

ANALISIS STABILITAS TUBUH BENDUNGAN PADA BENDUNGAN SEMANTOK KABUPATEN NGANJUK PROVINSI JAWA TIMUR

Fiorentina Novella Fajri Imani¹, Gerard Aponno², Akhmad Suryadi³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

1741320023@student.polinema.ac.id¹, gaponno@gmail.com², akhmadsuryadi1@gmail.com³

ABSTRAK

Bendungan Semantok merupakan bendungan urugan tipe zonal (inti vertikal) dengan 6 zona timbunan. Bendungan Semantok merupakan prasarana pengairan yang mempunyai resiko sangat tinggi jika mengalami kegagalan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui besar kapasitas debit rembesan, potensi kemungkinan terjadinya erosi internal, faktor keamanan stabilitas lereng (kondisi tanpa dan dengan beban gempa), spesifikasi dan metode pelaksanaan serta perhitungan rencana anggaran biaya pada pekerjaan galian dan timbunan *main dam*. Data yang diperlukan diantaranya adalah data teknis bendungan, data tanah asli, data material timbunan tubuh bendungan, dan gambar desain bendungan. Penggambaran *flownet* dibuat dengan metode grafis lalu dilanjutkan dengan perhitungan rembesan menggunakan rumus *Cassagrande* dan menggunakan program *Geo-Studio SEEP/W 2012*. Perhitungan faktor keamanan stabilitas lereng menggunakan program *Geo-Studio SLOPE/W 2012* dengan metode *Fellenius*. Dari hasil perhitungan diperoleh kapasitas debit rembesan yang terjadi < 1% dari rata-rata debit sungai yang masuk ke dalam waduk (0,02080 m³/detik) sehingga aman dari rembesan. Faktor keamanan terhadap erosi internal memiliki nilai 4,384 > 4 sehingga aman terhadap erosi internal. Stabilitas lereng dianalisis dalam berbagai kondisi muka air dengan dan tanpa beban gempa menghasilkan beberapa angka FK di bawah FK minimum sehingga perlu ditambah perkuatan berupa geosintetik jenis *geogrid*. Alat berat yang dibutuhkan adalah *Excavator*, *Excavator+Breaker*, *Dump Truck*, *Baby Roller*, *Sheep Foot Roller*, *Smooth Drum Roller*, *Vibrator Roller*, dan *Bulldozer* dengan jumlah yang disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan. Biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 527.835.264.000,00 untuk pekerjaan galian dan timbunan *main dam* Bendungan Semantok.

Kata kunci : bendungan; rembesan; stabilitas lereng

ABSTRACT

The Semantok Dam is a zoned type embankment dam (vertical core) with 6 embankment zones. It is an irrigation infrastructure that has a very high risk if it fails. Therefore, this study aims to determine the amount of seepage discharge capacity, the potential for internal erosion, the safety factor of slope stability (without and with earthquake loads), the specifications and implementation methods along with the cost estimation calculation of cut and fill work at main dam of the Semantok Dam. The required data include dam technical data, original soil data, main dam embankment material data, and dam design drawings. The flownet was made using the graphical method and be followed by the calculation of seepage using Cassagrande formula and Geo-Studio SEEP/W 2012 program. The calculation of the slope stability safety number using the Fellenius method on Geo-Studio SLOPE/W 2012 program. From the calculation results, it is obtained that the seepage discharge capacity that occurs is <1% of the average river discharge entering the reservoir (0,02080 m³/sec) so that it is safe from seepage. The safety factor of internal erosion has a value of 4.384 > 4 so it is safe against internal erosion. Slope stability analyzed in various water level conditions with and without earthquake loads resulted in several SF numbers below the minimum SF so that it is necessary to add reinforcement in the form of geogrid (type of geosynthetic). Heavy equipment needed include Excavator, Excavator+Breaker, Dump Truck, Baby Roller, Sheep Foot Roller, Smooth Drum Roller, Vibrator Roller, and Bulldozer with the amount adjusted to the needs in the field. The estimated cost is IDR 527.835.264.000,00 for cut and fill work at main dam of the Semantok Dam.

Keywords : dam; seepage; slope stability

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan musim penghujan dan musim kemarau yang pada saat tertentu menyebabkan melimpahnya air atau kekurangan air di beberapa daerah. Oleh karena itu timbul suatu upaya untuk menjaga kestabilan ketersediaan air dengan menampung kelebihan air tersebut sehingga bisa digunakan pada saat musim kemarau berlangsung, salah satu upaya tersebut adalah dengan membangun sebuah bendungan.

Bendungan Semantok merupakan bendungan urugan tipe zonal (inti vertikal) dengan 6 zona timbunan yaitu zona inti, filter halus, filter kasar, random tanah, *rip-rap*, dan *rock toe*. Bendungan Semantok merupakan prasarana pengairan yang mempunyai resiko sangat tinggi jika mengalami kegagalan. Oleh karena itu, sebelum dan pada saat dilaksanakan pembangunan bendungan harus dilakukan pengujian kelayakan desain tersebut agar tidak terjadi kegagalan konstruksi.

Penelitian Terdahulu

D.U Rifqi dalam referensi [1] telah melakukan penelitian untuk mengetahui faktor keamanan kestabilan lereng bendungan pada berbagai kondisi tanpa beban gempa menggunakan simulasi dengan perangkat lunak menggunakan *limit equilibrium* dengan metode *Spencer*. Simulasi kestabilan lereng dilakukan dalam empat kondisi bendungan yaitu kondisi setelah konstruksi, muka air normal, muka air maksimum, dan *rapid drawdown*. Berdasarkan analisis kestabilan lereng bendungan pada keempat kondisi dinyatakan aman karena nilai faktor keamanan melebihi batas yang diizinkan.

Tujuan

Tujuan dari analisis ini adalah dapat mengetahui besar kapasitas debit rembesan, potensi kemungkinan terjadinya erosi internal, faktor keamanan stabilitas lereng (kondisi tanpa dan dengan beban gempa), spesifikasi dan metode pelaksanaan serta perhitungan rencana anggaran biaya pada pekerjaan galian dan timbunan *main dam*.

2. METODE

Deskripsi Proyek

Bendungan Semantok terletak di Dusun Kedungpingit, Desa Sambi Kerep, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk, Propinsi Jawa Timur. Bendungan terletak pada koordinat 1110 53' 25.68" BT dan 70 29' 41,90" LS. Bendungan Semantok terletak di Aliran Sungai Semantok. As bendungan Semantok direncanakan terletak di antara bukit kanan dan kiri Sungai Semantok dengan jarak 3.005 meter.

Data

Data yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah data sekunder yang merupakan data yang tidak perlu dikumpulkan sendiri atau data yang sudah ada dan merupakan dokumen yang diperoleh dari proyek, diantaranya adalah data teknis bendungan, data tanah asli, data material tubuh bendungan, dan gambar desain bendungan.

Analisis Data

Analisis Rembesan

Menurut DR. S Sosrodarsono dalam referensi [2], baik tubuh bendungan maupun pondasi diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi. Hal tersebut dapat diketahui dengan membuat formasi garis depresi dalam tubuh bendungan dan jaringan trayektori aliran filtrasi dalam tubuh serta pondasi bendungan yang akan menghasilkan nilai kapasitas rembesan atau aliran filtrasi.

Menganalisis kapasitas rembesan pada tubuh bendungan ini dilakukan dengan menggunakan rumus manual dan program *Geo-Studio SEEP/W 2012*. Memperkirakan besarnya kapasitas rembesan yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_f = \frac{N_f}{N_d} \cdot k \cdot H \cdot L \quad (1)$$

Dengan:

- Qf : kapasitas rembesan (kapasitas aliran filtrasi)
- Nf : angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi
- Nd : angka pembagi dari garis equi-potensial
- k : koefisien filtrasi
- H : tinggi tekanan air total
- L : panjang profil melintang tubuh bendungan

Menurut referensi [4] hasil perhitungan harus memenuhi syarat yaitu < 1% dari debit rata-rata sungai.

