

Diterima : 20 Februari 2025 | Selesai Direvisi : 21 Maret 2025 | Disetujui : 10 April 2025 | Dipublikasikan : Juli 2025
DOI : <https://doi.org/10.24853/jk.16.2.73-82>
Copyright © 2025 Jurnal Konstruksia
This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Studi Muka Air Tanah dan Kemiringan Lereng terhadap Faktor Keamanan

Isnaniati¹, Zainal Riki Darmawan¹ dan Dio Alif Hutama²

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, 60113

Email korespondensi: isnaniati65@gmail.com

²Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Airlangga Surabaya, Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya, 60115

ABSTRAK

Bangunan diatas lereng rentan terjadinya kelongsoran. Hal ini dikarenakan sudut lereng semakin besar maka semakin besar komponen gaya gravitasi yang bekerja sejajar dengan permukaan lereng yang menyebabkan longsor dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan lereng yang mengakibatkan longsor juga semakin besar. Kemiringan lereng dan tinggi Muka Air Tanah (MAT) akan mempengaruhi stabilitas lereng yang dapat mengakibatkan terjadinya kelongsoran. Kondisi tersebut diperlukan evaluasi untuk mengetahui faktor keamanan lereng. Faktor keamanan merupakan suatu cara untuk mendefinisikan stabilitas lereng. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa pengaruh muka air tanah dan sudut kemiringan lereng terhadap kestabilan lereng yang diwujudkan berupa nilai faktor keamanan atau *Safety factor* (F_s). Di dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan program bantu Geostudio 2012 dengan memberikan variasi sudut kemiringan lereng (30° , 45° , 60°) dan variasi tinggi muka air tanah (+4m; +2m; 0m; -2m). Hasil perhitungan menunjukkan angka F_s semakin besar terjadi pada elevasi MAT yang semakin rendah atau mendekati dasar timbunan (berturut-turut MAT= +4m; +2m; 0m), sedangkan saat elevasi MAT berada dibawah timbunan (MAT= -2m) tidak terjadi perubahan F_s atau praktis nilai F_s tetap. Hal ini dikarenakan saat elevasi MAT berada dibawah timbunan tidak ada perubahan kuat geser tanah maupun gaya yang menyebabkan longsor. Kemiringan lereng ($^\circ$) yang semakin curam dengan sudut lereng berturut-turut (30° ; 45° ; 60°) menunjukan adanya penurunan nilai faktor keamanan. Hal ini dikarenakan semakin curam sudut lereng semakin beresiko terjadinya longsor.

Kata kunci: Muka Air Tanah, Kemiringan Lereng, Faktor Keamanan

ABSTRACT

Buildings on slopes are prone to landslides. This is because the larger the slope angle, the greater the component of the gravitational force that works parallel to the slope surface that causes landslides, and the shear stress that works on the slope surface that causes landslides is also greater. The slope gradient and groundwater level (MAT) will affect the stability of the slope which can cause landslides. These conditions require evaluation to determine the slope safety factor. The safety factor is a way to define slope stability. The purpose of this study is to analyze the effect of groundwater level and slope angle on slope stability which is manifested in the form of a safety factor value or Safety factor (F_s). In analyzing slope stability, the Geostudio 2012 assistance program is used by providing variations in slope angles (30° , 45° , 60°), and variations in groundwater level (+4m; +2m; 0m; -2m). The calculation results show that the SF number is getting bigger at the lower MAT elevation or approaching the base of the embankment (respectively MAT = +4m; +2m; 0m), while when the MAT elevation is below the embankment (MAT = -2m) there is no change in F_s or practically the F_s value remains the same. This is because when the MAT elevation is below the embankment there is no change in soil shear strength or the force that causes landslides. The slope gradient ($^\circ$) which is getting steeper with the slope angles respectively (30° ; 45° ; 60°) shows a decrease in the safety factor value. This is because the steeper the slope angle, the greater the risk of landslides.

Keywords: Groundwater Level, Slope Angle, Safety factor

1. PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan diatas lereng rentan terjadinya Kelongsoran. Apabila gaya (beban) yang terjadi akibat komponen gravitasinya besar maka berakibat perlawanan geser total pada bidang gelincirnya terlampaui dan akan mengakibatkan terjadinya kelongsoran [4]. Kelongsoran (*landslide*) adalah suatu proses perpindahan atau pergerakan massa batuan, debris (campuran tanah dan butiran batu), dan tanah kearah lereng bawah. Perpindahan ini dapat disebabkan oleh kondisi geologi yang kurang menguntungkan, fenomena geomorfologi gaya-gaya fisik alamiah atau akibat ulah manusia (*man-made*), dan umumnya terjadi pada daerah yang cukup luas, berukuran skala besar [6].

Stabilitas lereng erat kaitannya dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Analisis stabilitas lereng merupakan faktor yang sangat penting pada perencanaan konstruksi sipil seperti dalam perencanaan timbunan jalan, bendung, maupun stabilitas lereng alami.

Pada proses perencanaan, kondisi tanah asli yang sering dijumpai tidak selalu sesuai dengan perencanaan yang diinginkan. Kondisi tersebut diperlukan analisis stabilitas lereng yang lebih akurat agar diperoleh konstruksi lereng yang sesuai dengan syarat keamanan dan dapat mencegah terjadinya kelongsoran pada konstruksi sipil yang telah direncanakan.

Perubahan kestabilan lereng yang diakibatkan oleh pembasahan air hujan seharusnya dilakukan proses perhitungan sejak awal dengan mempertimbangkan pengaruh tinggi muka air tanah terhadap stabilitas lereng serta geometri lereng berupa sudut kemiringan lereng. Untuk memprediksi secara cepat pengaruh perubahan muka air tanah dan geometri sudut kemiringan lereng dengan stabilitas lereng diperlukan suatu grafik hubungan antara perubahan tinggi muka air tanah

dengan stabilitas lereng dan grafik hubungan antara pengaruh geometri berupa sudut kemiringan lereng dengan stabilitas lereng.

Adanya penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa hubungan antara faktor keamanan lereng yang dapat dibentuk oleh sudut lereng tertentu pada endapan lahar adalah semakin besar sudut lereng maka nilai faktor stabilitas lereng akan semakin kecil [8]. Penelitian lainnya menyatakan bahwa fluktuasi muka air tanah memiliki dampak yang merusak pada stabilitas lereng akibat tekanan air pori, yang menurunkan kekuatan tanah lereng dan stabilitas lereng atau *safety factor* [5].

Dari penjelasan diatas diperlukan peneltian tentang studi muka air tanah dan kemiringan lereng terhadap faktor keamanan dengan cara menganalisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Bishop yang disederhanakan [1] dan proses perhitungan menggunakan *software* Geostudio 2012. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh muka air tanah serta geometri sudut kemiringan lereng terhadap kestabilan lereng. Cara untuk menstabilkan lereng agar tidak terjadi kelongsoran yaitu dengan cara menaikkan nilai faktor keamanan (F_s). Beberapa cara untuk menaikkan faktor keamanan adalah dengan memberikan perkuatan geotekstil, *End Anchored* dengan tujuan untuk meningkatkan momen penahan sehingga memperkecil kemungkinan longsor sehingga F_s meningkat [3].

Lereng

Lereng adalah permukaan tanah atau batuan yang miring, yang memungkinkan terjadinya kelongsoran. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dibuat oleh manusia.

Dalam bidang Teknik Sipil, ada tiga jenis lereng [10] yaitu:

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk karena proses proses alam, misalnya lereng suatu bukit.

2. Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Pada ketiga jenis lereng ini kemungkinan untuk terjadi longsor selalu ada, karena dalam setiap kasus tanah yang tidak rata akan menyebabkan komponen gravitasi dari berat yang memiliki kecenderungan untuk menggerakkan massa tanah dari elevasi lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah.

Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan bekerja gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah.

Disamping gaya yang mendorong ke bawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja menahan/melawan sehingga kedudukan tanah tersebut tetap stabil. Gaya-gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah yang menyebabkan kelongsoran. Gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (dari kohesi), dan kekuatan geser tanah. Jika gaya-gaya pendorong lebih besar dari gaya-gaya penahan, maka tanah akan mulai runtuh dan akhirnya terjadi keruntuhan tanah sepanjang bidang yang menerus dan massa tanah diatas bidang yang menerus ini akan longsor. Peristiwa ini disebut sebagai keruntuhan lereng dan bidang yang menerus ini disebut bidang gelincir.

Analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*Limit Plastic Equilibrium*) dengan mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada lereng. Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis

stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu:

- a. Kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
- b. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.
- c. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain, kuat geser tanah dianggap isotropis.
- d. Faktor utama didefinisikan dengan memperlihatkan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang bidang longsor.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, dengan menggunakan seperti persamaan 1

$$F_s = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (1)$$

Dengan F_s = faktor aman, τ = tahanan geser maksimum (kekuatan geser tanah), τ_d = tahanan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan longsor.

Teori Mohr-Coulumb, tahanan geser maksimum (τ) disepanjang bidang longsornya, dinyatakan dalam persamaan 2 [4]

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (2)$$

Dengan c = kohesi, σ = tegangan normal, ϕ = sudut gesek dalam tanah.

Nilai-nilai c dan ϕ adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor.

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan Persamaan 3 tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya.

$$\tau_d = c_d + \sigma \cdot \tan \phi_d \quad (3)$$

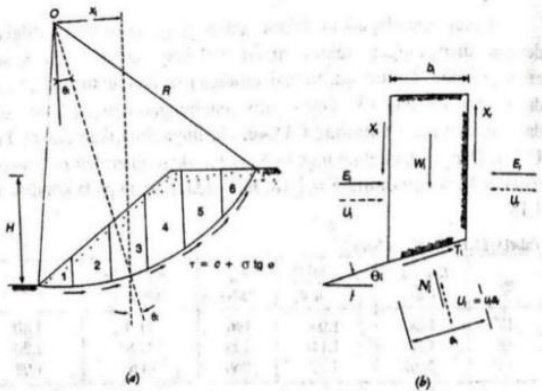
Dengan c_d = kohesi yang terjadi, ϕ_d = sudut gesek dalam yang terjadi.

Substitusi Persamaan 2 dan 3 diperoleh faktor aman pada Persamaan 4.

$$F_s = \frac{(c + \sigma \tan \phi)}{(cd + \sigma \tan \phi d)} \quad (4)$$

Metode analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas yang dibahas didalam penelitian ini adalah tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanah tidak menentu dengan menggunakan metode irisan (*method of slice*). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkaran bidang longsor terutama dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dibagi menjadi tiap irisan, dapat dilihat pada Gambar 1.



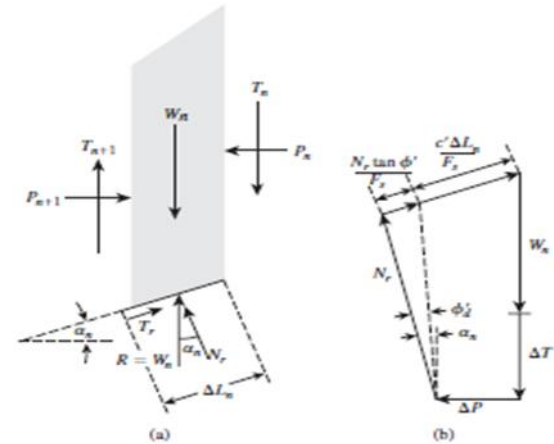
Gambar 1. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

Metoda irisan adalah metoda dimana tanah diatas bidang longsor dibagi dalam beberapa irisan tegak dimana lebar tiap irisan tidak harus sama (Das, 2019). Dengan anggapan bidang gelincir tanah longsor mendekati busur lingkaran (bidang A-C), tanah dikondisikan sebagai tanah homogen. Gaya dan momen yang menyebabkan kelongsoran dipengaruhi oleh berat tanah itu sendiri yang disebut sebagai momen penggerak (*driving momen*) dan bagian yang melawan disebut momen *resistent* yang diakibatkan kekuatan geser tanah [10].

Metode bishop yang disederhanakan (*simplified bishop method*)

Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip*

surface) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini pengaruh gaya-gaya pada sisi tiap irisan diperhitungkan [2] seperti terlihat pada Gambar1. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode irisan menurut Bishop yang disederhanakan

a) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan

b) Poligon gaya untuk keseimbangan

sumber: [4]

Dari gambar 2 diperoleh rumus penyederhanaan sbb,

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + W_n \tan \phi'] \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_i x_i} \quad (5)$$

Dimana

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi' \sin \alpha_n}{F_s} \quad (6)$$

Nilai $m_{\alpha(n)}$ juga bisa diperoleh pada Gambar 4

F_s = faktor aman

b = lebar irisan ke-n

W_n = berat irisan tanah ke-n

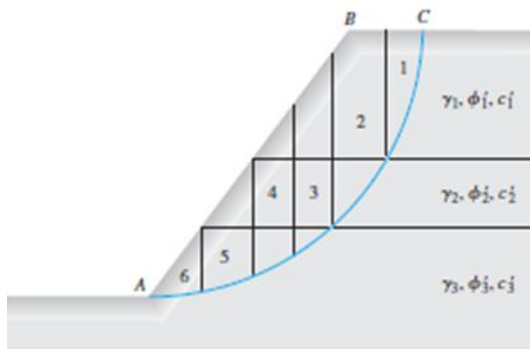
C = kohesi

ϕ = sudut geser dalam

c & ϕ = digunakan nomer potongan lapisan tanah paling bawah, misal untuk potongan no.3 pada seperti Gambar 3 menggunakan sudut geser ($f = f_3$) dan kohesi ($c = c_3$).

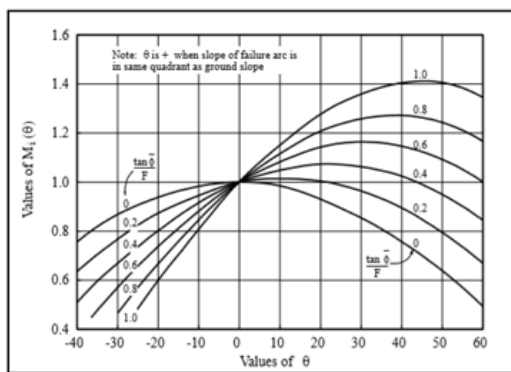
Untuk memudahkan penggunaan nilai kohesi (c) & sudut geser dalam (ϕ) seperti

pada persamaan diatas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Analisa Stabilitas Dengan Metode Irisan pada Tanah Berlapis

Untuk memperoleh nilai $m_{(\alpha(n))}$ dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Menentukan Angka Stabilitas (m) [8]

Program GeoStudio

Dengan menggunakan modul Slope/W didalam perangkat lunak geoStudio 2012 agar supaya dapat menganalisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti geometri lereng, sifat tanah dan beban yang bekerja.

Didalam fitur Slope/W juga dapat digunakan untuk:

- Analisis stabilitas lereng, Slope/W dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas atau metode elemen hingga.
- Simulasi, Slope/W dapat digunakan untuk mensimulasi perilaku lereng

dalam berbagai kondisi, termasuk kondisi jenuh dan tak jenuh (kondisi muka air tanah/ MAT).

- Optimasi desain, Slope/W dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain lereng dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti keamanan dan biaya.

Dengan GeoStudio dan Slope/ W, kita dapat menganalisis stabilitas lereng secara akurat dan efektif dengan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi.

2. METODE PENELITIAN

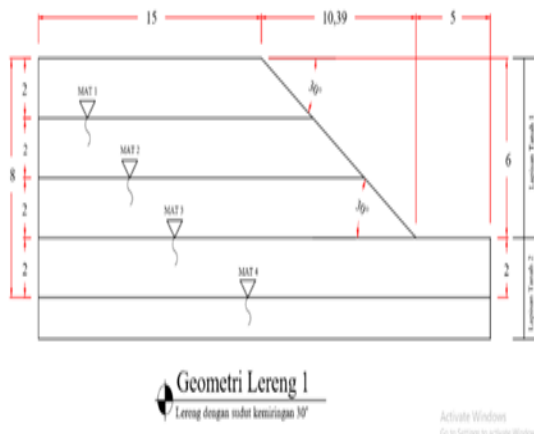
Metode penelitian ini dibagi dalam 3 tahap, yaitu:

- Tahap persiapan
Pada tahap ini dimulai dari studi literatur kemudian membuat model lereng meliputi menyiapkan propertis tanah, geometri lereng
- Tahap proses.
Pada tahap ini merupakan tahap perhitungan faktor keamanan/ *Safety factor* (F_s) dengan cara *trial and error*, kemudian dari beberapa hasil F_s diambil nilai F_s minmum. Untuk menganalisis stabilitas lereng dari muka air tanah dan kemiringan kereng digunakan program bantu Geostudio 2012 dengan memberikan variasi elevasi muka air tanah (+4m; +2m; 0m; -2m) pada sudut kemiringan lereng 30° seperti Gambar 5, variasi elevasi muka air tanah (+4m; +2m; 0m; -2m) dengan sudut kemiringan lereng 45° seperti Gambar 6, dan variasi elevasi muka air tanah (+4m; +2m; 0m; -2m) dengan sudut kemiringan lereng 60° seperti disajikan pada Gambar 7. Dari variasi yang diberikan tersebut sehingga dapat,
 - Diketahui besarnya F_s dari kemiringan sudut masing-masing (30° , 45° , dan 60°) dengan variasi elevasi MAT (+4m; +2m; 0m; -2m) seperti hasil disajikan pada Tabel 4.

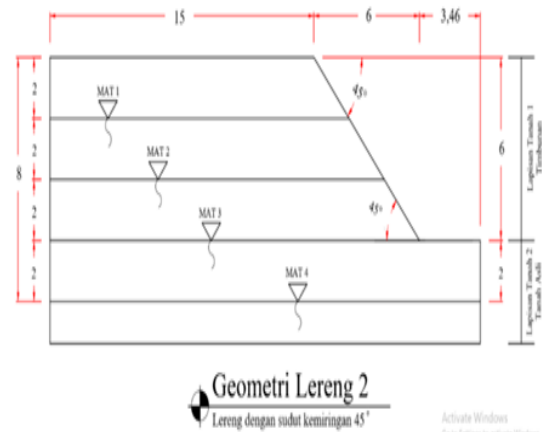
- Hasil perhitungan F_s kemudian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara sudut kemiringan lereng ($^\circ$) terhadap besarnya F_s dengan variasi elevasi MAT seperti pada Gambar 8, dan grafik hubungan antara sudut kemiringan lereng ($^\circ$) terhadap besarnya perubahan faktor keamanan (DF_s) dengan variasi elevasi MAT seperti pada Gambar 9.
- Dari grafik hasil perhitungan (Gambar 8 dan Gambar 9) kemudian dianalisa manakah dari variasi elevasi MAT dengan masing-masing sudutnya yang menghasilkan F_s minimum

Geometri lereng

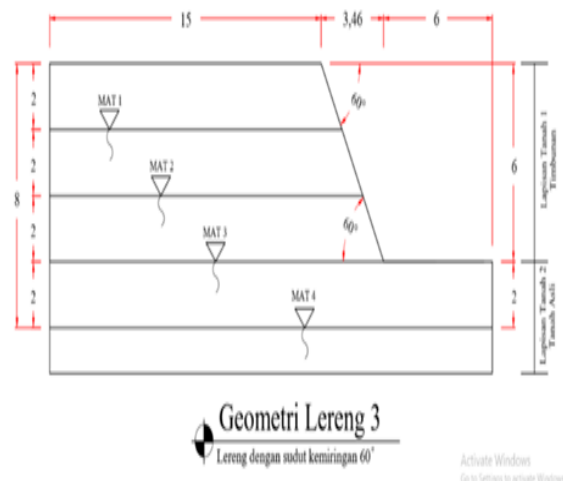
Geometri lereng digambarkan dalam pemodelan geometri lereng dengan 3 variasi sudut lereng sebagai berikut:



Gambar 5. Geometri Lereng 1 (Sudut Lereng 30°)



Gambar 6. Geometri Lereng 2 (Sudut Lereng 45°)



Gambar 7. Geometri Lereng 3 (Sudut Lereng 60°)

Properti tanah

Properti tanah model lereng diberikan pada tabel 1.

Tabel 1. Properti Tanah Dasar

Properti	Simbol	Satuan
Berat Jenis Tanah	γ	16 kN/m ³
Kohesi	c	12,5kN/m ²
Sudut Geser	ϕ	0°

Tabel 2. Properti Tanah Timbunan

Properti	Simbol	Satuan
Berat Jenis Tanah	γ	19 kN/m ³
Kohesi	c	0 kN/m ²
Sudut Geser	ϕ	30°

Variasi tinggi muka air tanah

Besarnya variasi muka air tanah diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Muka Air Tanah

<i>Uraian</i>	<i>Posisi</i>	<i>Tinggi</i>
MAT 1	Tim bunan	4 m
MAT 2	Timbunan	2 m
MAT 3	Timbunan	0 m
MAT 4	Tanah Dasar	-2 m

c) Tahap final

Tahap final merupakan kesimpulan dari tahap proses.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

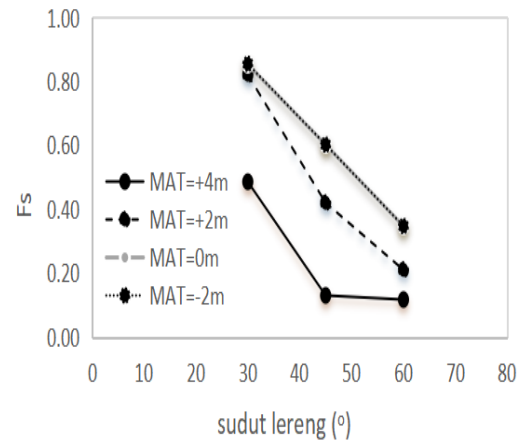
Hasil perhitungan faktor keamanan/*Safety factor* (F_s) untuk masing-masing variasi elevasi Muka Air Tanah (MAT) pada sudut kemiringan lereng (30°; 45°; 60°) disajikan pada Tabel 4 dan perubahan faktor keamanan (ΔF_s) untuk masing-masing variasi elevasi Muka Air Tanah (MAT) pada sudut kemiringan lereng (30°; 45°; 60°) disajikan pada Tabel 5. Dari Tabel 4 dan tabel 5 digambarkan dalam suatu grafik seperti pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Tabel 4. Besarnya F_s Akibat Sudut Kemiringan Lereng (= 30°; 45°; 60°) dengan Variasi Elevasi MAT

<i>sudut kemiringan lereng (°)</i>	<i>F_s</i>			
	<i>elevasi MAT</i>			
	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>-2</i>
30	0.49	0.82	0.85	0.86
45	0.13	0.42	0.6	0.6
60	0.12	0.21	0.35	0.35

Tabel 4, merupakan nilai *Safety factor* (F_s) dari sudut kemiringan lereng (30°; 45°; 60°) dengan variasi MAT (= +4m; +2m; 0; -2m) kemudian dibuat grafik hubungan sudut lereng terhadap F_s dengan variasi

MAT, seperti disajikan pada Gambar 8 sebagai berikut



Gambar 8. Grafik Faktor Keamanan (F_s) Akibat Variasi Sudut Lereng (°) dan Muka Air Tanah (MAT)

Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan sudut lereng (°) terhadap besarnya *Safety factor* (F_s) dengan variasi elevasi MAT.

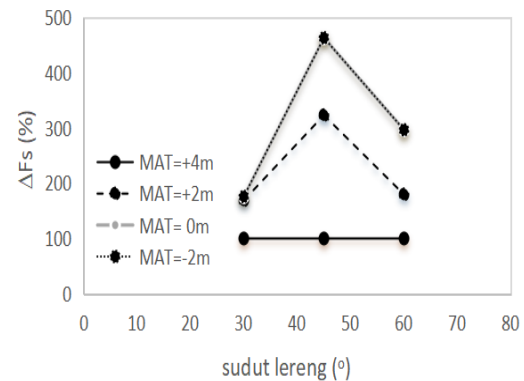
Pada sudut kemiringan lereng yang sama (°) dan elevasi muka air tanah (MAT) yang berbeda, terlihat bahwa *Safety factor* (F_s) semakin besar terjadi pada elevasi MAT semakin kecil/ rendah (berturut-turut MAT = +4m; +2mm; 0m), namun saat MAT dibawah timbunan (MAT = -2m) besarnya F_s praktis tidak mengalami perubahan (tetap). Hal ini disebabkan dengan elevasi MAT yang semakin rendah (mendekati dasar timbunan) maka tekanan air pori di dalam tanah rendah, tegangan efektif (σ'_v) meningkat, sehingga kuat geser (τ) meningkat dan gaya yang menyebabkan longsor (berat timbunan) juga meningkat karena berat efektif timbunan (σ'_v) juga meningkat yang berakibat F_s semakin besar. *Safety factor* (F_s) semakin besar ini karena adanya peningkatan kuat geser tanah (τ) yang lebih signifikan daripada peningkatan gaya yang menyebabkan longsor ketika muka air tanah rendah. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu [7], [9].

Sedangkan pada elevasi MAT yang sama dan sudut lereng yang berbeda ($^{\circ}$), terlihat bahwa F_s semakin kecil terjadi pada sudut lereng semakin besar (30° ; 45° ; 60°) atau semakin curam suatu timbunan, namun saat sudut lereng $> 45^{\circ}$ pada posisi MAT +4m (mendekati tinggi timbunan) besarnya F_s praktis tidak mengalami perubahan (tetap). Hal ini disebabkan ketika sudut lereng semakin besar maka semakin besar komponen gaya gravitasi yang bekerja sejajar dengan permukaan lereng yang menyebabkan longsor semakin besar dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan lereng yang mengakibatkan longsor juga meningkat, sehingga apabila semua yang mengakibatkan longsor meningkat maka *Safety factor* (F_s) menurun. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu [5].

Tabel 5. Besarnya ΔF_s Akibat Sudut Kemiringan Lereng (= 30° ; 45° ; 60°) dengan Variasi Elevasi MAT

sudut kemiringan lereng ($^{\circ}$)	$DF_s = F_{sMAT \text{ ke } i} / F_{sMAT=+4m}$ (%)			
	elevasi MAT			
	4	2	0	-2
30	100	169	176	176
45	100	323	463	463
60	100	179	297	297

Tabel 5 adalah nilai perubahan *Safety factor* (ΔF_s) yang merupakan rasio antara F_s pada elevasi MAT ke i dengan MAT pada elevasi +4m dari sudut kemiringan lereng (= 30° ; 45° ; 60°) dengan variasi MAT (= +4m; +2m; 0; -2m), kemudian dibuat grafik hubungan sudut lereng terhadap ΔF_s dengan variasi MAT, seperti disajikan pada Gambar 9 sebagai berikut



Gambar 9. Grafik Perubahan Faktor Keamanan (ΔF_s) Akibat Variasi Sudut Lereng ($^{\circ}$) dan Muka Air Tanah (MAT).

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan sudut lereng ($^{\circ}$) terhadap besarnya perubahan *Safety factor* (ΔF_s) dengan variasi elevasi MAT, dimana ΔF_s adalah rasio antara F_s saat elevasi MAT ke i dengan F_s pada elevasi MAT= +4m.

Pada sudut kemiringan lereng yang sama ($^{\circ}$) dan elevasi Muka Air Tanah (MAT) yang berbeda, terlihat bahwa pada semua sudut kemiringan (30° ; 45° ; 60°), perubahan *Safety factor* (ΔF_s) semakin besar terjadi pada elevasi MAT semakin kecil/ rendah (berturut-turut MAT= +4m; +2mm; 0m), namun saat MAT dibawah timbunan (MAT= -2m) besarnya ΔF_s praktis tidak mengalami perubahan (tetap). Hal ini disebabkan saat elevasi MAT dibawah timbunan (MAT= -2m), tanah tidak mengalami perubahan kuat geser tanah maupun gaya yang menyebabkan longsor sehingga ΔF_s tetap.

Sedangkan pada elevasi MAT yang sama dan sudut lereng yang berbeda ($^{\circ}$), terlihat bahwa pada elevasi MAT (= +2m; 0m; -2m) terlihat ΔF_s semakin besar terjadi pada sudut lereng (30° sampai 45°) kemudian pada sudut lereng 60° ($> 45^{\circ}$) besarnya ΔF_s semakin mengecil, dan saat elevasi MAT= +4m pada sudut lereng 30° sampai 60° besarnya ΔF_s tetap. Hal ini dikarenakan F_s pada elevasi MAT= +4m merupakan pembagi F_s pada elevasi MAT ke i sehingga $\Delta F_s = 100\%$

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang berjudul Studi Muka Air Tanah dan Kemiringan Lereng terhadap Faktor Keamanan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut,

1. Pada sudut lereng sama dan elevasi MAT yang semakin rendah (MAT= +4m; +2m; 0m; -2m) berakibat tekanan air pori (u) rendah, tegangan efektif (σ'_v) meningkat, sehingga kuat geser tanah (τ) meningkat dan gaya yang menyebabkan longsor (berat timbunan) juga meningkat sehingga *safety factor* (F_s) meningkat. F_s optimal terjadi bila muka air tanah (MAT) tepat didasar timbunan (MAT= 0 m) dengan besar $F_s = 0.85$ untuk sudut kemiringan 30° ; $F_s = 0.60$ untuk sudut kemiringan 45° ; $F_s = 0.38$ untuk sudut kemiringan 60° .
2. Pada elevasi MAT yang sama dan sudut lereng ($^\circ$) semakin besar berakibat komponen gaya gravitasi yang bekerja sejajar dengan permukaan lereng semakin besar, fenomena terjadinya longsor semakin besar dan tegangan geser pada permukaan lereng yang mengakibatkan longsor meningkat. Karena semua yang mengakibatkan longsor meningkat maka *Safety factor* (F_s) semakin kecil.
3. Elevasi MAT dibawah timbunan (MAT= -2m) tidak menyebabkan perubahan kuat geser tanah dan gaya yang menyebabkan longsor sehingga tidak terjadi perubahan nilai F_s (ΔF_s) atau F_s tetap.
4. Dari hasil perhitungan semua nilai $F_s < 1$, sehingga diperlukan perkuatan geosintetik untuk meningkatkan nilai agar $F_s > 1$.
5. Peningkatan kuat geser tanah (τ) lebih signifikan daripada peningkatan gaya yang menyebabkan longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aprianti, E H., Pujiastuti, I., Isfanari, and Rahmawati. E. (2021). "Faktor

Keamanan Lereng Jalan Raya Pusuk Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara Menggunakan Metode Fellenius dan Bishop," *Spektrum Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 55–62, doi: 10.29303/spektrum.v8i1.201.

- [2] Bishop, A.W. (1955). "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes," *Geotechnique*, vol. 5, no. 1, pp. 7–17, doi: 10.1680/geot.1955.5.1.7.
- [3] Cherianto O. A. and Monintja, S. (2014) "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 3, pp. 139–147.
- [4] Das, B.M. (2010). *Principles of geotechnical engineering*, 7th ed. USA: 200 first stamford place, Suite 400.
- [5] Hemid, E. M., Kántor, T. A., Tamma, A., and Masoud, M.A. (2021) "Effect of groundwater fluctuation, construction, and retaining system on slope stability of Avas Hill in Hungary," *Open Geosciences*, vol. 13, no. 1, pp. 1139–1157, doi: 10.1515/geo-2020-0294.
- [6] Kementrian Pekerjaa Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Bina Marga*. PUPR Bina Marga.
- [7] Maulana, M.A. Kakbah, H. C. M., Hadian, M.S.D. and Khoirullah, N. (2023). "Pengaruh Elevasi Permukaan Air Terhadap Probabilitas Kelongsoran Dan Stabilitas Lereng Timbunan di Open Pit 'X' Pt. Berau Coal, Kalimantan Timur.". *Pajajaran Geoscience Journal*. i-ISSN: 2597-4033 Vol. 7, No. 3, Juni 2023, 1359-1406
- [8] Purwanto, Z. Zakaria, E. T. Paripurno, and Boy Yoseph, C. S. S. S. A. (2019). "Angle of slope and slope *safety*

- factor* relationship in gendol river, southern slope of merapi volcano, yogyakarta,” *International Journal of GEOMATE*, vol. 17, no. 64, doi: 10.21660/2019.64.42673.
- [9] Ramadhian, R. A., Zakaria, Z., Muslim, D. , Ashari, M., Santoso, J., and Hardian, A. (2019). “Pengaruh Muka Airtanah Terhadap Sudut Lereng Stabil Pada Pit ‘X’ Pt. Borneo Indobara, Kalimantan Selatan”. *Pajajaran Geosciensce Journal*. i- ISSN: 2597-4033 Vol. 3, No. 4, Agustus 2019, 265-270.
- [10] Wesley, L.D. (2017). *Mekanika Tanah*. Andika Yogyakarta.