



Analisis Stabilitas Lereng Galian Waduk Brigif Terhadap Perbedaan Tinggi Muka Air Rencana

Ardha Dissa Avianza¹, Andikanoza Pradiptya², Putera Agung Maha Agung³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹ardhadissaa@gmail.com, ²andikanoza.pradiptya@sipil.pnj.ac.id*, ³putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id*

Abstract

Excavation is one of the works whose purpose is to adjust the existing surface height to the height of the planned surface and cause the value of the slope stability to decrease due to the loss of the natural soil retaining layer. Slope stability analysis is carried out with the aim of predicting changes in the value of safety numbers (SF) that occur as a result of excavation work. The excavations carried out are categorized as deep excavations with a depth of 8.16 m and are used terraces. Slope stability analysis using manual calculation of Simple Bishop method divided by 17 slices and application calculation using Geostudio-2012. Slope stability analysis is carried out during the service period with *low-high water level* conditions. The results of manual analysis at low water level conditions are predicted to have an SF value under normal conditions of 4.6 and when the condition is earthquake at 2.7. Meanwhile, the results of the analysis with the application obtained the results of predicting the SF value under normal conditions of 4.2 and in earthquake conditions of 2.6. However, analysis of high water level conditions is predicted to manually reduce the SF value of 2.5 under normal conditions and 1.6 in earthquake conditions. Then, using the application, the results of predicting the SF value at normal conditions of 2.5 and in earthquake conditions of 1.6 were obtained. In general, the stability of the slopes under review has safe conditions under normal conditions and earthquake conditions.

Keywords: *Excavation, Safety Factor, Slope Stability*

Abstrak

Galian merupakan salah satu pekerjaan yang tujuan menyesuaikan ketinggian permukaan yang ada dengan ketinggian permukaan rencana dan menyebabkan nilai dari stabilitas lereng berkurang dikarenakan hilangnya lapisan penahan tanah alami. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan tujuan memprediksikan perubahan nilai angka keamanan (SF) yang terjadi akibat dilakukannya pekerjaan galian. Penggalian yang dilakukan dikategorikan sebagai galian dalam dengan kedalaman 8,16 m dan digunakan terasering. Analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana dengan dibagi 17 irisan dan perhitungan aplikasi menggunakan Geostudio-2012. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada masa layan dengan kondisi *low-high water level*. Hasil analisis manual pada kondisi muka air rendah diprediksikan memiliki nilai SF pada kondisi normal sebesar 4,6 dan saat kondisi gempa sebesar 2,7. Sedangkan, hasil analisis dengan aplikasi didapatkan hasil prediksi nilai SF pada kondisi normal sebesar 4,2 dan pada kondisi gempa 2,6. Kemudian, analisis pada kondisi muka air tinggi diprediksikan nilai SF secara manual sebesar 2,5 pada kondisi normal dan 1,6 pada kondisi gempa. Lalu, dengan menggunakan aplikasi didapatkan hasil prediksi nilai SF pada kondisi normal sebesar 2,5 dan pada kondisi gempa sebesar 1,6. Pada umumnya, stabilitas dari lereng yang ditinjau memiliki kondisi yang aman pada kondisi normal dan kondisi gempa bumi.

Kata kunci: Faktor Keamanan, Penggalian, Stabilitas Lereng

Diterima Redaksi : 08-08-2022 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

Sebuah metode yang diperlukan untuk menyesuaikan tinggi permukaan asli dengan permukaan rencana adalah pekerjaan galian [1]. Hasil dari sebuah pekerjaan galian adalah pembentukan permukaan/lereng tanah buatan yang baru yang memiliki beda ketinggian diantara sisi lainnya [2]. Namun, pekerjaan galian menyebabkan bertambahnya deformasi lereng terhadap tegangan geser tanah dan kuat geser yang dimiliki tanah bernilai relatif tetap pada sisi galiannya sehingga mengurangi stabilitas dan nilai faktor keamanannya [3].

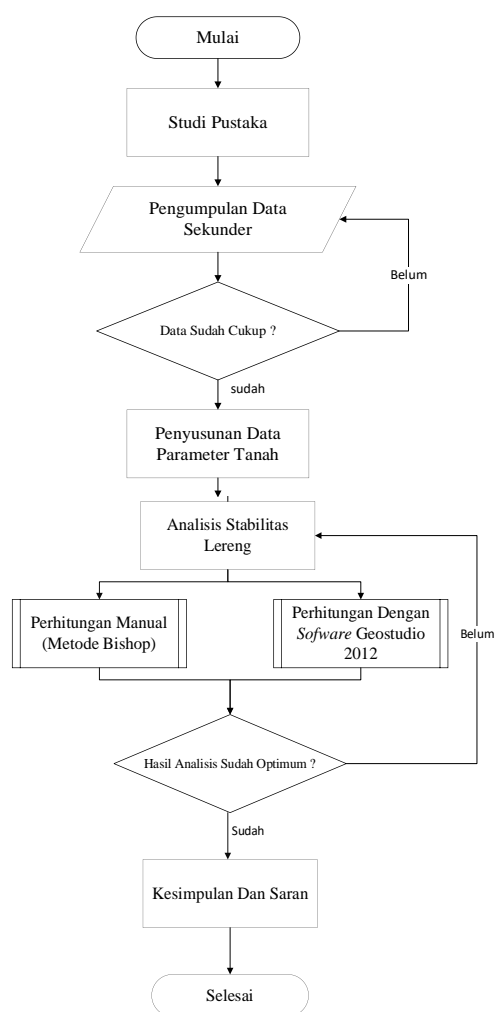
Permasalahan dalam stabilitas lereng adalah desain dan konstruksi galian yang tidak menggunakan perkuatan adalah massa tanah yang berada pada sisi miring galian dibawah permukaan tanah mengalami pergerakan ke arah bawah dan ke arah luar yang disebabkan oleh gravitasi [4]. Oleh karena itu, diperlukan analisis stabilitas lereng galian pada Proyek Pembangunan Waduk Brigif, Kelurahan Cempedak, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan, yang melakukan banyak pekerjaan galian dan dibutuhkan analisis untuk penanggulangan kelongsoran yang baik dan memiliki solusi secara tuntas dalam menganalisis besaran gaya



pendorong dan penahan tanah atau keseimbangan gaya yang bekerja dengan biaya penanggulangan yang ekonomis [5].

Pada analisis stabilitas lereng galian yang dilakukan memiliki tujuan menganalisis stabilitas lereng galian terbuka pada lokasi yang ditinjau sesuai dengan peraturan yang berlaku dan perencanaan konstruksi untuk memprediksikan stabilitas dan nilai faktor keamanan pada masa layan waduk dengan kondisi *low water level* dan *high water level* Waduk Brigif dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012. Selain itu, analisis stabilitas lereng juga merupakan salah satu ketentuan yang diharuskan untuk dimasukkan kedalam laporan investigasi geoteknik pada bahaya gempa [6].

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari literatur yang berhubungan dan dilakukan secara bersamaan dengan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian, dilakukan penyusunan data parameter tanah untuk membantu proses analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop

Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan hasil akhir adalah prediksi dari nilai faktor keamanan stabilitas lereng Waduk Brigif.

2.1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Lokasi
 Sumber: PT. Brantas Abipraya

Penelitian ini memiliki lokasi di Proyek Pembangunan Waduk Brigif, Kelurahan Cempedak, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan, dengan lokasi lereng galian yang ditinjau berada pada STA 0+125.

2.2. Stabilisasi dengan Terasering

Berdasarkan penelitian [7], meneliti tentang pengaruh penggunaan terasering pada stabilitas lereng yang dipengaruhi oleh pembasahan tanah akibat adanya hujan dengan durasi yang bervariasi. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan penggunaan terasering dapat meningkatkan prediksi nilai faktor keamanan sebesar 22,8% dari keadaan eksisting pada intensitas hujan maksimum. Hal ini disebabkan oleh adanya pengurangan sudut lereng yang semakin landai sehingga pergerakan tanah oleh massa tanah menjadi berkurang [7].

