

Perencanaan Bendung Pengelak Waduk Jadi 1 di Tuban

Kuntjoro¹

Fakultas Teknik, Universitas Yos Soedarso; kuntjoro@uniyos.ac.id

Imam Subakti²

Fakultas Teknik, Universitas Yos Soedarso

ABSTRACT

The purpose of this study is to plan the dam So 1 is to plan the evacuation building consisting of the dam and the flood evaporator to prevent flood water from entering the dam's construction site. and data collection, calculating incoming-origin debits using the Nakayasu method, Calculating outbound debits to overflow with the Maning formula. Determines the height of the evaporator to avoid water debugging, Establishes the stability of the slope so that the evaporator dam is not easily eroded, and draws conclusions and provides advice.

The results show that: According to Nakayasu's calculations it is known that peak flood discharge (Q 20 years) is $Q_p = 402.3 \text{ m}^3 / \text{second}$. And the result of the flood routing is known as the height of the dam is 10 m. Slope stability of slopes with a slope of 1: 1 was observed at full water, in normal condition $5.86 \geq 1.5$ (safe), in quake $5.27 \geq 1.1$ (safe). Downstream slope stability with a slope of 1: 1 was observed during open water, in normal conditions $9.08 \geq 1.5$ (safe), in quakes $7.78 \geq 1.1$ (safe). Slope stability of slopes with a slope of 1: 1 was observed at low tide, in normal $8.84 \geq 1.5$ (safe), in $7.60 \geq 1.1$ (safe). Slope stability of slopes with a slope of 1: 1.2 was observed at full water, in normal conditions $6.30 \geq 1.5$ (safe), in $5.60 \geq 1.1$ (safe) quakes. Slope stability of slopes with a slope of 1: 1.2 was observed at low tide, in normal condition $9.10 \geq 1.5$ (safe), in $7.70 \geq 1$ (safe) earthquake. Slope stability of slopes with a slope of 1: 1.5 was observed at full water, in normal condition $6.68 \geq 1.5$ (safe), in $5.70 \geq 1.1$ (safe). Slope stability of slopes with a slope of 1: 1.5 was observed at low tide, in normal condition $8.74 \geq 1.5$ (safe), in quake condition $7.16 \geq 1.1$ (safe).

Keywords: Planning; Dodging Dams; Reservoirs.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan bendung pengelak pada bendungan Jadi 1 adalah merencanakan bangunan pengelak yang terdiri dari bendung pengelak dan saluran pengelak banjir untuk mencegah air banjir masuk dalam lokasi pembangunan bendungan Jadi 1. Penelitian masuk dalam kategori penelitian perencanaan dengan tahapan melakukan studi literatur, melakukan survey dan pengumpulan data, menghitung debit masuk yang berasal dari hulu dengan metode Nakayasu, Menghitung debit keluar ke pelimpah dengan rumus Maning. Menentukan tinggi bendung pengelak agar tidak terlampaui debit air, Menentukan stabilitas lereng sehingga bendung pengelak tidak mudah longsor, dan menarik kesimpulan dan memberikan saran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Berdasarkan perhitungan Nakayasu maka diketahui bahwa debit puncak banjir (Q 20 tahun) adalah $Q_p = 402,3 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dan hasil dari flood routing diketahui tinggi bendungan adalah 10 m. Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $5,86 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,27 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng hilir dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air kosong, dalam keadaan normal $9,08 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,78 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $8,84 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,60 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,2 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $6,30 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,60 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,2 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $9,10 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,70 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,5 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $6,68 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,70 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,5 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $8,74 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,16 \geq 1,1$ (aman).

Kata kunci: Perencanaan; Bendung Pengelak; Waduk.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dibangunnya industri besar yaitu pabrik semen Tuban berdampak pada perkembangan kota Tuban. Kota Tuban berkembang pesat semakin meluas terutama kearah barat dan selatan meliputi kecamatan Tuban dan kacamatan Merakurak, mencakup 3 kelurahan dan 9 desa. Pada kawasan ini terdapat sungai Jambon yang penampangnya kecil sehingga tidak mampu mengalihkan debit banjir. Menyebabkan kawasan disekitar kali Jambon setiap tahun rutin mengalami luapan banjir. Untuk mengatasi banjir tersebut direncanakan dengan jalan menahan debit banjir dibagian hulu dengan membangun waduk pengendali banjir yaitu waduk Jadi I. Keuntungan dibangunnya waduk Jadi I selain untuk mengendalikan banjir adalah: Sebagai cadangan air bersih untuk masyarakat disekitar waduk dan dihilir waduk; Peningkatan cadangan air tanah disekitar waduk; dan Air waduk dapat dimanfaatkan mensuplai kebutuhan air irigasi pada musim kemarau, pada daerah irigasi Boto dan daerah irigasi lainnya yang lokasinya di hilir waduk Jadi 1.

Pembangunan bendungan memerlukan waktu yang sangat lama ± 3 tahun. Agar dalam pelaksanaan pembangunan bendungan pada musim hujan maupun pada musim kemarau dapat berlangsung terus maka diperlukan bangunan pengelak banjir, Yang terdiri dari bendung pengelak dari urugan tanah dan terowongan pengelak yang berfungsi untuk mengalirkan air. Lokasi proyek adalah waduk Jadi I yang berada sekitar 11 km arah barat/selatan dari kota Tuban tepatnya di kecamatan Semanding desa Jadi dusun Gembul kabupaten Tuban.

Berdasarkan latar belakang dan kondisi tersebut diatas maka saya tertarik untuk melakukan **“Perencanaan Bendung Pengelak Waduk Jadi 1 di Tuban”**. Waduk Jadi 1 mempunyai daerah aliran yang besar, dapat menimbulkan debit banjir yang besar, sehingga dapat membahayakan dan menghambat proses pembangunan bendungan Jadi 1. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Bendungan dibangun dipalung sungai dan pembangunannya memerlukan waktu cukup lama meliputi musim hujan dan musim kemarau; Lokasi pembangunan bendungan harus kering oleh karena itu aliran sungai harus dibelokkan diluar lokasi bendungan dengan bangunan pengelak banjir; Bendungan pengelak harus cukup tinggi sehingga tidak terlampaui oleh tinggi banjir di sungai; dan Bendungan pengelak tersebut dari urugan tanah kemungkinan mudah longsor oleh karena itu harus stabil terhadap kelongsoran lereng.

Adapun tujuan studi perencanaan bendung pengelak pada bendungan Jadi 1 adalah merencanakan bangunan pengelak yang terdiri dari bendung pengelak dan saluran pengelak banjir untuk mencegah air banjir masuk dalam lokasi pembangunan bendungan Jadi 1.

METODE

Adapun tahapan studi ini adalah :

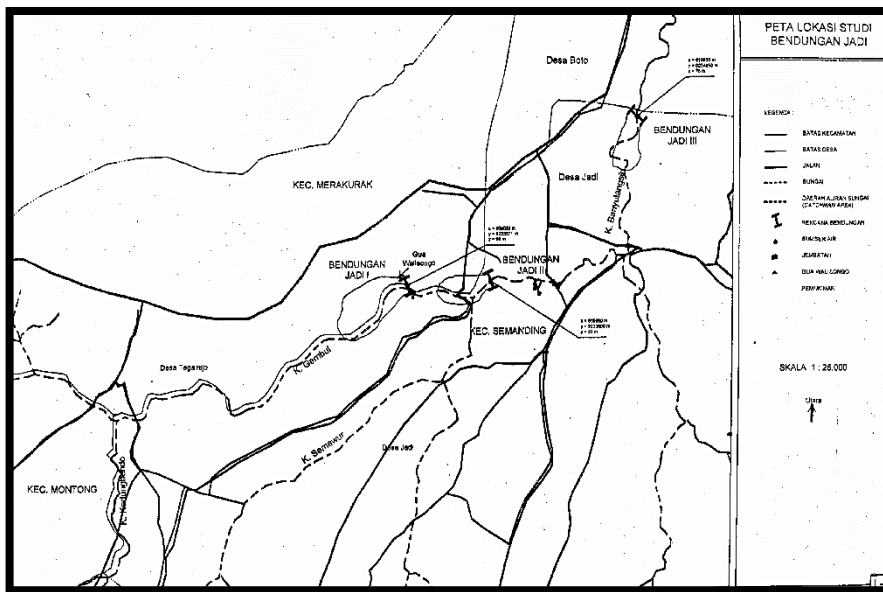
1. Studi Literatur dilakukan dengan membaca buku dari berbagai sumber yang berkaitan dengan masalah perencanaan bendung pengelak
2. Survey dan Pengumpulan data adalah survey merupakan pengumpulan data atau informasi yang akurat. Data yang digunakan adalah data curah hujan, data tanah, denah lokasi
3. Menghitung debit masuk yang berasal dari hulu dengan metode Nakayasu
4. Menghitung debit keluar ke pelimpah dengan rumus Maning
5. Menentukan tinggi bendung pengelak agar tidak terlampaui debit air
6. Menentukan stabilitas lereng sehingga bendung pengelak tidak mudah longsor
7. Kesimpulan dan saran dapat diambil dari hasil pengolahan data dan analisis data pada studi perencanaan bendung pengelak

Data-data yang diperlukan antara lain berupa data hujan, data tanah, peta lokasi bendungan dan lain-lain. Curah hujan adalah tinggi hujan dalam satu hari, bulan atau tahun yang dinyatakan dalam mm, cm atau inchi. Dalam perhitungan debit hujan rencana ini menggunakan data curah hujan dari stasiun hujan yang terdapat di Daerah Aliran Sungai (DAS) waduk Jadi 1 yaitu stasiun hujan

Sumurgung yang terletak di desa Laju kecamatan Bangilan kabupaten Tuban dengan posisi $6^{\circ}57,653'$ Lintang Selatan dan $111^{\circ}54,387'$ Bujur Timur. Data hujan harian yang dapat digunakan untuk perhitungan hujan rencana adalah data hujan dari tahun 1981 sampai dengan tahun 2003 (data selama 23 tahun).

Data hujan harian selama 23 tahun. Selain itu juga dilakukan pengambilan data tanah. Pengambilan contoh tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan pendahuluan yang sangat penting pada pelaksanaan sebuah proyek teknik sipil. Adapun pengambilan contoh tanah dilaksanakan untuk mendapatkan keterangan, mengenai tanah, jenis tanah, sifat fisis dan keadaan tanah itu sendiri. Berdasarkan pengamatan secara visual dilapangan dan hasil kegiatan survey dengan bor diketahui bahwa lapisan geologi bendungan Jadi I terdiri dari karang dengan sedikit lanau dan sedikit pasir.

Specific Gravity $G_s = 2,514 \text{ gr}$
 Kadar Air Optimum $W = 31,20 \%$
 Berat Volume Kering Maksimum $\gamma_{dmax} = 1,334 \text{ gr/cm}^3$

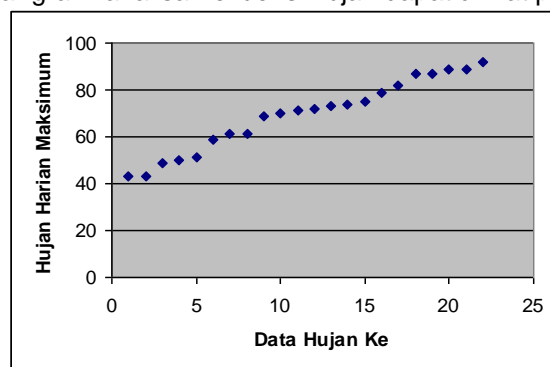


Gambar 1. Lokasi

PEMBAHASAN

A. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Pertama adalah melakukan analisis frekuensi hujan. Data hujan harian maksimum di atas dilakukan pengurutan (rangking) dari hujan harian maksimum terkecil hingga hujan harian maksimum terbesar dan kemudian dibuat analisa frekuensinya, untuk menentukan tinggi hujan rencana ($R_5, R_{10}, R_{20}, R_{25}, R_{50}, R_{100}$). Gambar grafik analisa frekuensi hujan dapat dilihat pada gambar 2. Di bawah ini



Gambar 2. Grafik Analisis Frekuensi Hujan Harian Maksimum

Periode ulang yang dipakai dalam menghitung tinggi hujan rencana ini adalah 20 tahun. Untuk perhitungan hujan rencana, data yang tersedia adalah data hujan selama 23 tahun dimulai tahun 1981 sampai tahun 2003, perhitungan tinggi hujan rencana menggunakan persamaan Gumbel.

$$R_t = \bar{R} + k \times S_x; k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}; S_x = \sqrt{\frac{\sum (R - \bar{R})^2}{n-1}}$$

Dimana:

R_t = harga extrapolasi dengan masa ulang T

S_x = standart deviasi dari data seri

S_n = reduced standart deviasi yang merupakan fungsi dari banyaknya data

Y_n = reduce mean yang merupakan fungsi dari besar (banyaknya) data

Y_t = reduced variate yang merupakan fungsi dari masa ulang T

k = faktor frekuensi

Berdasarkan data yang ada, didapatkan:

$$R \text{ total} = 1702 \text{ mm}; R \text{ rata-rata } (\bar{R}) = 74 \text{ mm}; \sum (R - \bar{R})^2 = 15876 \text{ mm}$$

Berikutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui hubungan antara (Y_n) dan (S_n) dengan data (n) dan dimasukkan dalam tabel. Pada kertas Gumbel skala ordinat menunjukkan harga variasi yang hendak dihitung extrapolasinya.

Perhitungan hujan rencana:

$$k = \frac{2,97019 - 0,5283}{1,0811} = 2,2587$$

$$S_x = \sqrt{\frac{15876}{23-1}} = 26,86 \text{ mm} \quad R_t = 74 + 2,2587 \times 26,86 = 134,7 \Rightarrow 135 \text{ mm}$$

Jadi hujan rencana untuk periode 20 tahun adalah (R_{20}) = 135 mm

Berikutnya perhitungan dilakukan menggunakan metode nakayasu. Besarnya nilai debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan rumus:

$$Q_p = \frac{A \times R_0}{3,60 \times (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

dimana :

Q_p = debit puncak banjir (m^3/det);

A = luas daerah aliran sungai (km^2);

R_0 = hujan satuan (mm);

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam);

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak (jam).

Nakayasu membagi bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu lengkung naik dan lengkung turun. Pada bagian lengkung naik, besarnya nilai hidrograf satuan dihitung dengan persamaan:

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$$

dimana:

Q_a = limpasan sebelum mencapai debit puncak dan dinyatakan dalam $m^3/detik$

t = waktu naik (jam);

T_p = waktu puncak (jam).

Pada bagian lengkung turun dibagi menjadi tiga bagian, perhitungan debit limpasan dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Untuk } Q_d > 0,30.Q_p; Q_d = Q_p.0,30^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}}$$

Untuk $0,30 \cdot Q_p > Q_d > 0,30^2 \cdot Q_p$; $Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}}$

Untuk $0,30^2 \cdot Q_p > Q_d$; $Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5 \cdot T_{0,3})}{2 \cdot T_{0,3}}}$

dengan:

Q_p = debit puncak (m^3/det);

T = waktu turun berawal dari waktu puncak (jam).

Menurut Nakayasu, waktu naik hidrograf bergantung pada waktu konsentrasi, dan dapat dihitung dengan rumus:

$$T_p = t_g + 0,8 \cdot t_r$$

dengan :

t_g = waktu konsentrasi (jam)

t_r = satuan waktu hujan (diambil 1 jam)

Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh panjang sungai utama (L) :

Jika $L < 15$ km : $t_g = 0,21 \cdot L^{0,70}$

Jika $L > 15$ km : $t_g = 0,4 + 0,058 \cdot L$

Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan dihitung

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g$$

dengan:

α = koefisien yang bergantung pada karakteristik DAS

Perhitungan hidrograf banjir menggunakan metode Nakayasu.

Diketahui karakteristik DAS :

1. Luas DAS = 30,94 km²
2. Panjang Sungai (L) = 11,2 km
3. α (untuk daerah hutan) = 2
4. $L < 15$ km $t_g = 0,21 \cdot L^{0,70} = 1,14$ jam
5. $t_r = 1$ jam
6. $T_{0,3} = \alpha \cdot t_g = 2 \times 1,14 = 2,28$ jam
7. $T_p = t_g + 0,8 \cdot t_r = 1,94$ jam ~ 2 jam
8. $R_o = 1,00$ mm
9. $Q_p = \frac{A \times R_o}{3,60 \times (0,3 T_p + T_{0,3})} = 2,98$ m³ / det

(Wai Citrya Kumara, 2006)

Contoh perhitungan debit banjir rencana

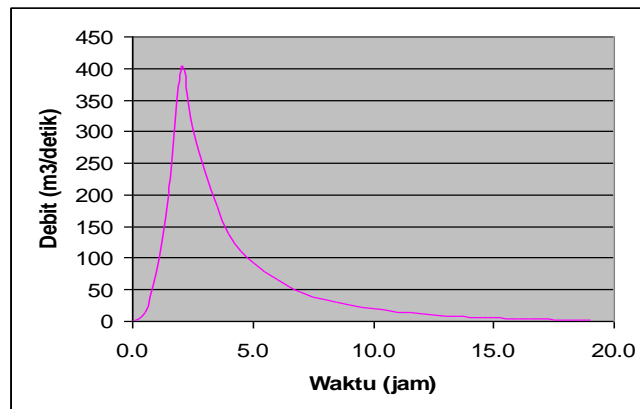
$$Q_a = 2,98 \cdot \left(\frac{0,5}{2}\right)^{2,4} = 0,107$$

untuk $Q_d > 0,30 \cdot 2,98$; $Q_d = 2,98 \cdot 0,30^{\frac{2,5-2}{2,28}} = 2,288$

untuk $0,3 \cdot 2,98 > Q_d > 0,30^2 \cdot 2,98$; $Q_d = 2,98 \cdot 0,3^{\frac{(4,5-2+(0,5 \times 2,28))}{(1,5 \times 2,28)}} = 0,827$

untuk $0,30^2 \cdot 2,98 > Q_d$; $Q_d = 2,98 \cdot 0,3^{\frac{(7,8-2+(1,5 \times 2,28))}{(2 \times 2,28)}} = 0,248$

Dengan perhitungan diatas maka dapat ordinat hidrograf satuan. Grafik debit banjir rencana untuk periode ulang 20 tahun untuk bendung pengelak pada bendungan Jadi I disajikan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Debit Banjir Rencana Periode Ulang 20 Tahun

B. Penelusuran Banjir Lewat Waduk

Debit outflow merupakan debit yang keluar dari bendung pengelak, kalau fasilitas pengeluarannya berupa terowongan, maka harus diperhitungkan terhadap dua macam keadaan.

1. Pada saat seluruh panjang terowongan belum terisi penuh oleh air, sehingga masih berupa aliran alur terbuka (open channel flow). Dalam hal ini digunakan rumus

$$Q = V \cdot A$$

Dimana :

Q = debit keluar (m³/detik)

V = kecepatan air dalam terowongan (m/detik), dapat dihitung dengan rumus Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

n = angka kekasaran profil aliran

$$R = \text{radius hidrolis (m)} = \frac{A}{P}$$

P = keliling basah profil aliran (m)

A = luas profil aliran (m²)

S = kemiringan alur terowongan

2. Pada saat seluruh panjang terowongan penampang atau profil alirannya terisi penuh oleh air, sehingga terjadi aliran tekan atau aliran pipa (pressure flow atau pipe flow). Dalam hal demikian kecepatan airnya ditentukan oleh perbedaan tinggi tekanan (head) dipermulaan dan diujung terowongan.

Perbedaan tekanan tersebut yang merupakan penjumlahan dari kehilangan-kehilangan energi, dipengaruhi oleh bentuk inlet terowongan, kekasaran dinding terowongan, adanya penyempitan atau pelebaran dalam terowongan, adanya belokan-belokan dalam terowongan. Dalam hal ini:

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{f}} ; \text{ Dan untuk } Q = A \sqrt{\frac{2gH}{f}}$$

Dimana

f = koefisien geseran

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/detik

Contoh perhitungan pada saat aliran saluran terbuka (terowongan belum terisi penuh air)

Diketahui :

1. elevasi muka air = 101.00

2. lebar dasar (b) = 6 m
 - 3 kemiringan saluran (s) = 0,01
 4. kekasaran profil (n) = 0,015
 5. koefisien geseran (f) = 0,518
- (Wai Citrya Kumara, 2006)

Pada saat ketinggian air (h) 0,20 maka elevasi muka air = 101,20, maka

$$A = b \times \text{tinggi air} = 6 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} = 1,20 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2 \times \text{tinggi air} = 6 \text{ m} + (2 \times 0,20) = 6,40 \text{ m}$$

$$R = \frac{1,20}{6,40} = 0,19 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{0,015} \times 0,19^{2/3} \times 0,01^{1/2} = 2,18 \text{ (m/detik)}$$

$$Q = 1,20 \times 2,18 = 2,62 \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

Perhitungan pada saat aliran saluran tertekan (terowongan terisi penuh air)

$$\text{Luas penampang (A)} = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{Tinggi air (h)} = 3,20 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi} = 104,00$$

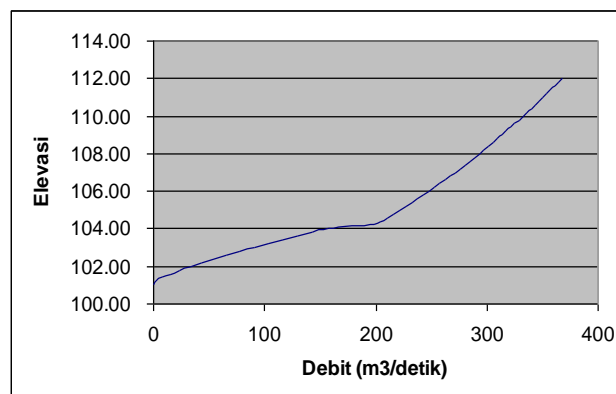
$$\text{maka } V = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 3,20}{0,518}} = 11,01 \text{ m/detik}$$

$$Q = 18 \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 3,20}{0,518}} = 198,17 \text{ m}^3\text{/detik}$$

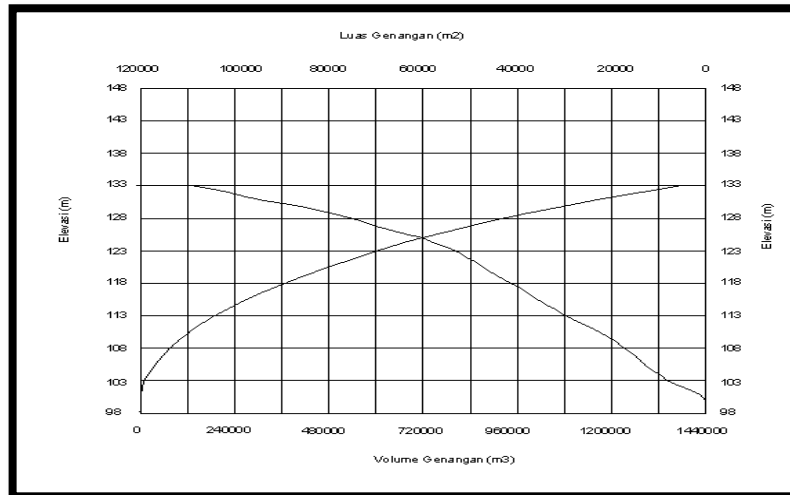
Perhitungan besarnya outflow melalui terowongan pada bendung pengelak Jadi 1 dapat disajikan dalam bentuk grafik rating curva. Rating curva yaitu curva yang menunjukkan hubungan antara tinggi muka air pada penampang tersebut dengan debit yang lewat. Grafik dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.

C. Volume Tampungan Waduk Jadi 1

Dari hasil plotting pada peta topografi dapat diperkirakan bahwa model waduk Jadi 1 genangannya tidak meluas tetapi berupa long storage. Hal ini disebabkan tebing sungai disepanjang waduk Jadi 1 rata-rata memiliki kemiringan curam dengan elevasi tidak terlalu tinggi. Karena berupa long storage maka potensi tampungan waduk Jadi 1 besarnya relatif kecil. Volume tampungan waduk Jadi 1 diukur dari dasar sungai dengan elevasi + 98,30 sampai dengan + 138,00, dengan potensi tampungan maksimum mencapai 2.063.235 m³. Lengkung kapasitas bendung Jadi 1 yaitu hubungan antara Elevasi kontour muka tanah didaerah genangan bendung pengelak dengan luas genangan dan volume tampungan bendung pengelak. Lengkung kapasitas bendung pengelak ini diperlukan untuk menghitung penuluran banjir (floodrouting). Dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 4. Hubungan Elevasi dan Debit Outflow Bendung Pengelak



Gambar 5. Lengkung Kapasitas Waduk Jadi 1

D. Perhitungan Penuluran Banjir Lewat Waduk

Pada waktu banjir sebagian debit air yang masuk ke bendung pengelak (inflow) akan keluar melalui terowongan bendung pengelak dan sebagian akan ditahan dan ditampung didalam waduk, sehingga besarnya debit banjir atau tinggi muka air banjir yang mengalir diwaduk dapat dikurangi. Dari persamaan dapat dicari hubungan antara Elevasi muka air diatas mercu pelimpah dengan tampungan debit outflow dan debit tampungan ψ dan ϕ .

Dasar perhitungannya adalah :

$$\frac{ds}{dt} = I - Q$$

Dimana :

I = Debit *Inflow* (m^3/dt);

Q = Debit *Outflow* (m^3/dt);

$\frac{ds}{dt}$ = Perubahan tampungan (m^3/dt).

Apabila periode peneluserannya (dt) diatas dirubah menjadi Δt (interval waktu tertentu), maka

$$ds = (S_2 - S_1) / \Delta t ; I = (I_1 + I_2) / 2 ; Q = (Q_1 + Q_2) / 2 .$$

Dimana :

ds = perubahan tampungan pada interval waktu Δt (m^3/dt);

Δt = interval waktu (dt);

S_2 = tampungan pada akhir interval waktu Δt (m^3);

S_1 = tampungan pada awal interval waktu Δt (m^3);

I_1 = Inflow pada awal interval waktu Δt (m^3/dt);

I_2 = Inflow pada akhir interval waktu Δt (m^3/dt);

Q_1 = Outflow pada awal interval waktu Δt (m^3/dt);

Q_2 = Outflow pada akhir interval waktu Δt (m^3/dt).

Sehingga dihasilkan rumus berikut :

$$\frac{S_2 - S_1}{\Delta t} = \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

Persamaan diatas dapat ditulis sedemikian rupa, sehingga factor-factor yang diketahui ditempatkan pada ruas kiri sebagai berikut :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \left(\frac{S_1 - Q_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} \right) = \left(\frac{S_2 + Q_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} \right)$$

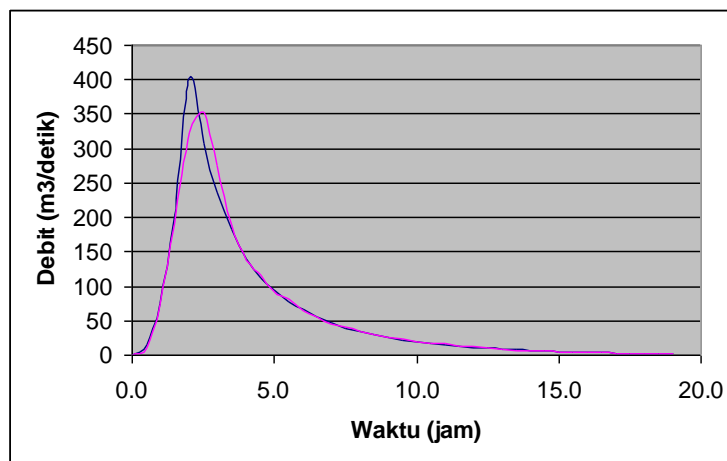
Jika:

$$\left(\frac{S_1 - Q_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} \right) = \psi; \left(\frac{S_2 + Q_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} \right) = \varphi$$

Maka diperoleh persamaan baru sebagai berikut :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \psi = \varphi$$

Hasil perhitungan penuluruhan banjir melalui terowongan bendung pengelak pada waduk Jadi 1 diperoleh debit outflow maksimum melalui terowongan sebesar 353,25 m³/detik dan ketinggian bendung pengelak sebesar 10,03 m ≈ 10,00 m. Debit puncak tanpa adanya bendung pengelak (Q_p = 402,30 m³/detik), sedangkan debit puncak dengan adanya bendung pengelak menjadi 353,25 m³/detik dari banjir rencana. Jadi besarnya debit puncak dapat diturunkan/direduksi oleh bendung pengelak sebesar 49,25 m³/detik. Grafik dari penuluruhan banjir dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Hidrograf Penuluruhan Banjir

E. Material Bendung Pengelak

Material yang digunakan dalam pembangunan bendung pengelak adalah urugan tanah. Meskipun kuat stabilitas bendung pengelak perlu diperhitungkan agar bendung pengelak tidak mudah terjadi longsor.

Data-data material timbunan sebagai berikut:

- Sudut geser dalam $\theta = 28^\circ$
- Specific Gravity $G_s = 2,514 \text{ t/m}^3$
- water content $w = 31,20 \%$
- kohesi $c = 20 \text{ t/m}$
- permiabilitas $k = 5 \times 10^5 \text{ cm/detik}$
- koefisien gempa $e = 0,12$

(Wai Citrya Kumara, 2006)

Dimensi Bendung Pengelak

Dalam perencanaan bendung pengelak harus diketahui dimensinya agar bendung pengelak tersebut dapat dibangun sesuai kebutuhan yang kita inginkan. Adapun dimensinya adalah sebagai berikut.

1. Tinggi Bendung Pengelak

Tinggi bendung pengelak adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu bendungan pengelak. Perencanaan tinggi bendung pengelak berdasarkan dari hasil penuluruhan banjir yang ditambah dengan tinggi jagaan. Tinggi jagaan adalah perbedaan antara

elevasi permukaan air rencana maksimum dalam waduk dan elevasi mercu bendung pengelak. Perhitungan tinggi bendung pengelak dapat dirumuskan :

$$H = h_d + h_f$$

Dimana :

- H = Tinggi bendung pengelak
- h_d = Tinggi air (10 m)
- h_f = Tinggi jagaan (1 m)

2 Kemiringan Bendung Pengelak

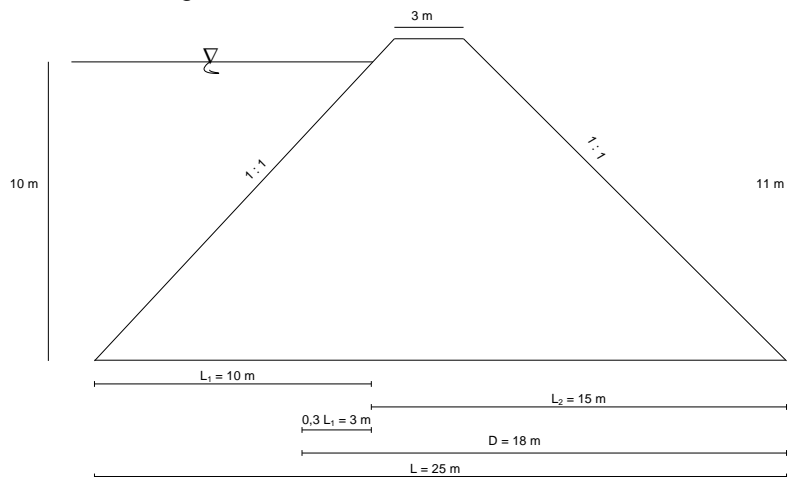
Kemiringan lereng adalah perbandingan antara panjang garis vertical yang melalui puncak bendung dan panjang garis horizontal yang melalui tumit masing-masing lereng tersebut. Kemiringan bendung pengelak ditentukan oleh stabilitas kemiringan lereng bendung pengelak itu sendiri. Kemiringan bendung pengelak dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

- Kemiringan up stream : 1:1
- Kemiringan down stream : 1:1

Stabilitas Tubuh Bendung Pengelak

Kondisi tubuh Bendung pengelak :

- Tinggi bendung pengelak = 11 m
- Elevasi river bed = + 101,00 m
- Elevasi muka air maksimum = + 111,00 m
- Lebar puncak bendung = 3 m
- Lebar dasar bendungan = 25 m



Gambar 7. Dimensi Bendung Pengelak

Dalam menganalisa bendung pengelak harus diperhatikan beberapa hal berikut ini :

1 Menentukan Garis Rembesan dan Jaring Aliran

- h air maksimum = elevasi muka air maksimum – elevasi river bed
= 111,00 – 101,00 = 10 m
- panjang L_1 = 1 x 10,00 = 10 m
- panjang L_2 = 25 – 10 = 15 m
- garis depresi = 0,3 x L_1 = 0,3 x 10 = 3 m
- D = Garis depresi + L_2 = 18 m

Untuk menentukan garis rembesan dan flow net digunakan metode Casagrande, Diketahui koefisien permeabilitas horizontal

$$K_h = 5 \times 10^5 \text{ cm/detik}$$

Koefisien permeabilitas vertical diambil 1/5 K_h

$$K_v = 1/5 \times 5 \times 10^5$$

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{1}{5}$$

Koefisien penyusutan (λ)

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_v}{K_h}} = \sqrt{\frac{1}{5}} = 0,4472$$

Maka didapat

$$L \times \lambda = 25 \times 0,4472 = 11,2 \text{ m}$$

$$L_1 \times \lambda = 10 \times 0,4472 = 4,5 \text{ m}$$

$$L_2 \times \lambda = 15 \times 0,4472 = 6,7 \text{ m}$$

$$D \times \lambda = 18 \times 0,4472 = 8 \text{ m}$$

Dengan metode Casagrande

$$y_o = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{10^2 + 8^2} - 8 = 4,8 \text{ m}$$

Persamaan basic parabola

$$y = \sqrt{2 \cdot y_o \cdot x + y_o^2} = \sqrt{2 \cdot 4,8 \cdot x + 4,8^2} = \sqrt{9,6 \cdot x + 23,04}$$

Dari persamaan diatas dapat dicari harga x dan y.

F. Menghitung Besarnya Kapasitas Rembesan

Dalam menggambar flownet yang harus diusahakan adalah bahwa pembuatan garis aliran dan garis ekuipotensial akan membentuk kotak-kotak yang mendekati bentuk bujur sangkar. Perhitungan selanjutnya berdasarkan pada flownet. Debit rembesan lebar bendung pengelak dapat dihitung dengan rumus :

$$q = K \cdot h \cdot \frac{N_f}{N_d}$$

Dimana :

q = debit rembesan persatuan lebar (m^3/detik)

N_f = jumlah angka pembagi dari garis aliran

N_d = jumlah angka pembagi dari garis ekuipotensial

K = koefisien permeabilitas; $K = \sqrt{K_h \cdot K_v}$

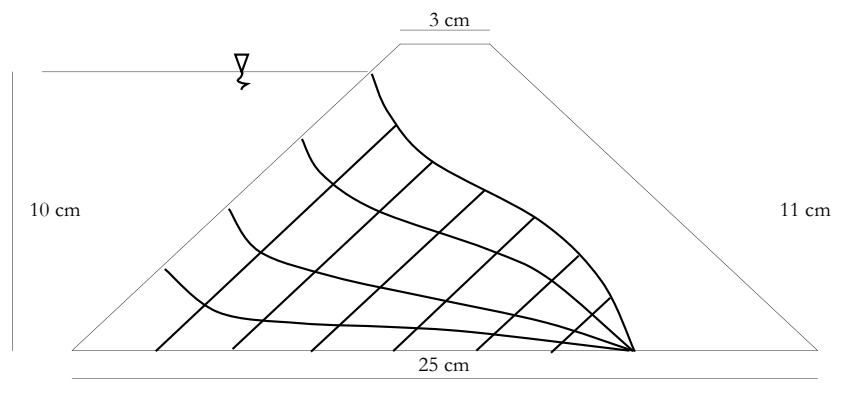
$$K_v = 1/5 K_h \rightarrow K_h = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/detik}$$

$$K_h = 5 \times 10^{-7} \text{ m/detik}$$

$$K_v = 1/5 \cdot 5 \times 10^{-7} = 10 \times 10^{-8} \text{ m/detik}$$

$$K = \sqrt{(5 \times 10^{-7}) \times (10 \times 10^{-8})} = 2,236 \times 10^{-7} \text{ m/detik}$$

$$q = K \cdot h \cdot \frac{N_f}{N_d} = 2,236 \times 10^{-7} \cdot 10 \cdot \frac{4}{7} = 1,28 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik/m}$$



Gambar 8. Garis Rembesan dan Jaring Aliran

G. Analisis Stabilitas Piping Bendung Pengelak

Dalam menentukan stabilitas piping bendung pengelak akan digunakan data-data yang telah ada. Dimana kita hanya merubah beberapa kemiringan lereng bagian hilir tanggul (m). Dalam analisa ini stabilitas piping bendung pengelak harus memenuhi faktor keamanan yang telah ditentukan ($F_s > 1.5$). Kemiringan lereng yang akan ditinjau adalah :

1. Kemiringan up stream 1 : 1 (m = 1)
2. Kemiringan down stream 1 : 1 (m = 1)

Data-data yang digunakan dalam menentukan stabilitas piping bendung pengelak adalah:

- F_s = Faktor keamanan (> 1.5)
- G_s = Spesifik Gravity (2,514)
- h = Tinggi muka air (10 m)
- L = Lebar bendung pengelak (25 m)

$$F_s = \frac{G_s - 1}{1 + e} \times \frac{L}{H} > 1,5$$

Berat volume kering (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{G_s \times \gamma_w}{1 + e}; 1,334 = \frac{2,514 \times 1}{1 + e}; 1,334 + 1,334e = 2,514; 1,334e = 1,18$$

$$e = 0,88$$

$$F_s = \frac{2,514 - 1}{1 + 0,88} \times \frac{25}{10} > 1,5 = 2,01 > 1,5 \quad (\text{ok})$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa bendung pengelak ini aman terhadap bahaya piping.

H. Analisis Stabilitas Bendung Pengelak

Dalam analisis stabilitas bendungan ini ditinjau 2 keadaan yang dianggap berbahaya.

1. Keadaan air waduk penuh
2. Penurunan air secara tiba-tiba

Dalam menggambar lingkaran yang membentuk bidang yang memberikan F_s paling rendah disebut sebagai lingkaran kritis dimana titik pusatnya dapat dicari dengan menggunakan cara Felleniu. Harga α_1 dan α_2 didapatkan berdasarkan kemiringan lereng bendung pengelak atau β dapat dilihat pada table sebagai berikut

Tabel 1. Nilai α_1 , α_2 dan β

Kemiringan	β°	$\alpha^\circ 1$	$\alpha^\circ 2$
1 : 0,58	60	29	40
1 : 1	45	28	37
1 : 1,25	33,8	26	35
1 : 2	26,56	25	35
1 : 3	18,4	25	35
1 : 5	11,3	15	37

$$\begin{aligned} \gamma_{wet} &= \frac{\gamma_w \times G_s \times (1 + w)}{1 + e} & \gamma_{sat} &= \frac{\gamma_w \times (G_s + e)}{1 + e} \\ &= \frac{1 \times (2,514 + 0,88)}{1 + 0,88} & &= \frac{1 \times 2,514 \times (1 + 0,312)}{1 + 0,88} \\ &= 1,805 \text{ t/m}^3 & &= 1,754 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_{sat} &= \frac{\gamma_w \times (G_s + e)}{1 + e} \end{aligned}$$

$$= \frac{1 \times (2,514 + 0,88)}{1 + 0,88}$$

$$= 1,805 \text{ t/m}^3$$

Faktor keamanan

1. Keadaan normal :

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U) \tan \alpha)}{\Sigma T} \geq 1,50$$

2. Keadaan gempa

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)} \geq 1,10$$

Perhitungan berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas lereng udik kemiringan (1 : 1) pada saat air penuh