Analisis Kemungkinan Erosi Internal

Dalam referensi [2], menganalisis kemungkinan terjadinya erosi internal (butiran-butiran tanah yang terbawa akibat tekanan pori yang berlebih sehingga membentuk pipa-pipa dalam tubuh bendungan) dengan mengitung kecepatan rembesan (aliran filtrasi) yang dihitung menggunakan jaringan aliran filtrasi dan membandingkannya dengan kecepatan kritis.

$$V_s = \frac{k \cdot h_2}{n} \quad (2)$$

Dengan:

- Vs : kecepatan rembesan
- k : koefisien filtrasi

- h_2 : tekanan air rata-rata
- l : panjang rata-rata berkas elemen aliran filtrasi pada bidang keluarnya aliran filtrasi
- n : porositas

$$Vc = \sqrt{\frac{w_1 \cdot g}{F \cdot Y}} \quad (3)$$

Dengan:

- c : kecepatan kritis
- w_1 : berat butiran bahan di dalam air
- g : gravitasi
- F : luas permukaan yang menampung aliran filtrasi
- Y : berat isi air

Pada referensi [5] dituliskan bahwa untuk mengetahui keamanan bendungan urugan terhadap erosi internal dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$FK = \frac{Ic}{Ie} \geq 4 \quad (4)$$

$$Ic = \frac{(Gs-1)}{(1+e)} \quad (5)$$

Dengan:

- FK : faktor keamanan
- Ic : gradien keluaran kritis
- Ie : gradien keluaran hasil analisis rembesan $\left(\frac{h_2}{l}\right)$
- Gs : berat spesifik
- e : angka pori

Analisis Stabilitas Lereng

R.F Craig dalam referensi [3] menyebutkan bahwa stabilitas lereng merupakan suatu faktor aman dalam pekerjaan geoteknik karena menyangkut persoalan keselamatan manusia, dan kelancaran pekerjaan. Pada umumnya ketidakstabilan pada lereng disebabkan oleh gaya-gaya gravitasi dan rembesan.

Perhitungan stabilitas lereng pada tubuh bendungan ini menggunakan program *Geo-Studio SLOPE/W* dengan metode *Fellinus*. Perhitungan stabilitas lereng ini dihitung dalam berbagai kondisi yaitu kondisi setelah selesai konstruksi, muka air banjir, muka air normal, dan *rapid drawdown* pada area hulu dan hilir bendungan yang dihitung dengan kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa termodifikasi OBE (*Operating Basis Earthquake*) dan MDE (*Maximum Design Earthquake*).

Menurut referensi [6], syarat faktor kermanan kondisi tanpa gempa harus $> 1,3$ dan pengecualian untuk kondisi $MAN > 1,5$. Sedangkan pada saat kondisi gempa OBE faktor keamanan harus $> 1,2$ dan minimal harus sama dengan 1 untuk kondisi gempa MDE. Apabila tidak memenuhi maka perlu dilakukan perkuatan pada lereng bendungan.

Pembuatan Metode Pelaksanaan dan RAB

Dari semua hasil analisis diatas maka akan diketahui desain yang paling aman serta ekonomis untuk main dam

Bendungan Semantok ini. Hasil tersebut dituangkan menjadi gambar rencana, spesifikasi yang juga dilengkapi dengan metode pelaksanaan, dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Rembesan

Garis depresi merupakan garis pemisah antara bagian jenuh air dan tidak jenis air dari suatu bendungan. Garis depresi didapatkan dari rumus parabola bentuk dasar yang didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h &= 27,328 \text{ m} \\ l_1 &= 5,46 \text{ m} \\ l_2 &= 14,04 - 5,46 \text{ m} = 8,58 \text{ m} \\ d &= (1/3 \times l_1) + l_2 = (1/3 \times 5,46) + 8,58 = 10,4 \text{ m} \\ y_0 &= \sqrt{h^2 + d^2} - d \\ &= \sqrt{27,328^2 + 10,4^2} - 10,4 = 18,840 \text{ m} \\ y &= \sqrt{2y_0x + y_0^2} \\ &= \sqrt{2(18,840)x + (18,840)^2} = \sqrt{37,680x + 354,947} \end{aligned}$$

Diperlukan penyesuaian titik dari parabola dasar ke garis aliran sesungguhnya menurut *Cassagrande* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 79^\circ \\ \alpha + \Delta\alpha &= \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} = \frac{18,572}{1 - \cos 79} = 22,951 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari grafik hubungan antara sudut bidang singgung (α) dengan $\frac{\Delta\alpha}{\alpha + \Delta\alpha}$ pada referensi [2] didapatkan $C = 0,276$.

$$\begin{aligned} C &= \frac{\Delta\alpha}{\alpha + \Delta\alpha} \\ \Delta\alpha &= (\alpha + \Delta\alpha) C = 22,951 \times 0,276 = 6,335 \text{ m} \\ \alpha &= 22,951 - 6,335 = 16,617 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan Zona 4 (random) dengan anggapan debit aliran aliran filtrasi konstan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_1 &= 1,351 \times 10^{-8} \text{ m/detik} \\ k_2 &= 2,314 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \\ Q &= k_1 \cdot y_0 \cdot L = k_2 \cdot h_2 \cdot L \\ h_2 &= \frac{k_1}{k_2} \cdot y_0 = \frac{1,351 \times 10^{-8}}{2,314 \times 10^{-6}} \cdot 18,840 = 0,110 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan parabola dasar diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned} y &= \sqrt{2 \cdot h_2 \cdot x + (h_2)^2} \\ &= \sqrt{2(0,110)x + (0,110)^2} = \sqrt{0,220x + 0,110^2} \end{aligned}$$

Tanah asli pondasi bendungan terdiri dari beberapa lapisan tanah, untuk mempermudah perhitungan maka perlu ditentukan nilai permeabilitas ekivalen horizontal dan vertikal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_{H(eq)} \text{ (Tanah Pondasi)} &= 9,909 \times 10^{-5} \text{ m/detik} \\ k_{V(eq)} \text{ (Tanah Pondasi)} &= 2,387 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \\ k \text{ (Tanah Pondasi)} &= \sqrt{k_{V(eq)} \cdot k_{H(eq)}} \\ &= \sqrt{9,909 \times 10^{-5} \cdot 2,387 \times 10^{-6}} \\ &= 1,538 \times 10^{-5} \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Menurut referensi [5] permeabilitas arah horizontal yang besarnya antara 4 – 9 kali permeabilitas vertikal.

$$\begin{aligned}
 k_v \text{ (Zona 4)} &= 2,312 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \\
 k_h \text{ (Zona 4)} &= 5 \times k_v = 5 \times 2,312 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \\
 &= 1,156 \times 10^{-5} \text{ m/detik} \\
 k \text{ (Zona 4)} &= \sqrt{k_{V(eq)} \cdot k_{H(eq)}} \\
 &= \sqrt{2,312 \times 10^{-6} \cdot 1,156 \times 10^{-5}} \\
 &= 5,170 \times 10^{-6} \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

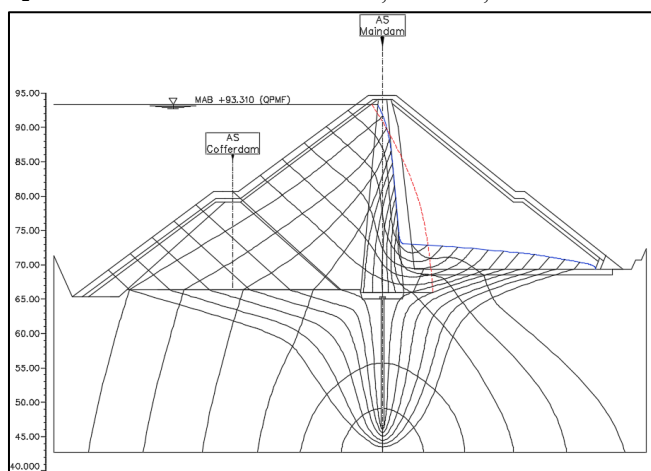
Tanah timbunan *main dam* merupakan tanah anisotropis. Pada penggambaran *flownet*, skala horizontal harus bernilai $\sqrt{k_v/k_H}$ kali dari skala vertikal.

$$\sqrt{k_v/k_H} = \sqrt{2,312 \times 10^{-6} / 1,156 \times 10^{-5}} = 0,447$$

atau setara dengan skala 1 : 2,236

Dalam penggambaran *flownet* (jaringan aliran filtrasi) bendungan terdapat perbedaan koefisien permeabilitas pada tubuh bendungan dengan pondasi bendungan sehingga perhitungan jaringan aliran filtrasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k \text{ (Tanah Pondasi)} &= 1,538 \times 10^{-5} \text{ m/detik} \\
 k \text{ (Zona 4)} &= 5,170 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \\
 \theta_1 &= 48^\circ \\
 \theta_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{K_1}{K_2} \tan \theta \right) \\
 \theta_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{1,538 \times 10^{-5}}{5,170 \times 10^{-6}} \tan 48^\circ \right) \\
 \theta_2 &= \tan^{-1} 3,304 = 73,161^\circ
 \end{aligned}$$