Berdasarkan penelitian tersebut, digunakan terasering dalam proses desain lereng sebagai penanggulangan stabilitas lereng yang akan berhadapan langsung dengan air setiap waktunya. Pada desain lereng yang di analisis digunakan 2 terasering dengan sudut lereng 44°. Diharapkan dengan digunakannya terasering tersebut akan menambah nilai faktor keamanan dari lereng pada kondisi normal dan gempa bumi.

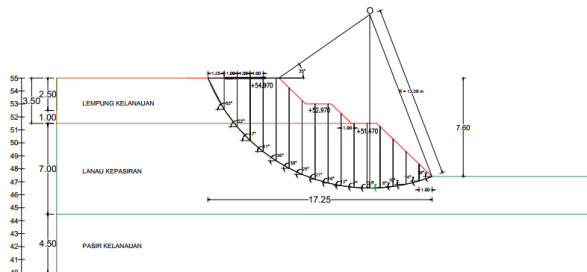
2.3. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng yang dilakukan menggunakan dasar dari keseimbangan batas terhadap gaya-gaya yang mampu menimbulkan keruntuhan lereng dengan nilai faktor keamanan kritis [8] yang dihasilkan dari membandingkan nilai dari tegangan geser tanah dan tegangan normal pada kondisi kritis [9] dan bukan hanya perbandingan pada kondisi maksimum saja sesuai dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb [10].

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Dengan:

- c = kohesi
- ϕ = sudut geser dalam ($^{\circ}$)



Gambar 3. Permodelan Irisan Analisis Stabilitas Lereng

Pada analisis stabilitas lereng galian dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana di mulai dengan mencari titik pusat longsor dengan perbandingan lereng yang di dapat 1V : 1,5H dengan titik pusat longsor O dengan panjang $R = 13,38 \text{ m}$ dan sudut $\alpha = 35^{\circ}$ dan $\beta = 26^{\circ}$ dan dilanjutkan dengan membuat irisan setiap bidang longsor seperti **Gambar 3** dengan jumlah irisan sebanyak 17 irisan. Pada perhitungan dengan metode ini, digunakan rumus untuk mencari nilai faktor keamanan adalah sebagai berikut:

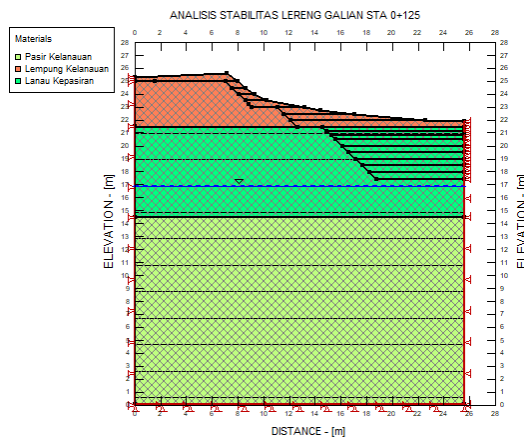
$$FK_{bu} = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi']}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \quad (2)$$

Dan untuk kondisi gempa, yaitu:

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + [(w_n - u_n b_n) f_h \sin a] \tan \phi)}{(w_n - f_v) \sin a + f_h \cos a} \frac{1}{m_{a_n}} \quad (3)$$

Dengan:

- FK_{bu} = faktor keamanan lereng Bishop dengan rembesan
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif ($^{\circ}$)
- b_n = lebar irisan ke-n (m)
- W_n = berat irisan tanah ke-n (kN)
- α_n = sudut yang didefinisikan ($^{\circ}$)
- u_n = tekanan air pori pada irisan tanah ke-n (kN/m^2)



Gambar 4. Permodelan Eksisting STA 0+125

Pada analisis stabilitas lereng galian menggunakan aplikasi Geostudio-2012 dimulai dengan permodelan dari kondisi eksisting lokasi yang ditinjau dari hasil pemetaan lapangan dan data penyelidikan tanah untuk memasukan parameter tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan ke dalam aplikasi. Selanjutnya, dari permodelan dan beban rencana yang akan membebani lereng di analisis dengan sub-program *SLOPE/W* mencari prediksi nilai faktor keamanan dari lereng yang ditinjau. Pada kasus penelitian yang dilakukan, diperlukan analisis prediksi untuk tekanan air pori yang terjadi dengan sub-program *SEEP/W* dan kemudian dilanjutkan dengan sub-program *SLOPE/W*.

Penelitian ini, dilakukan dengan dua metode perhitungan yaitu perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan harapan dapat hasil prediksi nilai dari stabilitas lereng dan faktor keamanan lereng yang ditinjau secara akurat dan dapat memperkuat hasil dari analisis yang dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter Tanah

Parameter tanah didapatkan berdasarkan hasil korelasi dari data penyelidikan tanah yang terdekat dengan lokasi tinjauan yaitu data boring log-1 dengan kedalaman data 15 m dan terdapat 3 lapisan tanah. Hasil dari korelasi parameter tanah yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Korelasi Parameter Tanah Boring Log-1

	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Satuan
	0 - 3,5	3,5 - 10,5	10,5 - 15	m
<i>Model</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	-
<i>Type</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	-
γ_m	17	18	19	kN/m^3
γ_{sat}	19	20	21	kN/m^3
E	7000	12000	12000	kN/m^2
C	12	55	5	kN/m^2
v	0,3	0,4	0,3	-
K_x	1,E-05	1E-03	1E-04	m/hari
ϕ	32	32	38	$^{\circ}$

Berdasarkan **Tabel 1**, didapatkan hasil dari nilai korelasi data N-SPT yang akan digunakan pada proses analisis stabilitas lereng galian. Data tersebut terdapat 3 jenis lapisan tanah yaitu lapisan pertama adalah lempung kelanauan, lapisan kedua adalah lanau kepasiran, dan lapisan ketiga adalah pasir kelanauan.

3.2. Pembebanan

Beban yang diperhitungkan adalah beban dari rencana yang akan membebani lereng selama masa layan Waduk Brigif.

3.2.1. Pembebanan Masa Layan Waduk

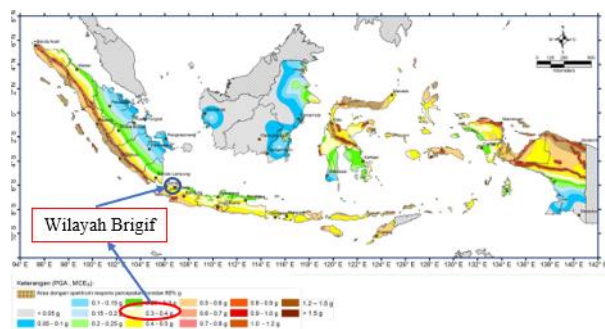
Pada masa layan Waduk Brigif, akan dibangun jalan yang memiliki fungsi sebagai jalan bagi pengunjung dan juga sebagai jalur inspeksi pengelola dalam melakukan pemeliharaan dan perawatan Waduk Brigif. Beban masa layan adalah sebagai berikut:

Beban Pelaksanaan	Berat Volume
Perkerasan	9,69 kN/m ²
Lalu lintas	10 kN/m ²
Total Beban	19,69 kN/m ²

Beban yang diperhitungkan adalah beban struktur perkerasan, beban lalu lintas, dan beban air waduk. Pada perhitungan beban air waduk dimodelkan sebagai rembesan pada perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan dimodelkan sebagai beban air dengan ketinggian sesuai dengan rencana pada aplikasi Geostudio-2012.

3.2.2. Beban Gempa

Berdasarkan peraturan SNI 1726-2019, analisis stabilitas lereng merupakan salah satu ketentuan dari laporan investigasi geoteknik pada evaluasi bahaya gempa, maka dilakukan pembebanan terhadap gaya gempa yang terjadi.



Kriteria beban gempa yang didapat berdasarkan **Gambar 5**, adalah Waduk Brigif termasuk kedalam wilayah dengan kelas situs tanah sedang (SD) dengan beban gempa (PGA) yang digunakan 0,4 g dan koefisien

situs gempa (F_{PGA}) adalah 1,2, maka didapatkan beban gempa:

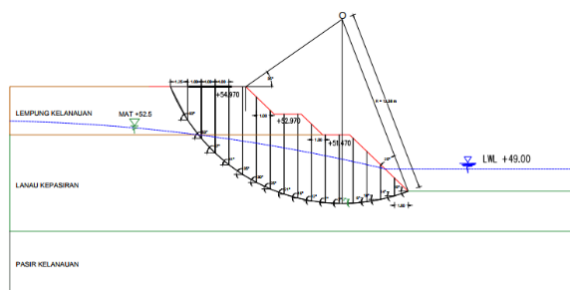
$$k_h = 0,5 \times 0,48 \text{ g/g} = 0,24$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan beban gempa pada lokasi penelitian adalah sebesar $k_h = 0,24$.

