 | 12.500 | Rp 101.447.993 |
| 2 | Angkut material dari BA ke lokasi pekerjaan (jarak 5km) | 81.158,39 | m3 | 30.100 | Rp 244.286.766 |
| 3 | Timbunan tanah untuk tubuh embung | 81.158,39 | m3 | 9.900 | Rp 803.468.101 |
| 5 | Gebalan Rumput pada lereng hilir tubuh embung | 2.942,24 | m2 | 15.000 | Rp 44.133.578 |
| 6 | Galian tanah dilokasi pekerjaan embung (jarak 1 km) | 5.799,32 | m3 | 24.400 | Rp 141.503.389 |
| | TOTAL II | | | | Rp 1.334.839.825 |
| III | Pekerjaan Pelimpah | | | | |
| 1 | Galian tanah | 4.719,67 | m3 | 12.500 | Rp 58.995.875 |
| 2 | Timbunan tanah kembali dan pemadatan tanah | 735,962 | m3 | 9.900 | Rp 7.286.022 |
| 3 | Bekisting F2, (permukaan beton ekspose) 2 kali pemakaian | 4.214 | m2 | 96.100 | Rp 404.965.400 |
| 4 | Pemadatan beton dengan vibrator | 447,304 | m3 | 52.900 | Rp 23.662.392 |
| 5 | Beton K300 | 447,304 | m3 | 3.647.200 | Rp 1.631.407.878 |
| | TOTAL III | | | | Rp 2.126.317.567 |
| | TOTAL BIAYA KONSTRUKSI | | | | Rp 3.781.387.837 |
| | PPN 10% | | | | Rp 416.896.904 |
| | TOTAL BIAYA FINANSIAL | | | | Rp 4.198.284.741 |
| | BIAYA FINANSIAL (DALAM PEMBULATAN) | | | | Rp 4.585.866.000 |
| | TERBILANG EMPAT MILYAR LIMA RATUS DELAPAN PULUH LIMA JUTA DELAPAN RATUS ENAM PULUH ENAM RIBU RUPIAH | | | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 131 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Embung Bonan Dolok

| NO | URAIAN PEKERJAAN | JUMLAH BIAYA |
|--|--|------------------|
| I | PEKERJAAN PERSIAPAN | Rp 707.811.645 |
| II | PEKERJAAN TUBUH EMBUNG | Rp 1.334.839.825 |
| IV | PEKERJAAN PELIMPAH | Rp 2.126.317.567 |
| | TOTAL BIAYA KONSTRUKSI | Rp 4.168.969.037 |
| | PPN 10% | Rp 416.896.904 |
| | TOTAL BIAYA FINANSIAL BIAYA FINANSIAL (DALAM PEMBULATAN) | Rp 4.585.865.941 |
| | | Rp 4.585.866.000 |
| <i>TERBILANG EMPAT MILYAR LIMA RATUS DELAPAN PULUH LIMA JUTA DELAPAN RATUS ENAM PULUH ENAM RIBU RUPIAH</i> | | |

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan