

ANALISIS LERENG VILLA FUMIDA DESA KUTA KAMPUNG BABAKAN MEGAMENDUNG BOGOR

Arya Adika Riyansyah^{1*}, Rinda Karlinasari², & M. Faiqun Ni'am³

¹, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang ^{2,3} Dosen Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

*Corresponding author e-mail: aryaadikariyansyah@gmail.com

ABSTRACT

The rainy season that occurs in parts of Indonesia is a season where there is great concern about landslides, such as in Lampung and in Bandung, several luxury houses in a housing complex experienced very serious landslides, even the house right on the slope seemed to disappear into the ground, resulting in several Other houses were also badly damaged. As a result of this incident, the homeowner suffered major losses due to the landslide. The method for analyzing landslides or slopes is currently very easy to learn, because today's technology is increasingly sophisticated, it can be analyzed using software, such as geostudio, plaxis, and so on. Meanwhile, for this research, we used geostudio software Seep/W and Slope/W, where we analyzed data from the field with rainy conditions for 6 hours using Seep/W, and we analyzed the SF using Slope/W. The results of the analysis of rainwater infiltration on the slopes show that the safety factor is decreasing due to rain for 6 hours. On the slope before it rains, the slope safety factor value is 1.296. Meanwhile, in conditions of 6 hours of rain, the slope safety factor decreases by 6.48% to 1.212. So from table 2.3 it can be classified that the initial slope before the rain has a value of > 1.25, which means that the landslide intensity rarely occurs or the slope is stable. Meanwhile, after it rains, the slope becomes critical because the safety factor value is < 1.25. Reinforcement of stone masonry retaining walls has a safety factor value against overturning of 3.20 or ≥ 1.5 , which means that the retaining wall is safe against overturning. Meanwhile, the safety factor value against sliding is 24.72 or ≥ 1.5 , which means that the retaining wall is safe against shifting. The Q_{max} value is 1.21 kN/m² and Q_{all} is 90.45 kN/m², which means that the bearing capacity of the soil is able to withstand the stone masonry retaining wall because $Q_{max} < Q_{all}$. The results of the analysis of rainwater infiltration on the slopes and retaining walls of river stone masonry show that the safety factor before rain has an SF value of 1.627. Meanwhile, under 6 hours of rain, the SF value experienced a small decrease of 0.001 to 1.626. Or around 0.06%. From the research results, it was found that the modeling with the presence of DPT resulted in water entering the slope not penetrating the retaining wall, and flowing directly to the surface of the retaining wall, so that no water rose to the surface of the slope, and the SF value could be said to be stable.

Keywords : *Infiltration Analysis, Slope, Landslide*

ABSTRAK

Musim hujan yang terjadi disebagian wilayah Indonesia merupakan musim yang sangat dikhawatirkan akan terjadinya longsor, seperti di Lampung dan di Bandung, beberapa rumah mewah didalam suatu komplek perumahan mengalami longsoran yang sangat parah, bahkan rumah yang persis diatas lereng tersebut seperti hilang kedalam tanah sehingga mengakibatkan beberapa rumah lainnya juga rusak parah. Akibat dari kejadian itu pemilik rumah pun mengalami kerugian yang besar akibat longsoran tersebut. Untuk metode analisa tanah longsor atau lereng saat ini sangat mudah dipelajari, karena semakin canggihnya teknologi saat ini, maka dapat dianalisa dengan menggunakan software atau perangkat lunak, seperti geostudio, plaxis, dan lain sebagainya. Sedangkan untuk penelitian ini menggunakan perangkat lunak geostudio Seep/W dan Slope/W, yang mana data dari lapangan kita analisa dengan kondisi hujan selama 6 jam menggunakan Seep/W, serta kita analisa SF nya menggunakan Slope/W. Hasil analisis infiltrasi air hujan pada lereng menunjukkan safety factor semakin menurun akibat hujan selama 6 jam. Pada lereng sebelum hujan, nilai safety factor lereng adalah 1,296. Sedangkan pada kondisi 6 jam hujan menyebabkan safety factor lereng turun sebesar 6,48% menjadi sebesar 1,212. Maka dari tabel 2.3 bisa diklasifikasikan bahwa lereng initial sebelum hujan tersebut bernilai > 1,25, yang berarti Intensitas longsor jarang terjadi terjadi atau lereng stabil. Sedangkan setelah hujan lereng menjadi kritis karena nilai safety factor nya < 1,25. Perkuatan dinding penahan tanah pasangan batu kali memiliki nilai faktor aman terhadap penggulingan sebesar 3,20 atau $\geq 1,5$, yang berarti dinding penahan tanah tersebut aman terhadap penggulingan. Sedangkan untuk nilai faktor aman terhadap geser sebesar 24,72 atau $\geq 1,5$, yang berarti dinding penahan tanah tersebut aman

terhadap pergeseran. Untuk Nilai Q_{max} sebesar 1,21 kN/m² dan Q_{all} sebesar 90,45 kN/m², yang artinya daya dukung tanah mampu menahan dinding penahan tanah pasangan batu kali karena $Q_{max} < Q_{all}$. Hasil analisis infiltrasi air hujan pada lereng dan dinding penahan tanah pasangan batu kali, menunjukkan safety factor sebelum hujan mempunyai nilai SF 1,627. Sedangkan kondisi 6 jam hujan nilai SF nya mengalami penurunan kecil 0,001 menjadi 1,626 atau sekitar 0,06 %. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa pada permodelan dengan adanya DPT mengakibatkan air yang masuk ke lereng tidak akan tembus ke dinding penahan tersebut, dan langsung dialirkan ke permukaan dinding penahan tanah, sehingga tidak ada air yang naik ke permukaan lereng, dan nilai SF nya bisa dikatakan stabil.

Kata Kunci : analisis infiltrasi, lereng, longsor

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Musim hujan yang terjadi di sebagian wilayah Indonesia merupakan musim yang sangat dikhawatirkan akan terjadinya longsor, seperti di Bogor, tepatnya di kecamatan Megamendung, Desa Kuta Kampung Babakan, terdapat sebuah villa yakni Villa Fumida yang berlokasi di sebuah lereng, dengan kemiringan yang dapat menjadi penyebab longsor terjadi.

Daerah Puncak Bogor adalah daerah yang sangat rawan akan terjadi longsor, karena kebanyakan daerah di sana adalah daerah tebing yang bertingkat elevasinya, sehingga banyak dijadikan investor sebagai nilai plus untuk view pembuatan villa ataupun hunian. Tidak sedikit terjadi kelongsoran akibat tidak adanya perhitungan dalam membangun sebuah gedung diatas tanah lereng tersebut. Bahkan banyak juga yang mengacuhkan masalah longsor tersebut dengan dalih ingin lebih menghemat biaya tanpa membangun dinding penahan tanah ataupun bangunan penahan longsor lainnya.

Untuk mengetahui faktor keamanan lereng dilokasi penelitian dibutuhkan suatu analisis stabilitas lereng yang dapat memodelkan sesuai dengan kondisi asli di lapangan agar terjadi kondisi pendekatan dalam hasil analisis dan memudahkan dalam memodelkan penanganannya, salah satunya dengan menggunakan program Geostudio Seep/W.

Geostudio Seep/W digunakan untuk menganalisis rembesan yang terjadi pada lapisan tanah akibat adanya beda tinggi energi total akibat proses infiltrasi air hujan. Untuk studi kasus ini, kita menggunakan Software Geostudio Seep/W dan Slope/W yang bertujuan untuk menganalisa lereng pada saat hujan atau musim hujan, dan stabilitas lereng, karena lokasi tersebut terkenal dengan nama kota hujan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana nilai Safety Factor lereng Villa Fumida dalam kondisi hujan 6 jam, serta Safety Factor penanganannya berupa dinding penahan tanah pasangan batu kali.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup penelitian serta keterbatasan sumber daya dan kemampuan, diperlukan batasan yang menjadi fokus penelitian, yaitu sebagai berikut:

- a. Lokasi Penelitian berada di Villa Fumida, Desa Kuta Kampung Babakan, Kecamatan Megamendung, Puncak, Kabupaten Bogor.
- b. Penelitian difokuskan hanya pada titik lokasi Villa Fumida.
- c. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program Geostudio Seep/W, slope/W, dan parameter tanah berdasarkan hasil uji laboratorium.
- d. Penelitian ini tidak menghitung beban gempa, beban diatas lerengnya atau beban bangunan diatasnya.
- e. Untuk cross section dinding penahan tanah sudah ditentukan yaitu panjang 23 meter.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui safety factor stabilitas lereng dengan menggunakan data tanah yang diambil dari lokasi Villa Fumida, baik tanpa dinding penahan tanah, maupun dengan dinding penahan tanah pada Desa Kuta Kampung Babakan, Kec. Megamendung, Puncak, Kab. Bogor dengan menggunakan program Geostudio Seep/W dan Slope/W.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis stabilitas lereng secara numerik ditinjau dari perubahan ketinggian muka air tanah akibat pengaruh intensitas curah hujan selama 6 jam menggunakan perangkat lunak Geostudio Seep/W dan Slope/W.
- b. Menganalisis stabilitas guling, stabilitas geser/sliding, serta stabilitas daya dukung dinding penahan tanah existing dengan persamaan Terzaghi, sesuai existing yang ada dilokasi.
- c. Menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah pasangan batu kali (existing) dengan kondisi hujan selama 6 jam.

2. METODOLOGI

Lokasi yang diambil untuk penelitian ini terdapat di Villa Fumida, Desa Kuta, Kampung Babakan, Kec. Megamendung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Titik penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Titik Lokasi Penelitian di Kabupaten Bogor, Kec. Megamendung
(Sumber : Google Earth, 17 april 2024)

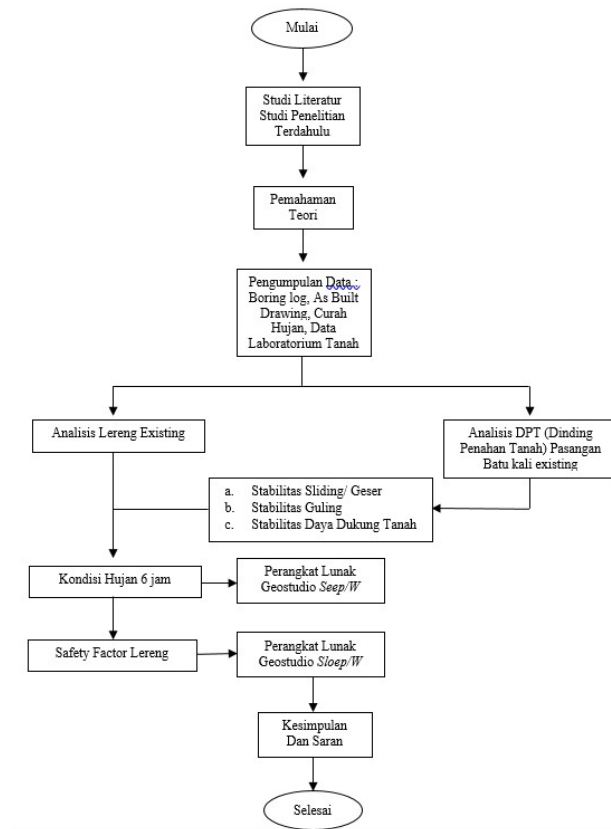
Penelitian ini adalah penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kestabilan lereng yang berlokasi di Villa Fumida, dengan beberapa simulasi dan variasi kondisi yang memungkinkan terjadi dilapangan dengan menggunakan program bantu perangkat lunak yaitu Geostudio Seep/W yang khusus untuk menentukan pengaruh infiltrasi air hujan pada permukaan lereng dilokasi tersebut. Data-data yang diperlukan diantaranya :

1. Data geometri lereng (kemiringan dan ketinggian pada kondisi eksisting).
2. Data borlog dan propertis tanah dari hasil laboratorium.
3. Data curah hujan di lokasi penelitian.

Untuk perhitungan turap dinding penahan tanah existing, maka yang diambil dari existing adalah seperti yang ada di Gambar 15 berikut.



Gambar 15. Cross Section Dinding Penahan Tanah



Gambar 16. Bagan Alir Penelitian

Dalam menentukan metode penelitian kita harus teliti agar dapat dihasilkan tahapan yang tepat serta mudah dimengerti oleh pembaca, Sehingga setiap langkah atau tahapan yang dilakukan penulis harus benar benar berjalan dengan baik dan lancar. Tahapan penelitian secara umum telah dijelaskan pada bagan alir pada Gambar 16 diatas, berikut penjelasan tahapan penelitian :

A. Tahapan Pendahuluan

Tahapan pendahuluan terdiri dari beberapa kegiatan sebagai berikut :

1. Menentukan topik penelitian yang akan dikerjakan berkaitan dengan studi kasus yang ada dilapangan atau proyek, dengan berkonsultasi dosen pembimbing.
2. Melakukan studi literatur terkait atau studi penelitian terdahulu/sebelumnya dengan topik penelitian dan kasus penelitian yang sama dengan yang akan kita teliti.
3. Pemahaman teori yang akan kita teliti baik dari studi literature maupun jurnal jurnal yang memiliki studi kasus yang sama.

B. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang akan digunakan dalam penelitian diperoleh dari Konsultan Perencana, yaitu Elano Konstruksi. Data tersebut berupa desain rencana turap, data

borlog, serta data laboratorium tanah. Dari Badan Meteorologi dan Klimatologi berupa data curah hujan.

Data-data yang kita dapatkan akan digunakan sebagai pedoman perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak Seep/W dan Slope/W.

C. Permodelan dengan perangkat lunak Geostudio Seep/W.

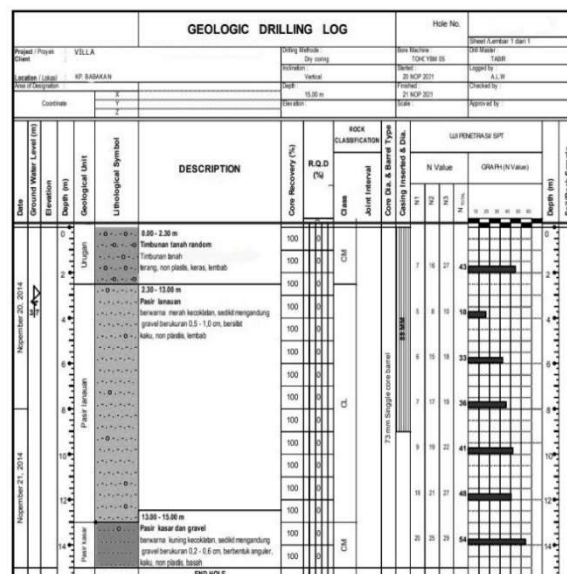
D. Permodelan dengan perangkat lunak Geostudio Slope/W.

Dalam Penelitian ini, ditargetkan dapat menghasilkan output penelitian berupa analisis perhitungan stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak Geostudio Seep/W dan Slope/W, yang menghasilkan angka keamanan (safety faktor) lereng. Ada 3 safety factor sebagai hasil dari analisis penelitian :

1. Safety Factor dengan kondisi lereng sebelum hujan (initial), artinya adalah hasil analisa lereng dilakukan oleh perangkat lunak Seep/W dan slope/W dalam kondisi normal atau sebelum hujan.
2. Safety Factor dengan kondisi lereng setelah hujan selama 6 jam dengan intensitas 116,19 mm/hari, artinya adalah hasil analisa lereng dilakukan oleh perangkat lunak Seep/W dan slope/W dalam kondisi di hujan selama 6 jam
3. Analisa DPT (Dinding Penahan Tanah Existing) pasangan batu kali dengan kondisi lereng normal yaitu mencari stabilitas geser/sliding, stabilitas guling, serta kapasitas daya dukung dinding penahan tanah.
4. Safety Factor lereng dengan dinding penahan pasangan batu kali (exisiting) dengan kondisi sebelum hujan (initial), dan kondisi setelah hujan 6 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada studi kasus di penelitian ini, hasil pengujian tanah yang akan digunakan sebagai analisis didapatkan dari laboratorium, pengujian boring log yang dilakukan sebelum proyek dimulai dan data tersebut penulis dapatkan dari Elano Konstruksi selaku Konsultan Perencanaan Kontraktor. Berikut data boring log yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Boring Log (NSPT)

3.1 Analisis Kestabilan Lereng Dalam Kondisi Normal (Initial) Dan Kondisi Hujan Dengan Perangkat Lunak Seep/W dan Slope/W.

Pemodelan hujan pada studi kasus penelitian ini diterapkan intensitas curah hujan harian maksimum yaitu 116,19 mm/d sesuai data curah hujan yang diambil dari stasiun pemantauan terdekat (Stasiun Meteorologi dan Klimatologi Kabupaten Bogor) yang secara lengkap tersaji pada lampiran 3. Durasi hujan yang akan dijadikan penelitian adalah durasi hujan 6 jam, dengan intensitas flat per jamnya.

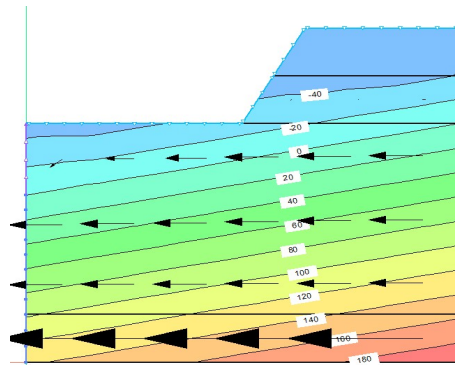
Melakukan analisa infiltrasi dalam kondisi hujan pada lereng menggunakan program berbasis Finite Element Methode (FEM) yaitu Seep/W dan Slope/W dari Geo Studio. Input data yang dibutuhkan adalah data curah hujan harian maksimum dan durasi hujan yang terjadi pada lereng serta volumetric water content dan hydraulic conductivity terhadap nilai matric suction pada masing-masing lapisan tanah. Tabel 4.1 berikut ini adalah input parameter yang diperlukan dengan menggunakan metode FredlundXing-Huang untuk setiap per lapisan tanah.

Tabel 5. Nilai Volumetric Water Content dan Hydraulic Conductivity terhadap Nilai Matric Suction

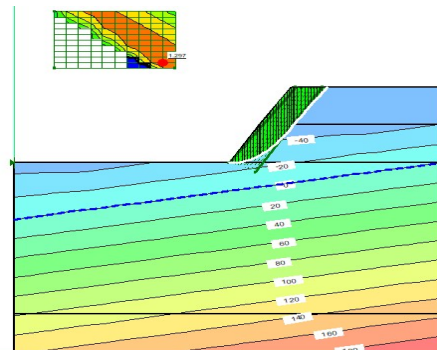
Lapisan Tanah	Saturated Water Content	Compressibility (kPa)	Saturated Kx(m/sec)
1	0,5	6,90E-05	1,00E-07
2	0,32	2,10E-05	4,00E-06
3	0,47	1,30E-05	4,00E-06

4	0,28	5,20E-06	1,00E-05
---	------	----------	----------

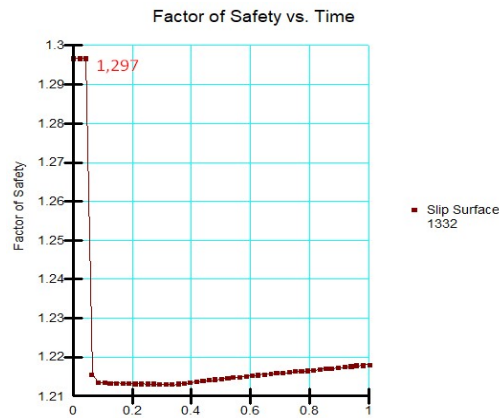
Dari data - data yang tersedia, lalu dianalisis dengan kondisi curah hujan 6 jam dengan menggunakan perangkat lunak berbasis Finite Element Methode (FEM) yaitu Geostudi Seep/W dengan tujuan mengetahui pola distribusi tekanan air pori di lereng. Selanjutnya dianalisis faktor keamanan (Safety Factor) lereng dengan menggunakan perangkat lunak Geostudio Slope/W. Hasil analisis adalah sebagai berikut :



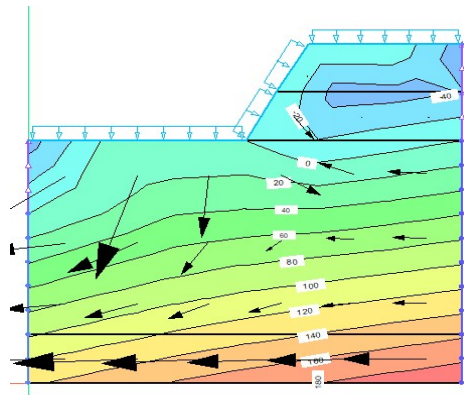
Gambar 18. Lereng Sebelum Hujan, Pola Distribusi Tekanan Air Pori



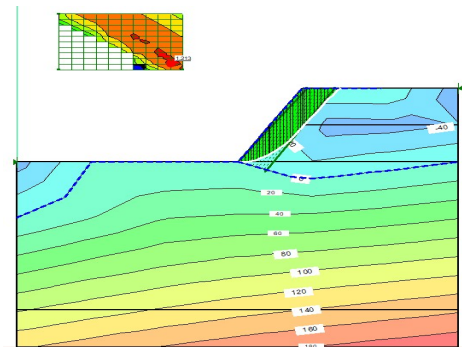
Gambar 19. Lereng Sebelum Hujan, Bidang Longsor Lereng



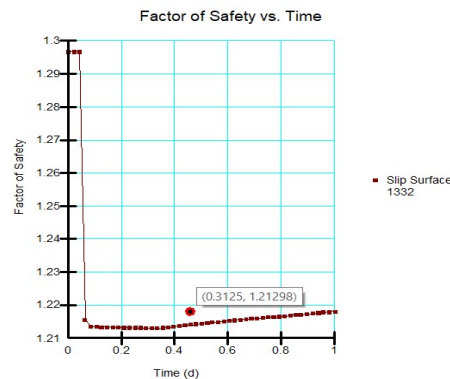
Gambar 20. Lereng Sebelum Hujan, Faktor Keamanan Lereng 1,297



Gambar 21. Kondisi Lereng 6 Jam Hujan, Pola Distribusi Tekanan Air Pori



Gambar 22. Kondisi Lereng 6 Jam Hujan, Bidang Longsor Lereng



Gambar 23. Kondisi Lereng 6 jam hujan, Faktor keamanan Lereng 1,213

Tabel 6. Hasil Analisa Lereng

No	Safety Factor			
	Kondisi Sebelum Hujan		Kondisi hujan 6 jam	
Safety Factor		1,297		1,213
MAT		- 4 meter		0 meter (permukaan)

Hasil analisis kondisi sebelum dan sesudah hujan dengan menggunakan perangkat lunak Geostudio Seep/W dan Slope/W diatas adalah banyak air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah/lereng. Besarnya nilai infiltrasi air hujan dipengaruhi oleh kondisi lapisan tanah, curah hujan, serta durasi hujan.

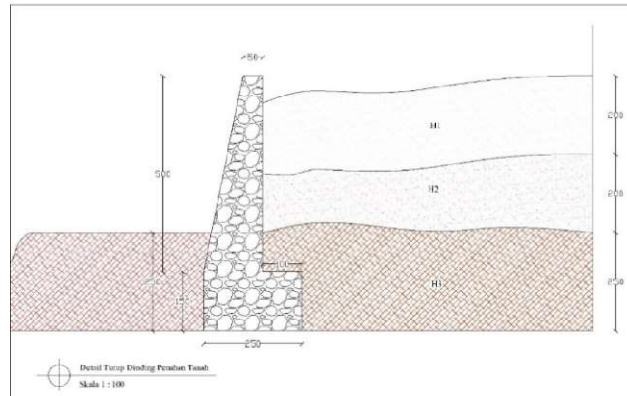
Dari hasil analisis studi kasus penelitian ini, maka safety faktor infiltrasi pada kondisi sebelum hujan adalah 1,297, sedangkan setelah hujan 6 jam adalah sebesar 1,213. Dari kondisi tersebut maka, kondisi 6 jam hujan menyebabkan safety faktor lereng turun sebesar 6,48% dari kondisi sebelum hujan/initial.

Semakin dekat MAT dengan permukaan tanah, maka nilai FK semakin mengecil. Semakin jauh jarak muka air tanah terhadap bidang dasar longsoran maka nilai faktor keamanannya semakin besar.

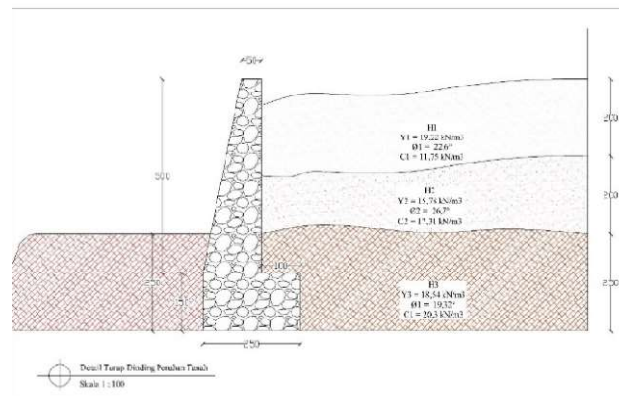
3.2 Analisis Dinding Penahan Tanah (DPT) Pasangan Batu Kali (Existing)

Dari tabel hasil laboratorium tanah, kita dapat menghitung analisis dinding penahan tanah pasangan batu existing, untuk mengetahui apakah DPT tersebut termasuk kategori aman atau belum.

Dari Gambar 15 dapat diketahui, bahwa panjang dinding penahan tanah yang akan diteliti adalah 23 meter, sedangkan untuk gambar tampak samping dinding penahan tanah ada pada Gambar 24.



Gambar 24. Detail Turap Dinding Penahan Tanah Existing
Untuk diketahui beberapa data tanah hasil dari tes laboratorium sebagai berikut :



Gambar 25. Properties Lapisan tanah

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_1 = 19,22 \text{ kN/m}^3 \\ \phi_1 = 22,6^\circ \\ c_1 = 11,75 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right\} \text{H1}$$

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_2 = 15,78 \text{ kN/m}^3 \\ \phi_2 = 26,7^\circ \\ c_2 = 17,31 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right\} \text{H2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_3 = 18,54 \text{ kN/m}^3 \\ \phi_3 = 19,32^\circ \\ c_3 = 20,3 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right\} \text{H3}$$

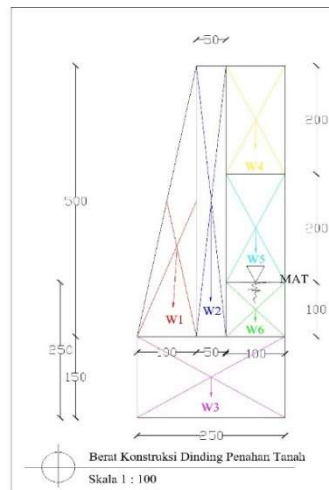
Dari data diatas, kita akan menghitung beberapa poin dibawah ini.

1. Safety Faktor terhadap overturning/guling.
2. Safety Faktor terhadap sliding/geser.
3. Safety Faktor terhadap capacity failure.

Maka ada beberapa langkah dalam menganalisa nilai ketiga safety factor tersebut.

Langkah 1 : Tentukan Berat Konstruksi

Bagi berat konstruksi sesuai dengan jenis tanah dan ukuran turap existing, sebagaimana terlihat pada Gambar 26 dibawah ini.



Gambar 26. Berat Konstruksi

$$\begin{aligned}\text{Bidang W1} &= \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi} \times \gamma \text{ pasangan batu} \\ &= \frac{1}{2} \times 1 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 60 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bidang W2} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \gamma \text{ pasangan batu} \\ &= 5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 60 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bidang W3} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \gamma \text{ pasangan batu} \\ &= 2,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 90 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bidang W4} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \gamma_1 \\ &= 1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 19,22 \text{ kN/m}^3 \\ &= 38,44 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bidang W5} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \gamma_2 \\ &= 1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 15,78 \text{ kN/m}^3 \\ &= 31,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bidang W6} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \gamma_3 - \gamma \text{ air} \\ &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times (18,54 \text{ kN/m}^3 - 10 \text{ kN/m}^3) \\ &= 8,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

Langkah 2 : Menentukan Jarak Beban ke Ujung Dinding Penahan Tanah

$$x_1 = \left(\frac{2}{3} \times 1 \text{ m}\right) = 0,67 \text{ m}$$

$$x_2 = \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \text{ m}\right) + 1 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$$

$$x_3 = \frac{1}{2} \times 2,5 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$$

$$x_4 = \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{ m}\right) + 0,5 \text{ m} + 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$x_5 = \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{ m}\right) + 0,5 \text{ m} + 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$x_6 = \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{ m}\right) + 0,5 \text{ m} + 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

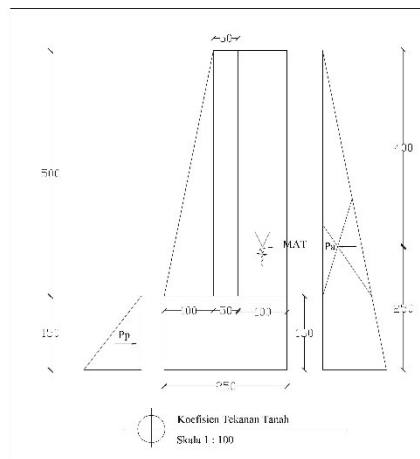
Langkah 3 : Menentukan Momen Terhadap Ujung Dinding Penahan Tanah

$$\begin{aligned}
 M1 &= W1 \cdot x1 \\
 &= 60 \text{ kN} \times 0,67 \text{ m} \\
 &= 40,2 \text{ kN/m} \\
 M2 &= W2 \cdot x2 \\
 &= 60 \text{ kN} \times 1,25 \text{ m} \\
 &= 75 \text{ kN/m} \\
 M3 &= W3 \cdot x3 \\
 &= 90 \text{ kN} \times 1,25 \text{ m} \\
 &= 112,5 \text{ kN/m} \\
 M4 &= W4 \cdot x4 \\
 &= 38,44 \text{ kN} \times 2 \text{ m} \\
 &= 76,88 \text{ kN/m} \\
 M5 &= W5 \cdot x5 \\
 &= 31,56 \text{ kN} \times 2 \text{ m} \\
 &= 63,12 \text{ kN/m} \\
 M6 &= W6 \cdot x6 \\
 &= 8,54 \text{ kN} \times 2 \text{ m} \\
 &= 17,08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Momen Akibat Gaya Vertikal

No	Berat (W) kN	Jarak (x) m	Momen (M) kN/m
1	60	0,67	40,2
2	60	1,25	75
3	90	1,25	112,5
4	38,44	2	76,88
5	31,56	2	63,12
6	8,54	2	17,08
	$\Sigma W = 288,54$		$\Sigma Mw = 384,78$

Langkah 4 : Menentukan Koefisien Tekanan Tanah



Gambar 27. Koefisien Tekanan Tanah

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$\beta = 0$, maka :

$$K_{a1} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 22,6^\circ}{1 + \sin 22,6^\circ} = 0,44$$

$$K_{a2} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 26,7^\circ}{1 + \sin 26,7^\circ} = 0,38$$

$$K_{a3} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 19,32^\circ}{1 + \sin 19,32^\circ} = 0,50$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1 + \sin 19,32^\circ}{1 - \sin 19,32^\circ} = 1,98$$

Pa akibat tekanan tanah setinggi 6,5 meter

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot (\gamma) \cdot H^2$$

$$1. \quad P_{a1} = \frac{1}{2} \cdot K_{a1} \cdot (\gamma_1) \cdot H_1^2$$

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \times 0,44 \times 19,22 \text{ kN/m}^3 \times (2)^2$$

$$P_{a1} = 16,91 \text{ kN}$$

$$2. \quad P_{a2} = \frac{1}{2} \cdot K_{a2} \cdot (\gamma_2) \cdot H_2^2$$

$$P_{a2} = \frac{1}{2} \times 0,38 \times 15,78 \text{ kN/m}^3 \times (2)^2$$

$$P_{a2} = 11,99 \text{ kN}$$

$$3. \quad P_{a3} = \frac{1}{2} \cdot K_{a3} \cdot (\gamma_3) \cdot H_3^2$$

$$P_{a3} = \frac{1}{2} \times 0,50 \times 18,54 \text{ kN/m}^3 \times (2,5)^2$$

$$P_{a3} = 28,96 \text{ kN}$$

$$P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3}$$

$$P_a = 16,91 \text{ kN} + 11,99 \text{ kN} + 28,96 \text{ kN}$$

$$P_a = 57,86 \text{ kN}$$

P_p akibat tanah setinggi 1,5 m

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma^3 \cdot H^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1,98 \times 18,54 \text{ kN/m}^3 \times (1,5 \text{ m})^2$$

$$P_p = 40,98 \text{ kN}$$

Langkah 5 : Menentukan Jarak I Lengan Terhadap Titik 0

$$Z_a = \frac{1}{3} \times H$$

$$= \frac{1}{3} \times 6,5 \text{ m}$$

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

$$Z_p = \frac{1}{3} \times 1,5 \text{ m}$$

$$= 0,5 \text{ m}$$

Langkah 6 : Menghitung Momen Tekanan Tanah

Tekanan tanah aktif

$$P_a \times Z_a = 57,86 \text{ kN} \times 2,2 \text{ m} = 127,29 \text{ kN/m}$$

Tekanan tanah Pasif

$$P_p \times Z_p = 40,98 \text{ kN} \times 0,5 \text{ m} = 20,49 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma P_h = P_a - P_p$$

$$= 57,86 \text{ kN} - 40,98 \text{ kN}$$

$$= 16,88 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_h = (P_a \times Z_a) - (P_p \times Z_p)$$

$$= (127,29 \text{ kN/m} - 20,49 \text{ kN/m})$$

$$= 106,8 \text{ kN/m}$$

Langkah 7 : Menentukan Stabilitas Terhadap Guling

$$F_{gl} = \Sigma M_w / \Sigma M_h \geq 1,5$$

$$F_{gl} = 384,78 / 106,8$$

$$F_{gl} = 3,60, > \text{OK, dimensi tidak perlu diperbesar}$$

Dimana :

F_{gl} = Faktor aman terhadap penggulingan

ΣM_w = Jumlah momen yang melawan pergulingan

ΣM_h = Jumlah momen yang menyebabkan penggulingan

Langkah 8 : Menentukan Stabilitas Terhadap Sliding/Geser

Diketahui tahanan geser untuk dinding B=23 meter, Maka gunakan rumus sebagai berikut:

$$\Sigma R_h = C_d \cdot B + \Sigma W \tan \delta_b$$

Dimana :

ΣR_h = Tahanan dinding penahan tanah terhadap pergeseran

C_d = C_2 (adhesi antara tanah dan dasar dinding)

B = Panjang Pondasi

ΣW = Berat total dinding penahan dan tanah diatas plat pondasi

δ_b = sudut geser antara tanah dan dasar pondasi ($\phi = 19,32^\circ$)

$$\Sigma R_h = (17,31 \text{ kN/m}^2 \cdot 23 \text{ m}) + 288,54 \text{ kN} \tan 19,32$$

$$= 499,28 \text{ kN/m}^3$$

$$F_{gs} = \Sigma R_h / \Sigma P_h \geq 1,5$$

$$F_{gs} = 499,28 / 16,88 = 29,57 \geq 1,5 \dots \dots \dots (\text{OK,})$$

Dimana :

F_{gs} = Faktor aman terhadap pergeseran

ΣR_h = Tahanan dinding penahan tanah terhadap pergeseran

ΣP_h = Jumlah gaya gaya horizontal

Langkah 9 : Menentukan Stabilitas Daya dukung dinding penahan tanah

Dalam hal ini akan digunakan persamaan Terzaghi, dengan menganggap pondasi memanjang dipermukaan tanah lapisan 3 sebagai berikut :

γ_3 = 18,54 kN/m³

ϕ_3 = 19,32°

c_3 = 20,3 kN/m²

Untuk mencari kapasitas dukung ultimit dinding penahan tanah, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_u = C_3 \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_3 \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_3 \cdot B \cdot N_\gamma$$

Dari tabel Terzaghi dibawah ini, maka kita bisa mendapatkan nilai N_c , N_q , N_γ .

Tabel 8. Faktor Daya Dukung Tanah Menurut Terzaghi

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

$$Q_u = 20,3 \times 13,93 + 1,5 \times 18,54 \times 5,80 + \frac{1}{2} \times 18,54 \times 23 \times 4,68$$

$$Q_u = 1441,89 \text{ kN/m}^2$$

Dimana :

C_3 = kohesi lapisan tanah asli

D_f = Kedalaman pondasi DPT

B = Panjang Pondasi

e = eksintrisitas = 0,83

$$Q_{all} = (1/SF) \times Q_u$$

$$Q_{all} = (1/3) \times 1441,89 = 480,63 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{max} = \Sigma P_h / B \times 1 + 6e/B$$

$$Q_{max} = 16,88/23 \times 1 + 6,0,83/23 = 0,95 \text{ kN/m}^2 \text{ Oke.}$$

Jika $Q_{max} < Q_{all}$, maka dengan demikian tanah mampu menahan DPT tersebut.

3.3 Analisis Kestabilan Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali (Existing) Dalam Kondisi Normal (Initial) Dan Kondisi Hujan Dengan Perangkat Lunak Seep/W dan Slope/W.

Setelah dilakukan analisa stabilitas geser/sliding, stabilitas guling/overturning, serta stabilitas daya dukung dinding penahan tanah. Maka langkah selanjutnya adalah membuat model dinding penahan tanah existing tersebut kedalam perangkat lunak Geostudio Seep/W dan Slope/W. Langkah tersebut adalah sebagai penanganan stabilitas lereng, yang dimana nilai Safety factor kondisi lereng tanpa dinding penahan tanah dan dalam kondisi hujan 6 jam adalah 1,212, yang berarti lereng tersebut termasuk lereng kritis atau pernah terjadi longsor, bahkan bisa jadi rawan longsor. Berikut ini data properties pasangan batu kali dan data curah hujan untuk diinput kedalam perangkat lunak geostudio Seep/W dan Slope/W.

Tabel 9. Data Properties Pasangan Batu Kali

Material	Water Content (Kadar air) (%)	Compressibility (kPa)	Saturated K _x (m/sec)	Spesific Gravity (Berat Jenis) γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (°)
Pas. Batu kali	0,072	3E-06	1E-07	24	10	45

Tabel 10. Data Curah Hujan

NO	TAHUN	STASIUN PENGAMATAN KLIMATOLOGI												RATA-RATA (mm)	HUJAN MAKS	TOTAL (mm)
		CURAH HUJAN MENURUT BULAN														
		KABUPATEN BOGOR														
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGUS	SEPT	OKT	NOV	DES			
1	2014	182	155	169	122	255	232	321	302	223	123	133	358	215	358	2575
2	2015	275	238	309	342	322	275	244	230	299	172	312	221	270	342	3239
3	2016	312	332	290	219	337	231	241	116	358	407	118	212	264	407	3173
4	2017	209	234	298	267	358	254	201	332	411	243	198	122	261	411	3127
5	2018	358	214	175	324	198	276	321	385	337	265	210	432	291	432	3495
6	2019	288	277	231	271	312	138	53	170	152	382	330	219	235	382	2823
7	2020	208	337	292	271	292	30	64	412	88	327	207	262	233	412	2790
8	2021	304	486	233	505	510	311	116	399	317	566	183	279	351	566	4209
9	2022	107	150	113	316	228	364	358	385	354	492	321	224	284	492	3412
10	2023	271	421	209	232	192	357	201	229	423	222	332	199	274	423	3288
	Rata-rata	251	284	232	287	300	247	212	296	296	320	234	253			
	Total	2514	2844	2319	2869	3004	2468	2120	2960	2962	3199	2344	2528			

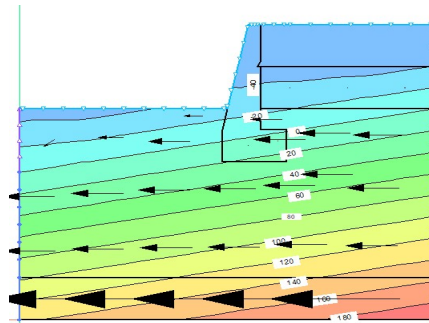
(Sumber : Stasiun Meteorologi dan Klimatologi Kabupaten Bogor)

Tabel 11. Nilai Volumetric Water Content dan Hydraulic Conductivity terhadap Nilai Matric Suction