3.3. Analisis Stabilitas Lereng Metode Bishop Sederhana

Analisis stabilitas dengan metode ini adalah metode perhitungan dengan *trial and error* dalam memprediksikan nilai faktor keamanan untuk nilai dari FK_b . Oleh karena itu, akan dicoba beberapa nilai untuk mencari nilai dengan hasil yang sama ataupun mendekati dari hasil perhitungan.

3.3.1. Kondisi Low Water Level



Gambar 6. Permodelan Irisian Kondisi LWL

Pada **Gambar 6**, adalah permodelan lereng pada kondisi muka air rendah rencana yang berada pada elevasi +49,00 dan muka air tanah pada elevasi +52,50. Berdasarkan permodelan diatas, didapatkan hasil prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 4,00 = FK_{bu} = \frac{1756,11}{378,50} = 4,64$$

$$FK_{bu}: 4,45 = FK_{bu} = \frac{1758,25}{378,50} = 4,65$$

$$FK_{bu}: 4,65 = FK_{bu} = \frac{1759,09}{378,50} = 4,65$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng di atas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi normal sebesar 4,65. Sedangkan prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa adalah sebagai berikut:

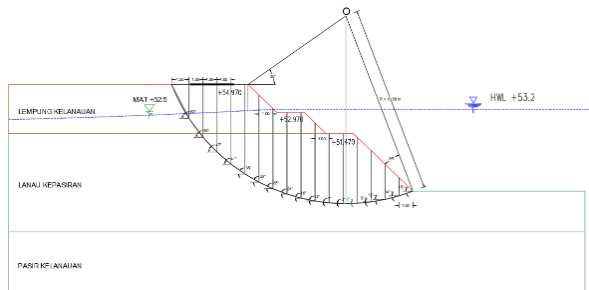
$$FK_{bu}: 2,22 = \frac{1765,94}{378,50 + 265,75} = 2,53$$

$$FK_{bu}: 2,65 = \frac{1771,33}{378,50 + 265,75} = 2,75$$

$$FK_{bu}: 2,75 = \frac{1772,38}{378,50 + 265,75} = 2,75$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian di atas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan pada kondisi gempa sebesar 2,75.

3.3.2. Kondisi High Water Level



Gambar 7. Permodelan Irisan Kondisi HWL

Pada **Gambar 7**. Adalah permodelan lereng pada kondisi muka air tinggi rencana dengan elevasi +53,20 dan muka air tanah dengan elevasi +52,50. Berdasarkan permodelan diatas, didapatkan hasil prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 2,36 = FK_{bu} = \frac{868,73}{338,36} = 2,57$$

$$FK_{bu}: 2,53 = FK_{bu} = \frac{855,97}{338,36} = 2,53$$

$$FK_{bu}: 2,83 = FK_{bu} = \frac{856,47}{306,36} = 2,80$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian diatas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi normal sebesar 2,53. Sedangkan prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 1,30 = \frac{888,95}{338,36 + 202,86} = 1,64$$

$$FK_{bu}: 1,45 = \frac{893,34}{338,36 + 202,86} = 1,65$$

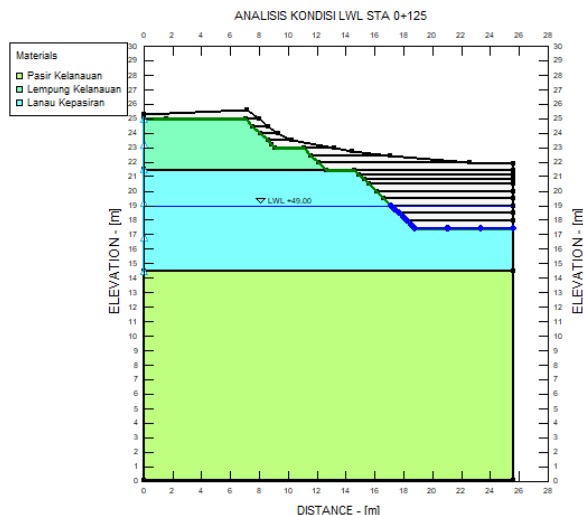
$$FK_{bu}: 1,66 = \frac{898,23}{338,36 + 202,86} = 1,66$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian diatas, didapat hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi gempa adalah sebesar 1,66.