Gambar 1. Jaringan Trayektori pada Potongan Melintang Bendungan

Sumber: Hasil Analisis

$$\begin{aligned}
 k_v \text{ (Zona 1)} &= 1,351 \times 10^{-8} \text{ m/detik} \\
 k_h \text{ (Zona 1)} &= 5 \times 1,351 \times 10^{-8} \text{ m/detik} = 6,755 \times 10^{-8} \text{ m/detik} \\
 k \text{ (Zona 1)} &= \sqrt{1,351 \times 10^{-8} \cdot 6,755 \times 10^{-8}} = 3,021 \times 10^{-8} \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Dari percobaan pembuatan *flownet* didapatkan perhitungan kapasitas aliran filtrasi sebagai berikut:

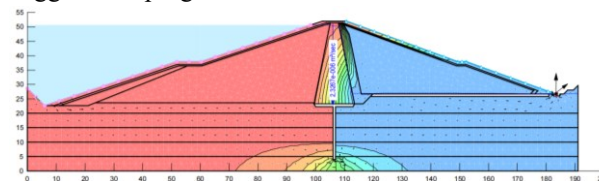
$$\begin{aligned}
 N_f &= 12 \\
 N_d &= 13 \\
 Q_f &= 12/13 \times 3,021 \times 10^{-8} \times 23,896 \times 177,52 \\
 &= 1,183 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$Q_f < 1\%$ dari debit sungai tahunan rata-rata

$$Q_f < 1\% \times 2,08 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,02080 \text{ m}^3/\text{detik}$$

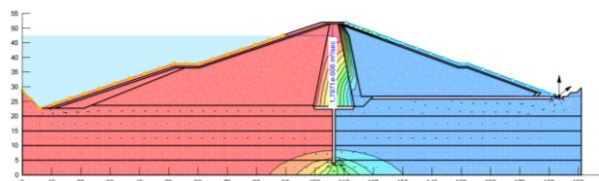
Sehingga, $1,183 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik} < 0,02080 \text{ m}^3/\text{detik}$ (Aman)

Berikut adalah hasil perhitungan besarnya kapasitas debit rembesan yang mengalir keluar dari tubuh bendungan menggunakan program *Geo-Studio SEEP/W 2012*.



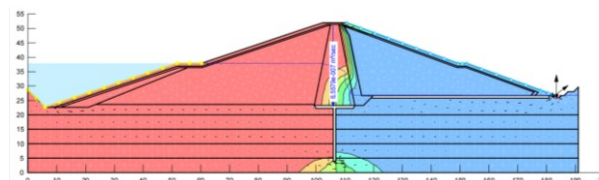
Gambar 2. Rembesan di Tubuh Bendungan dan Pondasi pada Kondisi Muka Air Maksimum atau Muka Air Banjir

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 3. Rembesan di Tubuh Bendungan dan Pondasi pada Kondisi Muka Air Maksimum atau Muka Air Banjir

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. Rembesan di Tubuh Bendungan dan Pondasi pada Kondisi Muka Air Minimum

Sumber: Hasil Analisis

Hasil analisis kapasitas rembesan yang menggunakan program *Geo-Studio SEEP/W 2012* diperoleh masing-masing kondisi muka air waduk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Muka Air Banjir} &: 2,3267 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Muka Air Normal} &: 1,7971 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Muka Air Minimum} &: 6,5579 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Semua hasil perhitungan kapasitas rembesan diatas dinyatakan aman karena $< 0,02080 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Analisis Kemungkinan Erosi Internal

Perhitungan kecepatan aliran filtrasi menggunakan jaringan aliran filtrasi yang telah dibuat sebelumnya.