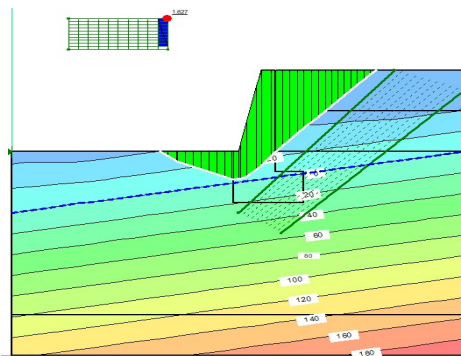
Lapisan Tanah	Saturated Water Content	Compressibility (kPa)	Saturated K _x (m/sec)
1	0,5	6,90E-05	1,00E-07
2	0,32	2,10E-05	4,00E-06

3	0,47	1,30E-05	4,00E-06
4	0,28	5,20E-06	1,00E-05

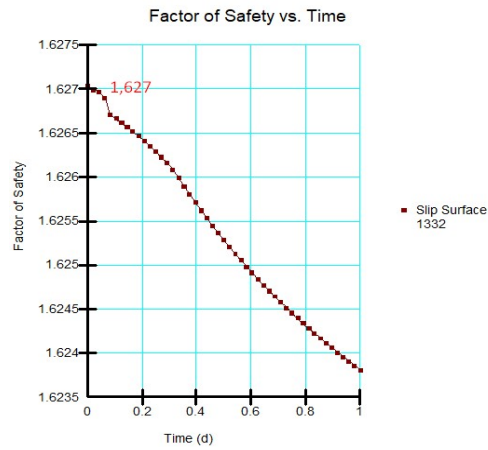
Dari data-data diatas, lalu dianalisis dengan kondisi curah hujan 6 jam dengan menggunakan perangkat lunak berbasis Finite Element Methode (FEM) yaitu Geostudio Seep/W dengan tujuan mengetahui pola distribusi tekanan air pori di lereng setelah adanya dinding penahan tanah pasangan batu kali. Selanjutnya dianalisis faktor keamanan (Safety Factor) lereng dengan menggunakan perangkat lunak Geostudio Slope/W. Hasil analisis adalah sebagai berikut :



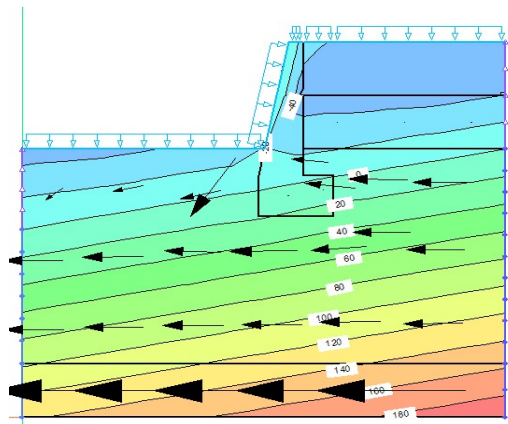
Gambar 28. Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Sebelum Hujan, Pola Distribusi Tekanan Air Pori



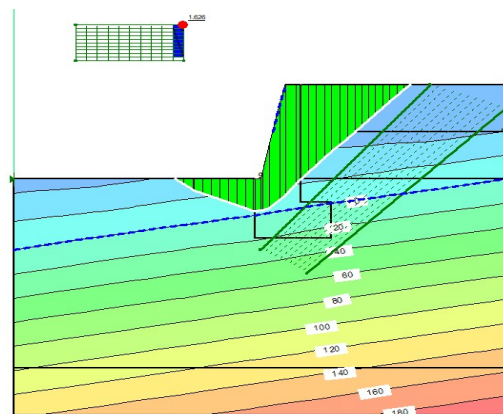
Gambar 29. Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Sebelum Hujan, Bidang Longsor Lereng



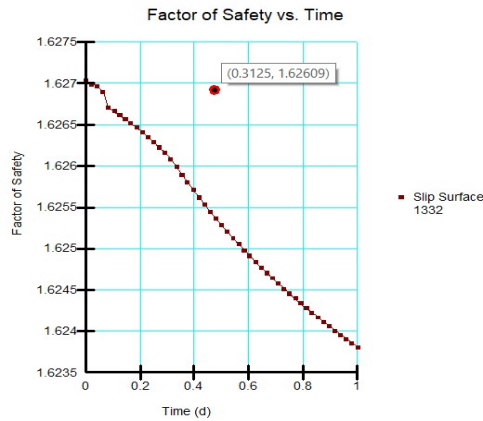
Gambar 30. Faktor Keamanan Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Sebelum Hujan, Nilai Faktor Keamanan Lereng 1,627



Gambar 31. Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Kondisi Hujan 6 Jam, Pola Distribusi Tekanan Air Pori



Gambar 32. Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Kondisi 6 Jam Hujan, Bidang Longsor Lereng



Gambar 33. Faktor Keamanan Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Kondisi 6 Jam Hujan, Nilai Faktor Keamanan Lereng 1,626

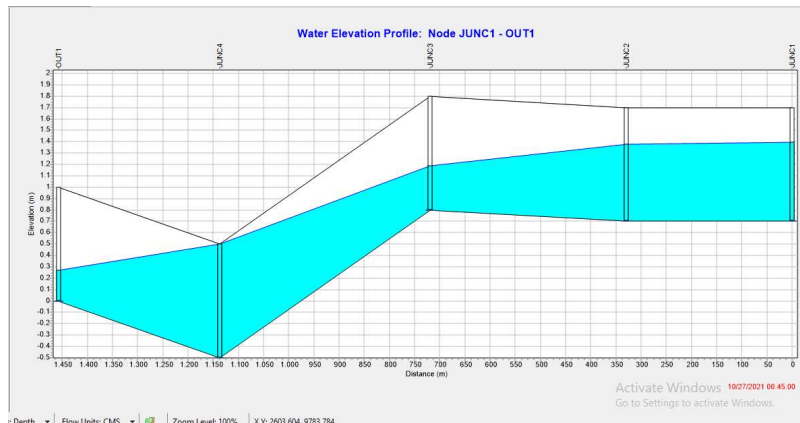
Tabel 12. Hasil Analisa Lereng dan Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali

No	Safety Factor			
	Kondisi Sebelum Hujan		Kondisi hujan 6 jam	
Safety Factor		1,297		1,213
MAT		- 4 meter		0 meter (permukaan)

Tabel 13. Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Beton

Kuat tekan rencana (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata Beton (MPa)					
	Pasir Kali X			Pasir Kali Y		
	7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari
15	10,75	13,96	15,67	12,94	16,72	17,32
25	18,78	23,13	25,84	20,85	25,62	27,31

Sumber : Sumber Data, Tahun (Tabel informasi berukuran 10 pt)



Gambar 34. Run Simulation Saluran Jl. Pemuda sampai Jl. HOS Cokroaminoto pada *software* EPA SWMM

Apabila terdapat persamaan reaksi atau matematis, diletakkan simetris pada kolom. Nomor persamaan diletakkan di ujung kanan dalam tanda kurung, dan penomoran dilakukan secara berurutan. Apabila terdapat rangkaian persamaan yang lebih dari satu baris, maka penulisan nomor diletakkan pada baris terakhir. Penunjukan persamaan dalam naskah dalam bentuk singkatan, seperti persamaan (1). Penurunan persamaan matematis tidak perlu ditulis semuanya secara detail, hanya dituliskan bagian yang terpenting, metode yang digunakan dan hasil akhirnya.

$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n P_n}$$

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian lereng yang berada di Villa Fumida Kampung Babakan Desa Kuta, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil analisis infiltrasi air hujan pada lereng menunjukkan safety factor semakin menurun akibat hujan selama 6 jam. Pada lereng sebelum hujan, nilai safety factor lereng adalah 1,296. Sedangkan pada kondisi 6 jam hujan menyebabkan safety factor lereng turun sebesar 6,48% menjadi sebesar 1,212. Maka dari tabel 3 bisa diklasifikasikan bahwa lereng initial sebelum hujan tersebut bernilai $> 1,25$, yang berarti Intensitas longsor jarang terjadi terjadi atau lereng stabil. Sedangkan setelah hujan lereng menjadi kritis karena nilai safety factor nya $< 1,25$.

2. Perkuatan dinding penahan tanah pasangan batu kali memiliki nilai faktor aman terhadap penggulingan sebesar 3,20 atau $\geq 1,5$, yang berarti dinding penahan tanah tersebut aman terhadap penggulingan. Sedangkan untuk nilai faktor aman terhadap geser sebesar 24,72 atau $\geq 1,5$, yang berarti dinding penahan tanah tersebut aman terhadap pergeseran. Untuk Nilai Q_{max} sebesar 1,21 kN/m² dan Q_{all} sebesar 90,45 kN/m², Yang artinya daya dukung tanah mampu menahan dinding penahan tanah pasangan batu kali karena $Q_{max} < Q_{all}$
3. Hasil analisis infiltrasi air hujan pada lereng dan dinding penahan tanah pasangan batu kali, menunjukkan safety factor sebelum hujan mempunyai nilai SF 1,627. Sedangkan kondisi 6 jam hujan nilai SF nya mengalami penurunan kecil 0,001 menjadi 1,626 atau sekitar 0,06 %. Hal ini terjadi karena, air yang masuk ke lereng setelah adanya dinding penahan tanah, air tersebut tidak akan tembus ke dinding penahan tersebut dan langsung dialirkan ke permukaan dinding penahan tanah, sehingga tidak ada air yang naik ke permukaan lereng, dan nilai SF nya bisa dikatakan stabil.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

- a. Analisis perkuatan stabilitas lereng baiknya dengan metode lain, seperti soil nailing, geotextile, bronjong dan lainnya.
- b. Percobaan mencari nilai SF di perangkat lunak harus dilakukan lebih dari satu kali, agar lebih mendapatkan nilai yang pasti dan tidak berubah.
- c. Untuk perkuatan stabilitas lereng pasangan batu kali, data properties harus sesuai dengan properties yang akan diinput.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L. W. et al. (2002) Slope Stability and Stabilization Methods Second Edition. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Abramson, L.W., et al. (1996). Slope Stability and Stabilization Methods. John Willey & Sons. Inc, New York, p.34
- Agustina, Dian Hastari.(2013).“Pengaruh Karakteristik Curah Hujan Terhadap Kestabilan Lereng”. Jurnal Dimensi Universitas Riau Kepulauan Batam Vol 2, No 3.
- Arsyad, Sitanala. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Bandung: Penerbit IPB (IPB Press)
- Biarez, J., & Favre, J. (1976). CorrÈlations de paramÈtres en mÈcanique des sols. Ecole Centrale des Arts et Manufactures
- BSN. 2008. SNI 4153:2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. Departemen Pekerjaan Umum

- Budhu, M. (2010) Soil Mechanics and Foundations, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Cruden, D. dan Varnes, D. (1996) "Landslides: Investigation And Mitigation. Chapter 3 - Landslide Types and Processes," Transportation Research Board Special Report.
- Das, B. M. dan Sivakugan, N. (2016) Introduction To Geotechnical Engineering Second Edition. Second. United States: Cengage Learning.
- Depkimpraswil PUPR. (2002) tentang Tata cara identifikasi awal daerah longsor.
- Duncan, J.M., Wright, S.G. (2005). Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons Inc., N.J. (309 pp.).
- Fauziyah shifah. (2020, Desember 01). Perencanaan dinding penahan tanah [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sHkg3x5np10&t=1s>
- Fredlund, D.G. and Xing, A. (1994). "Equations for the soil–water characteristic curve". Can. Geotech. J. 31, 521–532.
- Google (2021) Google Earth. Tersedia pada: <https://earth.google.com/web/> (Diakses: 17 April 2024).
- Hasrullah. (2009). "Studi Pengaruh Infiltrasi Air Hujan Terhadap Kestabilan Lereng". Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik – Sistem, vol 5 No. 2. Hal : 1-13.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) Mekanika Tanah I Jilid III. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2003) Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). Analisis dan Perancangan Fondasi I. In H. C.
- Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi I (p. 342). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harijan. (2022) Kelongsoran Lereng Di Dusun Kondoruba (Km. 25+575 – 26+100) Preservasi Jalan Kalukku – Salubatu – Mambi - Malabo, Sulawesi Barat, Menggunakan Perangkat Lunak. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Hariyanto, R. Dewo Hiraliya Maesa, (2023). "Kajian Stabilitas Lereng Pada Lereng Kabupaten Lahat" Palembang. Universitas Sriwijaya
- Himawan, Eric, dkk. (2017). "Penanganan Longsor Benda Dengan Secant pile". Jurnal Karya Teknik Sipil. Volume 6. Nomor 3. Tahun 2017. Hal : 103- 113
- Karnawati, D. 2006. Wilayah yang Tak Pernah Luput Bencana oleh Madina Nusrat. Diambil dari : <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0601/14/Fokus/2360408.htm>
- Look, Burt G., 2007, Handbook of Geotechnical Investigation And Design Tables, Taylor & Francis, London.
- Lubis, N. S. (2018) Studi Kasus Kelongsoran Pada Ruas Jalan SP Air Dingin- Pagaralam KM 254+100 Menggunakan Program Plaxis. Universitas Muhammadiyah Palembang
- Luriyanto, Apri, dkk. (2014). Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya : Studi Kasus Longsor Pada Ruas Jalan Pringsurat Km. 79 Mgl. 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Diponegoro.
- M, Y. dan Cheng, C. K. L. (2014) Slope Stability Analysis and Stabilization : New Methods and Insight, Taylor & Francis Group, 2014.
- Mochtar, NE. (2021). Stone Column. Modul Ajar. Program Studi Magister TeknikSipil. Institute Teknologi Sepuluh Nopember.

- Murthy, V. N. . (2002) *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Pangemanan, V. dan Sompie, O. (2014) “Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland),” *Jurnal Sipil Statik*.
- Pratikso (2015), “Pondasi Dangkal”, Semarang : research universitas islam sultan agung.
- Sianipar, A. H. V. . (2013) *Alternatif Perkuatan Lereng Pada Ruas Jalan Medan – Berastagi, Desa Sugo KM 25+200*. Universitas Sumatera Utara.