3.4. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Geostudio-2012

Analisis stabilitas lereng galian dengan Geostudio-2012 dimulai dengan permodelan lereng dan memasukan material tanah sesuai dengan **Tabel 1**. yang kemudian digunakan sub-program *SEEP/W* untuk menganalisis tekanan air pori yang terjadi dan digunakan sub-program *SLOPE/W* untuk menganalisis stabilitas lereng dengan hasil akhir adalah nilai faktor keamanan lereng.

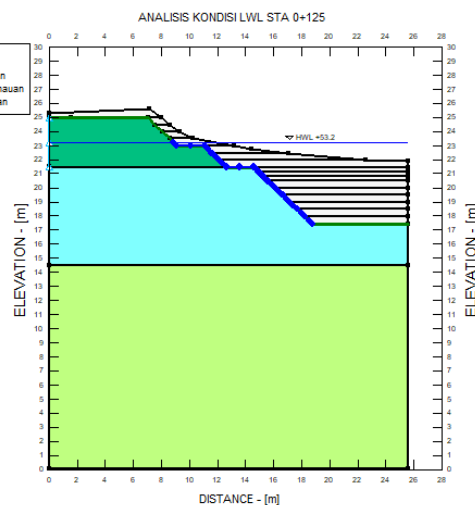
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.381>



Gambar 8. Permodelan Lereng Pada Kondisi LWL

Pada kondisi muka air rendah rencana selama masa layan waduk dimodelkan berada pada elevasi +49,00 sesuai dengan data yang diperoleh.

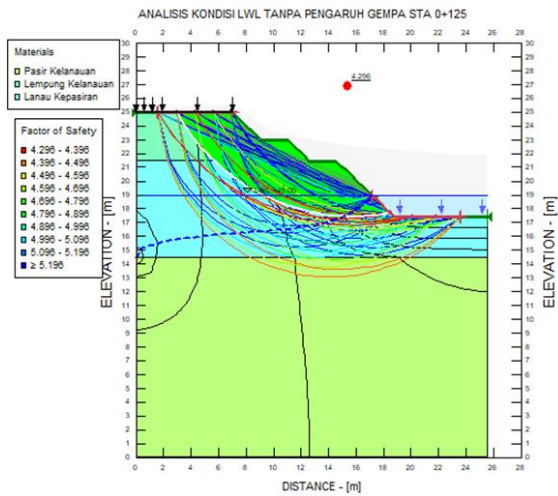
Sedangkan pada kondisi muka air tinggi rencana dimodelkan air berada pada elevasi +53,20 sesuai dengan data. Permodelan lereng untuk muka air tinggi adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Permodelan Lereng Kondisi HWL

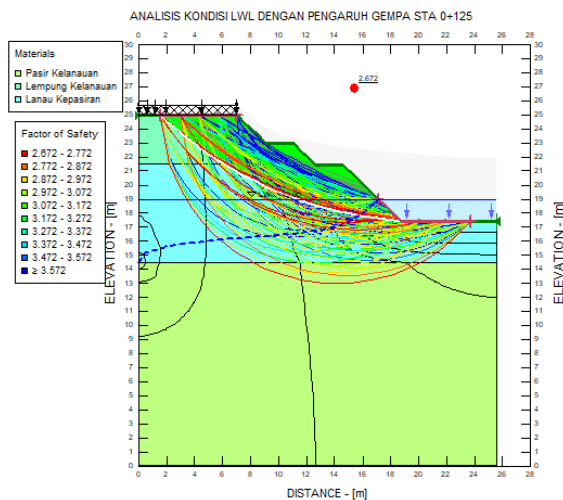
Berikut adalah analisis stabilitas lereng galian dengan menggunakan aplikasi Geostudio-2012:

3.4.1. Kondisi *Low Water Level*



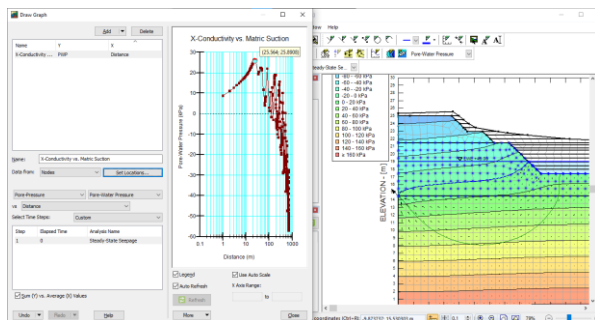
Gambar 10. Prediksi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Normal

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng galian terbuka pada kondisi normal di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan sebesar $4,296 > 1,25$ dan lereng dapat dikatakan stabil.



Gambar 11. Prediksi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Gempa

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa bumi di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan sebesar $2,672 > 1,1$. Oleh karena itu, lereng dapat dikatakan stabil.



Gambar 22. Prediksi Tekanan Air Pori

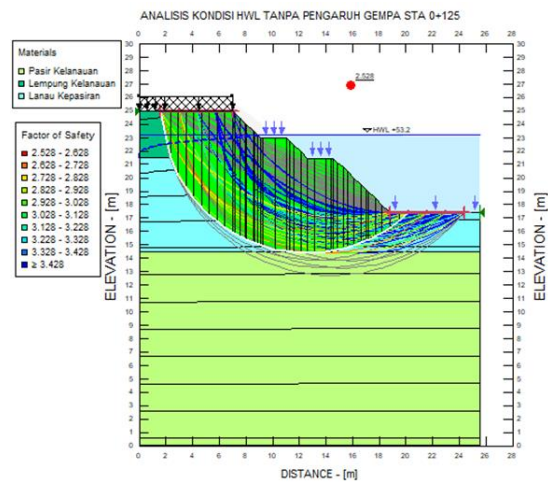
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.381>

Gambar 12. menunjukkan prediksi nilai tekanan air pori yang terjadi sebesar $25,564 \text{ kPa}$ dengan perhitungan tekanan air pori adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 u &= (H_{MAT} - H_{air \text{ rencana}}) \times \gamma_{air} \\
 &= (52,5 - 49) \times 9,81 \\
 &= 34,335 \text{ kPa} > 25,564 \text{ kPa}.
 \end{aligned}$$

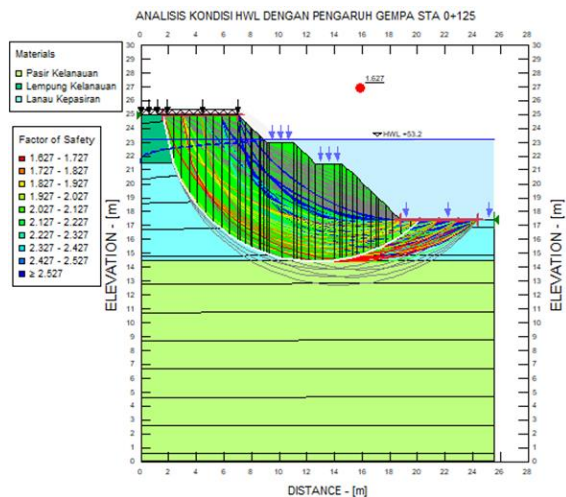
Berdasarkan perhitungan diatas, prediksi tekanan air pori yang terjadi masih lebih kecil dari prediksi batas tekanan air pori sehingga dapat dikatakan aman dari kelongsoran terhadap tekanan air pori.

