

PENGARUH ALIRAN AIR PADA KESTABILAN LERENG

Aazokhi Waruwu^{1*}, Jack Widjajakusuma², Josua Sigalingging³

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan, ³PT. Tiber Jaya Group

^{*1}e-mail: aazokhi.waruwu@uph.edu, ¹jack.widjajakusuma@uph.edu

³josuasigalingging1@gmail.com

ABSTRACT

Bahaya longsor pada suatu lereng dapat dipicu oleh berbagai faktor, termasuk akibat air hujan yang turun di atas permukaan lereng. Pemicu longsor akibat air hujan dapat terjadi sewaktu-waktu. Air hujan yang turun di permukaan dapat mengalir sebagian di dalam tanah dan mengisi rongga-rongga pori tanah. Akibatnya tanah semakin berat dengan kadar air tanah yang semakin tinggi. Selain kadar air, tinggi muka air tanah juga semakin tinggi. Analisis stabilitas lereng perlu dilakukan untuk mendapatkan gambaran pengaruh aliran air terhadap perubahan parameter kuat geser dan faktor keamanan lereng. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data-data dari suatu lereng yang longsor, baik data tanah maupun ukuran eksisting dari lereng. Beberapa uji dilakukan untuk mendapatkan sifat fisis tanah dan kuat geser tanah. Berdasarkan data yang ada dilakukan simulasi numeris untuk memodelkan kondisi tanah yang dibedakan berdasarkan tinggi muka air dan variasi nilai sudut gesek dalam tanah dan kohesi tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai sudut gesek dalam tanah dan kohesi tanah mengalami penurunan akibat peningkatan kadar air tanah. Pengurangan kedua parameter kuat geser tanah diikuti dengan penurunan faktor keamanan lereng yang dapat memicu terjadinya bahaya longsor. Peningkatan faktor keamanan yang signifikan didapatkan apabila nilai kohesi tanah semakin meningkat. Peningkatan kohesi tanah memberikan pengaruh yang baik pada peningkatan faktor keamanan dibandingkan peningkatan sudut gesek dalam tanah.

Kata kunci: Aliran air, lereng, faktor keamanan, longsor, kuat geser

1. PENDAHULUAN

Lereng pada dasarnya merupakan struktur geoteknik yang dapat terjadi oleh alam maupun buatan manusia. Lereng merupakan struktur material geoteknik berupa tanah dan batuan. Analisis kestabilan lereng mengikuti ketentuan-ketentuan yang berlaku dalam rekayasa geoteknik baik bidang mekanika tanah maupun mekanika batuan. Lereng yang mengalami keruntuhan, secara teknis dikatakan telah kehilangan kestabilannya. Sebelum mengalami keruntuhan, lereng tersebut dapat dipastikan mempunyai faktor keamanan yang rendah. Sedangkan lereng yang dalam kondisi stabil dianggap relatif tidak mengalami pergerakan baik ke arah bawah maupun ke atas lereng. Namun lereng yang stabil juga dapat mempunyai faktor keamanan yang relatif kecil, sehingga pada tertentu dapat mengalami keruntuhan (Julianto et al., 2020).

Permasalahan longsor sering dijumpai pada fasilitas transportasi seperti jalan raya, pelabuhan udara, terowongan, dan bendungan. Bahaya longsor juga dapat terjadi pada pekerjaan pengembangan sumber alam seperti tambang. Faktor-faktor yang menyebabkan gangguan pada lereng dapat berupa faktor alami seperti panas matahari, air hujan, kelembaban maupun faktor akibat aktivitas manusia seperti getaran kendaraan, ledakan, dan beban bangunan. Faktor-faktor seperti ini dapat mengganggu lereng, sehingga mengakibatkan keruntuhan (Julianto et al., 2020).

Longsor dalam proses alami yang mengalami perubahan struktur lapisan tanah dapat terjadi akibat adanya gangguan kestabilan pada tanah atau batuan penyusun lereng. Gangguan kestabilan lereng ini dipengaruhi oleh kondisi geomorfologi terutama faktor kemiringan lereng, kondisi batuan ataupun tanah penyusun lereng, dan kondisi hidrologi atau tata air pada lereng (DPU, 2007). Tanah yang mengalami infiltrasi akibat hujan dapat menyebabkan stabilitas lereng menjadi terganggu hingga memicu terjadi bencana longsor pada lereng yang tidak stabil (Hidayat et al., 2023). Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu parameter untuk menentukan potensi longsor, selain kemiringan, tekstur tanah, dan kerapatan sungai (Sobirin et al., 2017).