1) Keadaan normal

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U) \tan \alpha)}{\Sigma T} \geq 1,5 = \frac{(363,20 + (98,26 - 104,75) \tan 28^\circ)}{61,37} \geq 1,5$$

$$F_s = 5,86 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

2) Keadaan gempa

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)} \geq 1,1 = \frac{(363,20 + (98,26 - 104,75 - 4,97) \tan 28^\circ)}{(61,37 + 6,40)} \geq 1,1$$

$$F_s = 5,27 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

2. Stabilitas lereng hilir kemiringan (1 : 1) pada saat air penuh

1) Keadaan normal

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U) \tan \alpha)}{\Sigma T} \geq 1,5 = \frac{(363,20 + (51,86 - 49,96) \tan 28^\circ)}{40,10} \geq 1,5$$

$$F_s = 9,08 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

2) Keadaan gempa

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)} \geq 1,1 = \frac{(363,20 + (51,86 - 49,96 - 4,81) \tan 28^\circ)}{(40,10 + 6,41)} \geq 1,1$$

$$F_s = 7,78 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

3. Stabilitas lereng udik kemiringan (1 : 1) pada saat air turun

1) Keadaan normal

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U) \tan \alpha)}{\Sigma T} \geq 1,5 = \frac{(363,20 + (53,37 - 49,96) \tan 28^\circ)}{41,28} \geq 1,5$$

$$F_s = 8,84 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

2) Keadaan gempa

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)} \geq 1,1 = \frac{(363,20 + (53,37 - 49,96 - 4,97) \tan 28^\circ)}{(41,28 + 6,40)} \geq 1,1$$

$$F_s = 7,60 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4. Stabilitas lereng hilir kemiringan (1 : 1) pada saat air turun

1) Keadaan normal

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U) \tan \alpha)}{\Sigma T} \geq 1,5 = \frac{(363,20 + (51,86 - 49,96) \tan 28^\circ)}{40,10} \geq 1,5$$

$$F_s = 9,08 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

2) Keadaan gempa

$$F_s = \frac{\Sigma(C \times L + (N - U - Ne) \tan \alpha)}{\Sigma(T + Te)} \geq 1,1 = \frac{(363,20 + (51,86 - 49,96 - 4,81) \tan 28^\circ)}{(40,10 + 6,41)} \geq 1,1$$

$$F_s = 7,78 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

Stabilitas Geser Terhadap Lereng

Stabilitas terhadap geser ditinjau pada saat waduk dalam keadaan penuh.

$$\begin{aligned} W1 &= 1/2 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 1,754 = 2,1 \text{ ton} \\ W2 &= 1/2 \cdot 11 \cdot 11 \cdot 1,805 = 2,1 = 107,1 \text{ ton} \\ W3 &= 3 \times 4,2 \times 1,754 = 22,1 \text{ ton} \\ W4 &= 3 \times 6,8 \times 1,805 = 36,8 \text{ ton} \\ W5 &= 3,4 \times 5,8 \times 1,754 = 34,6 \text{ ton} \\ W6 &= 3,4 \times 3,5 \times 1,805 = 21,5 \text{ ton} \\ W7 &= 1/2 \cdot 7,6 \times 7,6 \times 1,754 = 50,7 \text{ ton} \\ W8 &= 1/2 \cdot 10 \cdot 10 = 50 \text{ ton} \\ PN &= 1/2 \cdot \gamma_w \cdot H^2 = 1/2 \cdot 1 \cdot 10^2 = 50 \text{ ton} \\ Pe &= 0,555 \cdot Ka \cdot \gamma_w \cdot H^2 \\ Ka &= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 28^\circ}{1 + \sin 28^\circ} = 0,361 \\ Pe &= 0,555 \cdot 0,361 \cdot 1 \cdot 10^2 = 20,04 \end{aligned}$$

Gaya Uplift

$$U_x = \Delta H - \frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$$

$$P_u = 1/2 \cdot U_x \cdot L \cdot \gamma_w$$

Dimana:

U_x = Satuan gaya uplift

L_x = Panjang creep line

L = Total panjang creep line

ΔH = Beda tinggi muka air di up stream dan down stream

$$U_x = 10 - \frac{0}{25} \cdot 10 = 10 \text{ m}$$

$$P_u = 1/2 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 1 = 125 \text{ m}$$

$$\Sigma V = 324,9 - 125 = 199,9$$

$$\Sigma H = 132,43 - 50 = 82,43$$

$$F = \tan 28^\circ = 0,532$$

$$SF = \frac{\Sigma V \cdot f + C \cdot L}{\Sigma H} \geq 1,5 = \frac{199,9 \times 0,532 + 20 \times 25}{82,43} = 7,36 \text{ (aman)}$$

KESIMPULAN

Setelah penulis melakukan studi pada waduk Jadi 1 mengenai perencanaan bendung pengelak, maka dalam bab ini penulis dapat mengambil kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan perhitungan Nakayasu maka diketahui bahwa debit puncak banjir (Q 20 tahun) adalah $Q_p = 402,3 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dan hasil dari flood routing diketahui tinggi bendungan adalah 10 m
2. Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $5,86 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,27 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng hilir dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air kosong, dalam keadaan normal $9,08 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,78 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $8,84 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,60 \geq 1,1$ (aman).

3. Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,2 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $6,30 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,60 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,2 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $9,10 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,70 \geq 1,1$ (aman).
4. Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,5 ditinjau pada saat air penuh, dalam keadaan normal $6,68 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $5,70 \geq 1,1$ (aman). Stabilitas lereng udik dengan kemiringan 1:1,5 ditinjau pada saat air turun, dalam keadaan normal $8,74 \geq 1,5$ (aman), dalam keadaan gempa $7,16 \geq 1,1$ (aman).

Saran – saran yang dapat diberikan sesuai dengan permasalahan yang diajukan pada studi ini yaitu dalam menentukan kemiringan lereng sebaiknya menggunakan perbandingan 1:1, agar bendung pengelak tidak terlalu melebar sehingga dapat menghemat biaya pembangunannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. DPU Dirjen Pengairan. 1986. **Standart Perencanaan Irigasi Kp 01 Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi**, Bandung: Galang Persada
2. Mawardi, Erman. 2002. **Desain Hidraulik Bendung Tetap**, Surabaya: Alfabeta
3. Soemarto. 1985. **Hidrologi Teknik**, Surabaya: Usaha Nasional
4. Sosrodarsono, Suyono.1981. **Bendungan Type Urugan**, Jakarta: Pradnya Paramita
5. Wai Citria Kumara. 2006. **Study Enginering Desain Rencana Pembuatan Waduk Pengendali Banjir Di Desa Jadi Kecamatan Semanding** , Surabaya