3.4.2. Kondisi *High Water Level*



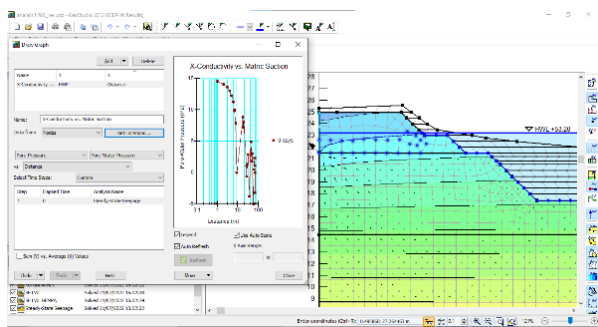
Gambar 13. Prediksi Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Normal

Gambar 13. Menunjukkan bahwa hasil prediksi analisis stabilitas lereng terhadap nilai faktor keamanan sebesar $2,528 > 1,25$ sehingga lereng dapat dikatakan stabil terhadap kelongsoran.



Gambar 14. Prediksi Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Gempa

Berdasarkan hasil analisis diatas, di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan pada kondisi gempa yaitu sebesar $1,627 > 1,1$ sehingga lereng masih stabil terhadap kelongsoran pada kondisi gempa bumi.



Gambar 153. Prediksi Tekanan Air Pori

Pada **Gambar 15**, menunjukkan bahwa prediksi nilai tekanan air pori yang terjadi sebesar 14,505 kPa dengan batas tekanan air pori yang dapat di hitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} u &= (H_{MAT} - H_{air\ rencana}) \times \gamma_{air} \\ &= (52.5 - 53.2) \times 9.81 \\ &= -6.867 < 14.505\ kPa \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, di dapatkan hasil prediksi tekanan air pori negatif yang mengakibatkan tegangan efektif tanah dan stabilitas tanah bertambah [11].

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa penggunaan terasering mampu menambah nilai stabilitas lereng galian terbuka terhadap beban selama masa layan berdasarkan analisis stabilitas lereng galian yang dilakukan dengan metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan didapatkan hasil prediksi analisis pada setiap ketinggian muka air rencana saat kondisi normal dan kondisi gempa bumi masih lebih besar dari batas izin nilai faktor keamanan setiap kondisinya sehingga lereng dapat dikatakan stabil terhadap kelongsoran dengan intensitas kelongsoran jarang terjadi. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa lereng masih stabil walaupun batas jarak yang terdapat di lokasi penelitian tidak sesuai dengan batas jarak untuk galian terbuka sesuai dengan peraturan yang berlaku.

5. Daftar Rujukan

- [1] A. Jihans, Amanullah and I. A. Sofian, “Analisa Stabilitas Lereng Galian Pada Proyek Pembangunan Tol Semarang Batang Sta 430 + 300,” Semarang, 2017.

- [2] S. Wulandari, “Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium) Dan Elemen Hingga (Finite Element) Nuryanto,” Vol. 16, No. 1, 2017.
- [3] SNI-8460-2017, “Persyaratan perancangan geoteknik.” [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [4] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. 1987.
- [5] A. Gazali, A. Sidiq, And A. Surya, “Analisis Stabilitas Lereng Dan Penanggulangan Longsoran Menggunakan Program Plaxis V.8.2,” *Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, *SNI-1726-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. 2019.
- [7] I. Hoesain, D. Supriadi, I. Ashari, T. Sulistyowati, and A. Prabowo, “Analisa Pengaruh Metode Terasering Pada Stabilitas Lereng Menggunakan Geoslope/W6 Analysis of Effect Terracing Method on Slope Stability by Geostudio V.6 Software,” *Spektrum Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 108–116, 2018.
- [8] H. Mulyanto, “Analisis Kestabilan Lereng Pada Batuan Lapuk Menggunakan Kriteria Keruntuhan Generalized Hoek-Brown Dan Mohr-Coulomb Ekuivalen (Slope Stability Analysis Of Weathered Rock Applying Generalized Hoek-Brown And Equivalent Mohr-Coulomb Failure Criterion),” *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 39, no. 1, pp. 30–43, 2022.
- [9] P. C. L. Lengkon, S. Monintja, J. E. R. Sumampouw, and A. N. Sarajar, “Hubungan Kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer Pada Ruas Jalan Wori-Likupang Kabupaten Minahasa Utara,” *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 5, 2013.
- [10] I. N. Hamdan and D. S. Pratiwi, “Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600,” *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [11] D. D. Mellawati, “Analisa Stabilitas Lereng Di Perbukitan Sekaran Semarang Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis,” Universitas Negeri Semarang, 2017.