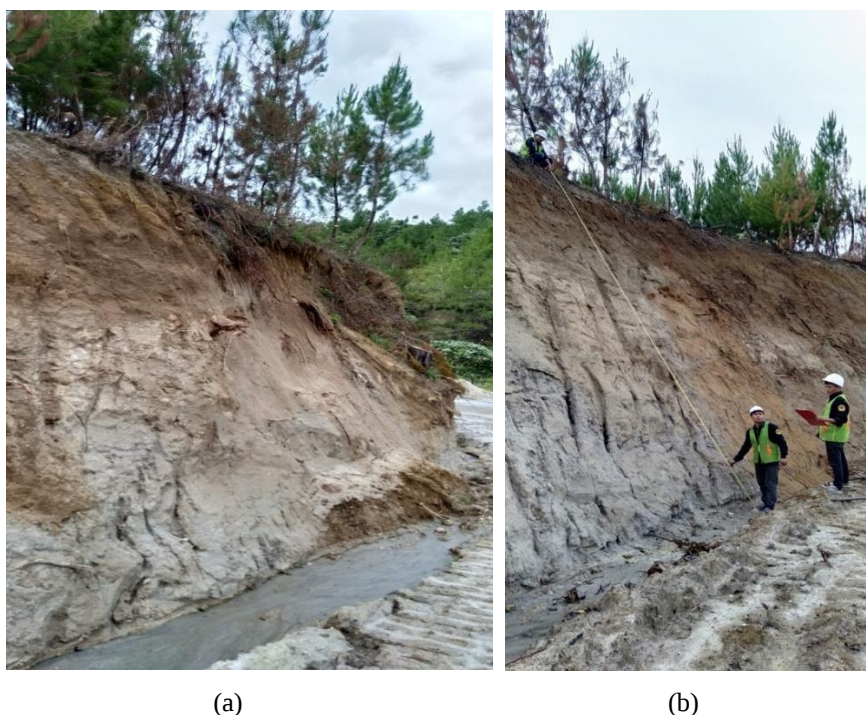
Kelongsoran dapat terjadi karena banyak faktor, seperti halnya infiltrasi curah hujan, gempa bumi, topografi daerah setempat, kemiringan lereng, dan sifat tanah (DPU, 2007). Longsor terjadi pada lereng apabila gaya yang mendorong lebih tinggi dibandingkan dengan gaya yang menahan, hal ini dapat diakibatkan adanya peningkatan intensitas hujan, kemiringan tebing lereng, tebal lapisan tanah, dan jenis tanah (Priyono et al., 2023). Keruntuhan lereng dapat dianalogikan dengan mekanisme gerakan benda pada bidang miring. Gaya yang menyebabkan longsor gaya inilah yang dikatakan sebagai tegangan geser. Sementara gaya yang menahan longsor disebut sebagai kuat geser tanah. Longsor akan terjadi apabila tegangan geser yang bekerja lebih besar dari kuat geser tanah. Tingkat keamanan atau kestabilan dari sebuah lereng dilihat dari nilai faktor keamanan yang dimiliki oleh lereng tersebut. Faktor keamanan dipengaruhi oleh nilai tegangan geser dan kuat geser tanah. Tegangan geser pada lereng bekerja sebagai gaya

pendorong sementara kuat geser bekerja sebagai gaya penahan. Faktor keamanan pada lereng didapat dari perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penyebab longsor (Arif, 2016).

Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan (Pangemanan et al., 2014). Tanah longsor memberikan ancaman besar bagi kehidupan dan harta benda manusia, untuk itu perlu dilakukan penelitian terkait kestabilan lereng dengan menghitung nilai faktor keamanan lereng tersebut, sehingga dapat dilakukan pencegahan awal untuk mengurangi resiko atau kerugian akibat bahaya tanah longsor. Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan suatu lereng. Analisis yang digunakan pada penelitian ini fokus pada pengaruh aliran air dalam lapisan tanah yang memberikan pengaruh pada peningkatan kadar air tanah dan tinggi muka air tanah. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode numeris dengan harapan dapat memberikan gambaran perubahan faktor keamanan pada lereng yang diteliti melalui simulasi perubahan parameter kuat geser akibat perubahan kadar air tanah dan peningkatan muka air tanah.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan mengambil contoh kasus lereng yang mengalami longsor di lapangan (Gambar 1). Penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanah di lapangan menggunakan bor tangan. Selain pengambilan sampel tanah, juga dilakukan pengukuran kondisi eksisting dari bidang longsor di lapangan, termasuk tinggi tebing dan kemiringan lereng yang ada.



Gambar 1. Kondisi longsor di lokasi: (a) Lapisan tanah; (b) Pengukuran bidang longsor

Sampel tanah dari lapangan diuji menggunakan uji *density*, kadar air, berat jenis, permeabilitas, analisa saringan, dan batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan parameter sifat fisik tanah di lapangan. Pengujian pemadatan standard dilakukan untuk mendapatkan kondisi kepadatan maksimum dan kadar air optimum tanah yang diteliti. Uji utama dilakukan dengan alat uji geser langsung untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah sebagai parameter utama dalam menganalisis stabilitas lereng.

Uji kuat geser dilakukan dalam berbagai kondisi tanah yang dibedakan berdasarkan kadar air tanah. Hal ini diperlukan untuk mengetahui perubahan parameter geser tanah akibat perubahan kandungan air dalam tanah. Nilai-nilai parameter geser baik kohesi maupun sudut geser dalam tanah digunakan sebagai dasar dalam menganalisis stabilitas lereng.

Selain pengaruh perubahan kandungan air dalam tanah, variasi muka air tanah juga dimodelkan dalam menentukan faktor keamanan dari lereng yang diteliti. Model muka air tanah dibedakan masing-masing setinggi muka tanah, setengah tebal lapisan tanah yang mengalami longsor, dan tanpa muka air tanah. Hal ini digunakan untuk memodelkan kondisi tanah dalam keadaan jenuh, jenuh sebagian, dan tidak jenuh.

Metode-metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng sangat beragam. Penggunaan metode ini

tergantung pada data yang tersedia, program komputer yang tersedia, tingkat ketelitian perhitungan yang diperlukan, dan luaran yang diperlukan. Semakin teliti data yang digunakan untuk perhitungan kestabilan lereng ini, hasil yang diperoleh akan semakin mendekati kenyataan sebenarnya. Metode-metode yang digunakan antara lain metode perhitungan analitis, metode grafik, dan metode numeris yang diselesaikan dengan bantuan program komputer (Arif, 2016). Analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode numeris untuk mendapatkan pengaruh perubahan parameter geser tanah akibat perubahan kadar air dan pengaruh perubahan muka air tanah terhadap faktor keamanan lereng.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji pendahuluan dari sampel tanah di lokasi penelitian ditunjukkan dalam **Tabel 1**. Berdasarkan hasil analisis saringan, batas cair (*LL*), dan indeks plastisitas (*PI*), maka tanah dapat diklasifikasikan menggunakan metode klasifikasi USCS. Jumlah lolos saringan No. 200 < 50% dan lolos saringan No. 5 > 50%, maka tanah termasuk sebagai pasir (S). Indeks plastisitas tanah sebesar $1,68\% < 4\%$ maka tanah dapat termasuk sebagai pasir berlanau (SM), namun oleh karena lolos saringan No. 200 berada di antara 5-12% maka jenis tanah dapat berupa SW-SM atau SP-SM tergantung dari gradasi tanah, jenis SW-SM untuk tanah pasir berlanau bergradasi baik dan SP-SM untuk tanah pasir berlanau bergradasi buruk.

Tabel 1. Sifat fisik tanah yang diteliti

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Berat isi kering (<i>d</i>)	16,390	kN/m ³
2	Berat isi basah (<i>b</i>)	19,400	kN/m ³
3	Kadar air (<i>w</i>)	18,44	%
4	Berat jenis (<i>G_s</i>)	2,61	-
5	Koefisien permeabilitas	0,0003	m/hari
6	Analisa saringan	1. Tertahan saringan No 200 = 94,23%	
		2. Lolos saringan No.200 = 5,77%	
		3. Lolos saringan No.4 = 98,87%	
7	Atterberg limit	<i>LL</i> = 24,36%, <i>PL</i> = 22,68%, <i>PI</i> = 1,68%	

Uji pemadatan dilakukan pada sampel tanah dari lokasi longsor untuk mendapatkan parameter kepadatan dan kadar air optimum. Hasil uji pemadatan tanah didapatkan kadar air optimum sebesar 18,75% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,63 kg/cm³. Simulasi berikutnya dilakukan perubahan kadar air untuk pembuatan sampel uji kuat geser tanah. Berdasarkan hasil uji kuat geser langsung didapatkan parameter kuat geser seperti terlihat pada **Tabel 2**. Tanah dibedakan dalam 3 (tiga) variasi masing-masing mewakili kondisi basah sebagai variasi 1, mewakili kondisi sedang sebagai variasi 2, dan mewakili kondisi kering sebagai variasi 3. Hasil uji kuat geser menunjukkan bahwa kadar air tanah memberikan pengaruh pada parameter kuat geser baik kohesi maupun sudut gesek dalam tanah. Kedua parameter ini semakin berkurang pada tanah-tanah yang lebih basah.

Simulasi numeris dilakukan untuk mendapatkan faktor keamanan pada lereng yang diteliti. Kuat geser tanah dibagi dalam 3 (tiga) kelompok dengan mengambil nilai rata-rata dari masing-masing kelompok baik nilai kohesi maupun nilai sudut geser dalam tanah. Hasil parameter kuat geser tanah rata-rata yang dianalisis seperti terlihat dalam **Tabel 3**. Kedua parameter geser tanah semakin tinggi seiring dengan semakin rendahnya kadar air tanah.

Faktor keamanan dari lereng yang diteliti dianalisis menggunakan metode numeris. Tahapan utama dalam menghitung nilai faktor keamanan diawali dengan pemodelan lereng, input parameter, kondisi batas, kondisi awal, dan keluaran faktor keamanan. Input data-data material menggunakan parameter tetap seperti ditunjukkan dalam **Tabel 4**. Sedangkan untuk parameter kuat geser menggunakan data pada **Tabel 3**. Pengembangan lainnya adalah simulasi dalam perubahan tinggi muka air seperti yang telah dijelaskan dalam metode penelitian ini.

Tabel 2. Hasil analisis uji geser langsung

Sampel	Kadar Air (%)	Parameter kuat geser	
		Kohesi (kN/m ²)	Sudut Gesek

			(°)
Variasi 1	18,454	2,972	21,95
	21,407	2,246	18,18
	24,359	0,991	15,78
Variasi 2	27,312	0,716	15,34
	17,531	3,168	23,38
	20,336	3,06	19,56
	23,141	1,981	16,00
	25,946	0,363	14,67
Variasi 3	16,609	3,148	24,18
	19,266	3,06	21,34
	21,923	1,981	18,39
	24,581	1,265	16,44

Tabel 3. Nilai parameter kuat geser tanah rata-rata yang dianalisis

No	Variasi kadar air	Kohesi (Crata-rata)	Sudut geser (rata-rata)
1	Variasi 1	1,730 kN/m ²	17,8125°
2	Variasi 2	2,143 kN/m ²	18,4025°
3	Variasi 3	2,363 kN/m ²	20,0875°

Tabel 4. Input parameter tanah yang dianalisis

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
Jenis perilaku material	Jenis	Terdrainase	-
Berat isi jenuh	γ_{unsat}	19,400	kN/m ³
Berat isi tanah tidak jenuh	γ_{sat}	16,390	kN/m ³
Permeabilitas arah horizontal	k_x	0,0003	m/hari mm/hari
Permeabilitas arah vertikal	k_y	0,0003	kN/m ²
Modulus Young	E_{ref}	2943,000	-
Angka pori	V	0,333	

Hasil analisis faktor keamanan dengan tinggi muka air yang berbeda-beda ditunjukkan pada **Tabel 5**. Faktor keamanan untuk tinggi muka air yang sama terlihat berbeda-beda pada parameter kuat geser tanah yang berbeda-beda. Parameter kuat geser tanah yang lebih tinggi memperlihatkan faktor keamanan yang lebih tinggi juga. Ini dapat diartikan bahwa akibat kandungan air yang semakin tinggi dalam butiran tanah, kuat geser tanah semakin berkurang sehingga lereng semakin kurang stabil. Dengan demikian aliran air yang semakin tinggi dalam butiran-butiran tanah dapat memicu bahaya longsor.

Tinggi muka air tanah dapat semakin tinggi sesaat setelah hujan turun. Perubahan tinggi muka air tanah dapat dimodelkan menggunakan analisis simulasi numeris untuk mendapatkan perubahan faktor keamanan lereng. Hasil simulasi dapat dilihat pada **Gambar 2**. Tinggi muka air tanah dapat menjadi pemicu bahaya longsor, hal ini dapat dilihat dari simulasi numeris yang dilakukan didapatkan bahwa peningkatan muka air tanah sampai di permukaan tanah dapat mengurangi faktor keamanan sekitar 22% dan peningkatan muka air tanah sampai setengah dari tebal lapisan tanah mengurangi faktor keamanan sekitar 17%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tinggi muka air tanah memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan faktor keamanan lereng.

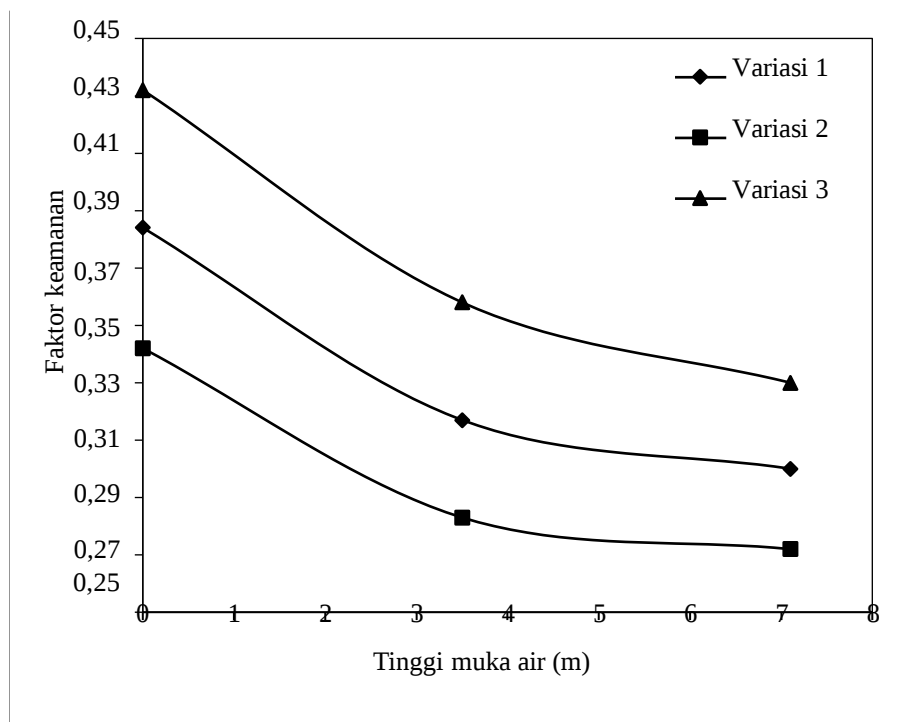
Tabel 5. Hasil analisis lereng akibat perubahan muka air tanah

Variasi Parameter	Faktor Keamanan	Tinggi muka air (m)
Sifat Mekanis Tanah		
Variasi 1	0,272	7,1

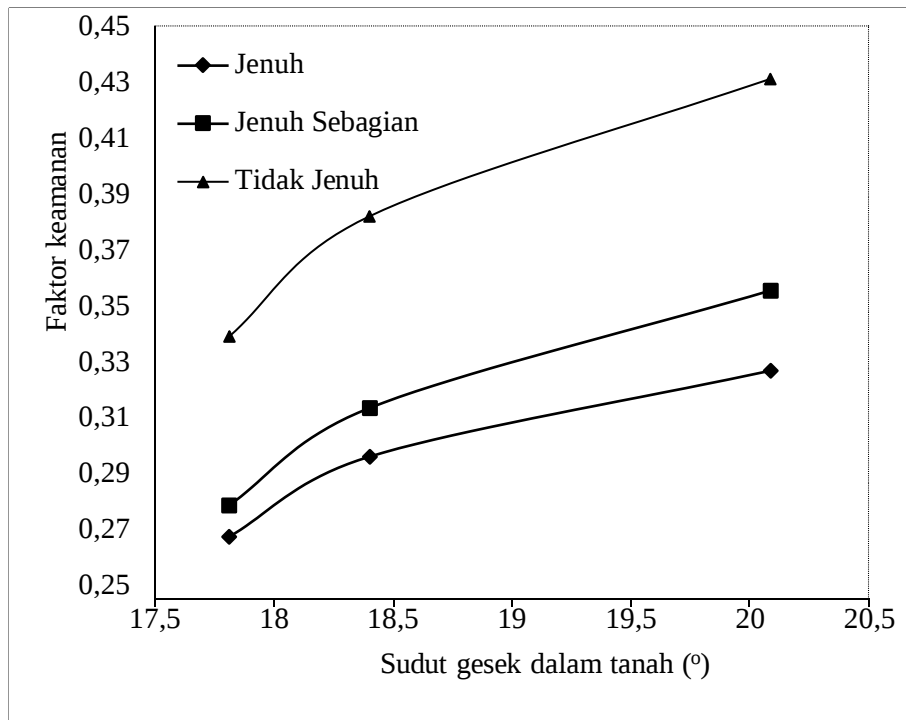
Variasi 2	0,283	3,5
	0,342	0
	0,300	7,1
	0,317	3,5
	0,384	0
Variasi 3	0,330	7,1
	0,358	3,5
	0,432	0

Kuat geser tanah yang menahan tegangan geser tanah dipengaruhi oleh parameter kuat geser, baik kohesi tanah maupun sudut gesek dalam tanah. Perubahan kadar air tanah ikut mempengaruhi perubahan kedua parameter kuat geser tanah. Berdasarkan simulasi perubahan kedua parameter kuat geser didapatkan nilai faktor keamanan pada lereng yang dianalisis. Hubungan antara sudut gesek dalam tanah dengan faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan hubungan nilai kohesi dengan faktor keamanan ditunjukkan dalam **Gambar 4**. Peningkatan kedua parameter kuat geser sama-sama memberikan pengaruh yang positif dalam meningkatkan faktor keamanan lereng. Pola grafik kedua parameter kuat menunjukkan perbedaan satu sama lainnya. Akibat peningkatan sudut gesek dalam tanah terlihat grafik polinomial yang melengkung ke bawah, sedangkan peningkatan kohesi memperlihatkan pola lengkung ke atas.

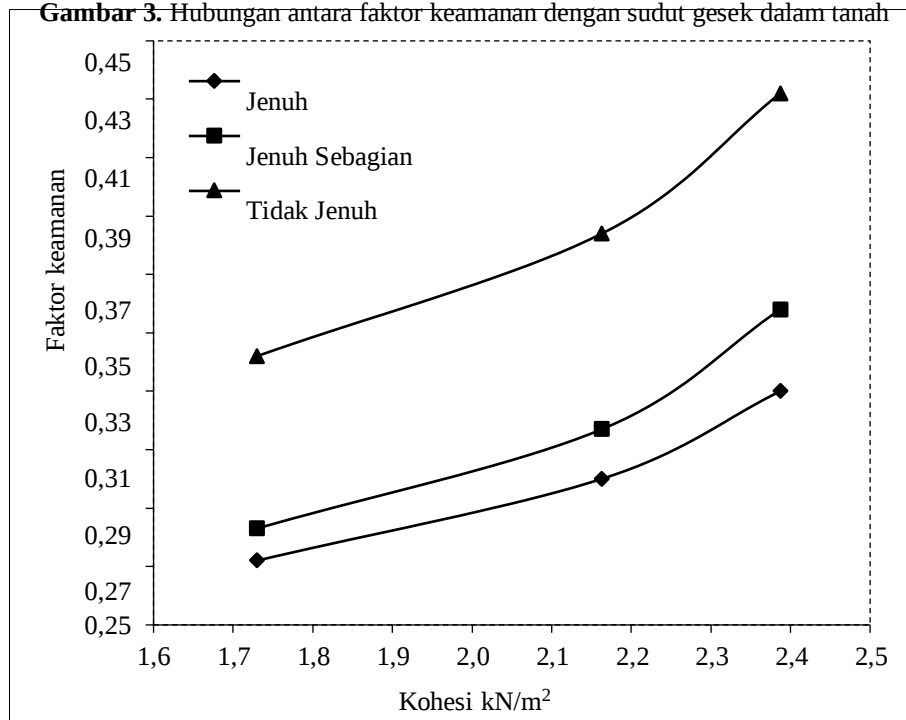
Peningkatan faktor keamanan untuk peningkatan sudut gesek dalam tanah didapatkan tidak setinggi untuk peningkatan kohesi. Ini dapat diartikan bahwa peningkatan nilai kohesi tanah memberikan pengaruh yang sangat berarti dalam peningkatan faktor keamanan. Kohesi tanah berhubungan dengan ketahanan tanah dalam memberikan lekatan antar partikel tanah, semakin tinggi kohesi maka lekatan antar partikel semakin tinggi. Akibatnya kuat geser lereng semakin tinggi, faktor keamanan semakin tinggi, dan kemungkinan terjadinya longsor semakin kecil.