$$V_s = \frac{k \cdot h_2}{n \cdot l} = \frac{3,021 \times 10^{-8} \cdot \frac{1,693}{9,026}}{0,518} = 1,093 \times 10^{-8} \text{ m/detik}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{w_1 \cdot g}}{\sqrt{F \cdot Y}} = \frac{\sqrt{5,644 \times 10^{-9} \cdot 980}}{\sqrt{5,945 \times 10^{-7} \cdot 1}} = 3,050 \times 10^{-2} \text{ m/detik}$$

Hasil dari perhitungan diatas menunjukkan kecepatan rembesan $<$ kecepatan kritis sehingga dapat disimpulkan tidak akan terjadi bahaya terhadap erosi internal.

$$G_s = 2,705$$

$$e = 1,075$$

$$I_c = \frac{(2,705-1)}{(1+1,075)} = 0,822 < 1$$

$$I_e = 0,188$$

$$FK = \frac{0,822}{0,188} = 4,384 > 4$$

Hasil perhitungan menunjukkan FK hitungan 4,384 > FK minimum yang diizinkan 4 sehingga dapat disimpulkan pada bendungan tidak terjadi peristiwa erosi internal.

Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng dianalisis menggunakan program *Geo-Studio SLOPE/W 2012* menggunakan metode *limit equilibrium Fellenius*. Analisis stabilitas lereng dihitung pada kondisi tanpa dan dengan beban gempa pada kondisi Setelah Kontruksi, Muka Air Banjir (MAB), Muka Air Normal (MAN), dan *Rapid Drawdown* (RDD) MAB ke MAM (Muka Air Minimum); MAB ke MAN; dan MAN ke MAM pada area hulu dan hilir bendungan.

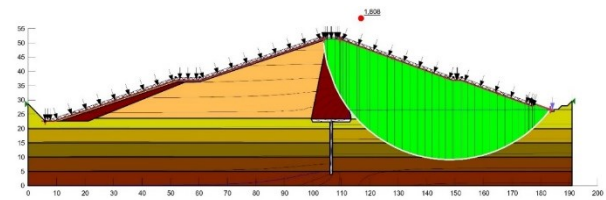
Hasil analisis stabilitas lereng tanpa beban gempa pada semua kondisi muka air pada bagian hulu dan hilir melebihi faktor keamanan minimum yang diizinkan yaitu 1,3 kecuali untuk Muka Air Normal (MAN) harus lebih dari 1,5.

Sesuai dengan perhitungan faktor dan kelas risiko, Bendungan Semantok termasuk dalam kelas IV (Ekstrem) sehingga kriteria beban gempa OBE menggunakan beban gempa dengan kala ulang 200 tahun, sedangkan untuk beban gempa MDE menggunakan kala ulang 10.000 tahun. Koefisien beban gempa didapatkan dari peta percepatan puncak di batuan dasar sesuai dengan kala ulang yang bisa dilihat pada referensi [7] yang telah dimodifikasi sesuai faktor amplikasi dan pengkondisian beban gempa Y/H (0,25; 0,50; 0,75; 1,00). Nilai koefisien beban gempa vertikal sebesar 2/3 koefisien beban gempa horizontal.

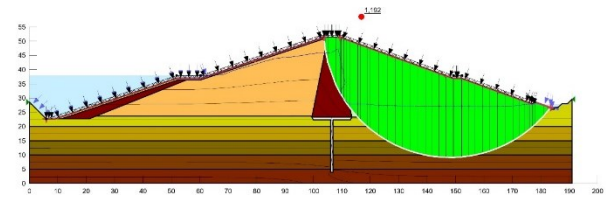
Hasil analisis stabilitas lereng dengan beban gempa kala ulang 200 tahun pada semua kondisi muka air pada bagian hulu dan hilir melebihi faktor keamanan minimum yang diizinkan yaitu 1,2 kecuali pada kondisi *rapid drawdown* Y/H 1,00 di bagian hulu dan hilir. Begitu pula untuk beban gempa kala ulang 10.000 tahun, pada kondisi Y/H 0,75 dan 1,00 (hulu dan hilir) hampir semua kurang dari faktor keamanan minimum yang diizinkan yaitu 1,00.

Oleh karena itu, diperlukan perkuatan tanah timbunan dengan *geogrid* untuk menambah faktor keamanan stabilitas lereng. Tipe *geogrid* yang dipakai yaitu benang *polyester* (PET) dengan *polymer black PVC* yang memiliki kuat tarik 1000 kN/m. Pemilihan *geogrid* tipe ini dikarenakan memiliki sifat rangkai yang kecil, pemasangannya cukup mudah, dan mampu memperpanjang umur rencana konstruksi hingga mencapai > 100 tahun. Pemasangan *geogrid* diletakkan pada zona 1,2, dan 4 dengan jarak pemasangan 0,8 meter pada zona 4 dan 0,9 meter pada zona 1 dan 2.

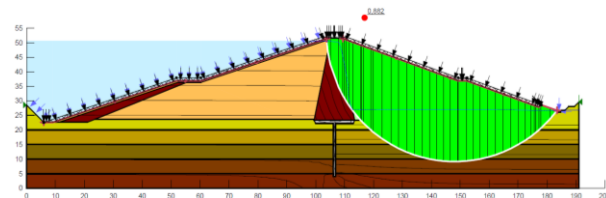
Berikut adalah contoh bidang longsor hasil analisis stabilitas lereng tanpa dan dengan beban gempa.



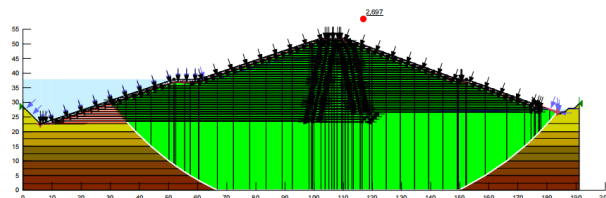
Gambar 5. Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Bagian Hilir Kondisi Setelah Konstruksi Tanpa Beban Gempa
Sumber: Hasil Analisis



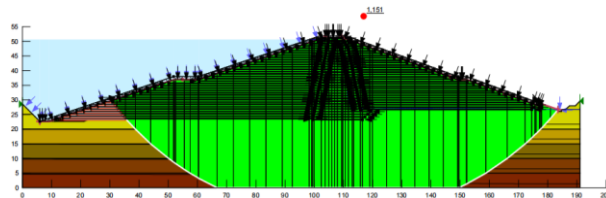
Gambar 6. Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Bagian Hilir Kondisi *Rapid Drawdown* MAB ke MAM dengan Beban Gempa Kala Ulang 200 Tahun (Y/H = 1,00)
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 7. Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Bagian Hilir Kondisi MAB dengan Beban Gempa Kala Ulang 10.000 Tahun (Y/H = 1,00)
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 8. Analisis Stabilitas Lereng Bendungan dengan Perkuatan (*Geogrid*) Bagian Hilir Kondisi *Rapid Drawdown* MAB ke MAM dengan Beban Gempa Kala Ulang 200 Tahun (Y/H = 1,00)
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 9. Analisis Stabilitas Lereng Bendungan dengan Perkuatan (*Geogrid*) Bagian Hilir Kondisi MAB dengan Beban Gempa Kala Ulang 10.000 Tahun (Y/H = 1,00)
Sumber: Hasil Analisis

Berikut adalah contoh faktor keamanan pada kondisi beban gempa kala ulang 10.000 tahun Y/H 1,00 pada hilir bendungan tanpa dan dengan perkuatan (*geogrid*).

Tabel 1. Faktor Keamanan Stabilitas Lereng

No.	Muka Air	Fk Min	FK Hasil (Tanpa Geogrid)	FK Hasil (Dengan Geogrid)
1.	Setelah Konstruksi	1,00	0,892	1,845
2.	MAB	1,00	0,882	1,151
3.	MAN	1,00	0,883	1,197
4.	RDD MAB-MAM	1,00	0,864	1,366
5.	RDD MAB-MAN	1,00	0,866	1,186
6.	RDD MAN-MAM	1,00	0,866	1,368

Sumber: Hasil Analisis

Metode Pelaksanaan Pekerjaan Tanah *Maindam*

Metode pelaksanaan pekerjaan galian tanah biasa dimulai dari STA 0+000 dan STA 1+700. Sedangkan galian timbunan zona 1,4,5 dan 6 diambil dari *quarry area* atau *borrow area* ke *stock pile*. Rincian alat berat untuk pekerjaan galian tanah adalah 7 *excavator*, 171 *dump truck*, 5 *bulldozer*, dan 6 *excavator + breaker*.