Gambar 2. Hasil hubungan faktor keamanan dengan tinggi muka air tanah



Gambar 3. Hubungan antara faktor keamanan dengan sudut gesek dalam tanah



Gambar 4. Hubungan antara faktor keamanan dengan nilai kohesi

4. KESIMPULAN

Aliran air dalam tanah dapat berbentuk infiltrasi akibat hujan yang terjadi di permukaan. Aliran air ini dapat meningkatkan kadar air tanah dan tinggi muka air tanah sesaat setelah terjadinya hujan. Peningkatan kadar air dalam tanah dapat mengurangi kuat geser tanah yang ditandai dengan pengurangan nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah. Berdasarkan simulasi numeris untuk perubahan parameter kuat geser tanah dan muka air tanah didapatkan beberapa

kesimpulan. Kandungan air yang semakin tinggi dalam butiran tanah mengakibatkan kuat geser tanah semakin berkurang sehingga lereng semakin kurang stabil. Dengan demikian aliran air yang semakin tinggi dalam butiran-butiran tanah dapat memicu bahaya longsor. Peningkatan muka air tanah sampai di permukaan tanah dapat mengurangi faktor keamanan sekitar 22% dan peningkatan muka air tanah sampai setengah dari tebal lapisan tanah mengurangi faktor keamanan sekitar 17%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tinggi muka air tanah memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan faktor keamanan lereng. Peningkatan nilai kohesi tanah memberikan pengaruh yang sangat berarti dalam peningkatan faktor keamanan pada suatu lereng dibandingkan dengan peningkatan sudut gesek dalam tanah. Kohesi tanah berhubungan dengan ketahanan tanah dalam memberikan lekatan antar partikel tanah, semakin tinggi kohesi tanah, maka lekatan antar partikel semakin tinggi. Akibatnya kuat geser lereng semakin tinggi, faktor keamanan semakin tinggi, dan kemungkinan terjadinya longsor semakin kecil. Berdasarkan hasil dan kesimpulan, maka disarankan untuk melakukan penelitian dengan model skala laboratorium untuk mengamati perilaku lereng yang tergenang air dan upaya perbaikan dengan sistem drainase sehingga parameter kuat geser tanah pada lereng menjadi naik dan memungkinkan faktor keamanan lereng semakin meningkat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyediaan data-data dalam penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada Universitas Pelita Harapan yang memberikan dukungan dalam penyusunan artikel hingga dapat dipublikasikan pada seminar nasional.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- DPU. (2007). Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor. In *Dinas Pekerjaan Umum* (Vol. 53, Issue 9). Departemen Pekerjaan Umum.
- Hidayat, R., Wijaya, I. P. E. P., & Munir, M. D. (2023). Mekanisme Longsor Akibat Infiltrasi dari Genangan Air (Studi Kasus Longsor di Lahat, Sumatera Selatan). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.701>
- Julianto, Y., Hakam, A., & Yuliet, R. (2020). Analisa Stabilitas Lereng dan Perencanaan Penstabilan Lereng (Studi Kasus POLRES Arosuka Kabupaten Solok). *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(1), 34–42. <https://doi.org/10.21063/jts.2019.v701.05>
- Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 37–46. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/3920>
- Priyono, Triatmojo, S., & Rahayu. (2023). Mitigation of Landslide Prone Areas in Anticipation of Climate Change Impacts. *Journal of Multidisciplinary Research*, 2(1), 32–46. <https://doi.org/10.56943/jmr.v2i1.277>
- Sobirin, Sitanala, F. T. R., & Ramadhan, M. (2017). Analisis Potensi dan Bahaya Bencana Longsor Menggunakan Modifikasi Metode Indeks Storie di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. *Industri Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung*, 8, 59–64.