Sedangkan pekerjaan timbunan dimulai dari STA 0+000 dengan rincian alat berat 13 *excavator*, 19 *dump truck*, 1 *baby roller*, 1 *sheep foot roller*, 2 *smooth drum roller*, 5 *vibrator roller*, dan 5 *bulldozer*.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya yang akan dihitung disini meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan galian dan timbunan *main dam*. Analisis harga satuan pekerjaan dihitung berdasarkan Harga Satuan Dasar Kabupaten Nganjuk 2020 dan koefisien (material, bahan, dan alat) dari referensi [8]. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan galian dan timbunan *main dam* pada Bendungan Semantok STA 0+000 – STA 1+700 adalah sebesar Rp. 527.835.264.000,00.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan diantaranya:

- Besar kapasitas rembesan Bendungan Semantok.
 - Perhitungan manual sebesar $1,353 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$
 - Perhitungan dengan *Geo-Studio SEEP/W* 2012 diantaranya MAB $2,3267 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$, MAN $1,7971 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$, dan MAM $6,5579 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$

Semua hasil perhitungan kapasitas rembesan diatas dinyatakan aman karena $< 0,02080 \text{ m}^3/\text{detik}$.
- Perhitungan kecepatan aliran filtrasi didapatkan angka kecepatan rembesan ($V_s = 1,093 \times 10^{-8} \text{ m}/\text{detik}$) $<$ kecepatan kritis ($V_c = 3,050 \times 10^{-2} \text{ m}/\text{detik}$) sehingga tidak akan terjadi bahaya terhadap erosi internal.
- Faktor keamanan terhadap kemungkinan erosi internal pada dinyatakan aman dengan nilai sebesar $4,384 > 4$.
- Faktor keamanan stabilitas lereng Bendungan Semantok
 - Kondisi tanpa beban gempa: semua di atas FK izin

- Kondisi dengan beban gempa kala ulang 200 tahun: semua di atas FK izin kecuali kondisi rapid drawdown
 - Kondisi dengan beban gempa kala ulang 10.000 tahun: semua di atas FK izin, kecuali pada kondisi setelah konstruksi, MAB, dan MAN Y/H 0,75 dan 1,00 (hulu dan hilir), dan kondisi *rapid drawdown*
- Diperlukan perkuatan tanah timbunan dengan *geogrid* untuk menambah faktor keamanan stabilitas lereng yaitu *geogrid* jenis benang *polyester* (PET) dengan *polymer black PVC* yang memiliki kuat tarik 1000 kN/m. Pemasangan *geogrid* diletakkan pada zona 1,2, dan 4.
 - Metode pelaksanaan pekerjaan galian tanah biasa dimulai dari STA 0+000 dan STA 1+700, galian timbunan zona 1,4,5 dan 6 diambil dari *quarry area* atau *borrow area* ke *stock pile*. Sedangkan pekerjaan timbunan dimulai dari STA 0+000. Alat berat yang dibutuhkan diantaranya adalah *Excavator*, *Excavator+Breaker*, *Dump Truck*, *Baby Roller*, *Sheep Foot Roller*, *Smooth Drum Roller*, *Vibrator Roller*, dan *Bulldozer*.
 - Rencana Anggaran Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan galian dan timbunan *main dam* pada Bendungan Semantok STA 0+000 – STA 1+700 sebesar Rp. 527.835.264.000,00.

DAFTAR PUSTAKA

- Rifqi, Dhiya U, Zakaria, Zulfiadi & Muslim, Dicky. Jurnal Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Semantok di Jawa Timur pada Kondisi *Rapid Drawdown*. Jatinangor: Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.
- Sosrodarsono, DR. Suyono. 1977. Bendungan Tipe Urugan. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Craig, R.F & Susilo, Budi. 1989. Mekanika Tanah Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Sungai Danau dan Waduk. Desember 2005. Pedoman *Grouting* untuk Bendungan. Jakarta: Direktorat Sungai Danau dan Waduk.
- Simantu Kementerian PUPR. t.t. Modul Perencanaan Bendungan Urugan Tingkat Dasar. Jakarta: Simantu Kementerian PUPR.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI 8064 Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan. Jakarta: BSN 2016
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Jakarta: Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 28/PRT/M/2016. Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.