

Pengaruh Sudut Kemiringan Lereng Terhadap Kejadian Longsor Takalar

The Influence of Slope Angle on the Takalar Landslide

Yogina Lestari Ayu Situmorang¹

¹Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Padjadjaran

¹ yoginalestariayu@gmail.com

Abstract

The aim of This study is to analyse the causes of repeated landslides by considering the design soil parameters. In this study, the influence of the slope angle on the safety factor will also be presented so that the optimal slope angle is selected as an alternative solution to the landslide problem. Slope stability analysis was carried out using the finite element method. The soil data used are the results of field and laboratory investigations to test physical properties, mechanical properties, and soil mineral content. Then, measurements of the slope geometry in the field are taken, and computer modelling is carried out. Analysis of existing conditions involves back analysis using the finite element method so that the field's computational results are by landslide conditions. From the analysis results, the plinth slope at the Pamakkulu Dam location is indicated to be stable at a slope ratio of 1V:3H, with a safety factor of 1.717 and an increase in the percentage of safety factor of 72.7%. The relationship between the slope angle and the safety factor is inversely proportional. The smaller the slope angle, the greater the resulting safety factor.

Keywords: Slope Angle, Takalar Clay Shale, Landslide

Abstrak

Tujuan dari studi ini adalah menganalisis penyebab kejadian longsor berulang dengan memperhatikan kembali parameter tanah desain. Pada studi ini juga akan disampaikan besar pengaruh sudut kemiringan lereng terhadap faktor keamanan sehingga terpilih sudut kemiringan yang optimal sebagai alternatif solusi masalah longsor. Analisis kemandapan lereng dilakukan menggunakan metode elemen hingga. Data tanah yang digunakan adalah hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium untuk uji sifat fisik, uji sifat mekanik dan kandungan mineral tanah. Kemudian dilakukan pengukuran pada geometri lereng di lapangan hingga pada pemodelan komputer. Analisis kondisi eksisting melibatkan analisis balik dengan metode elemen hingga, sehingga hasil komputasi sesuai dengan keadaan longsor di lapangan. Dari hasil analisis, lereng plinth di lokasi Bendungan Pamakkulu terindikasi stabil pada sudut kemiringan lereng 20 °, dengan faktor keamanan sebesar 1,717 dan peningkatan presentase faktor keamanan sebesar 72.7%. Hubungan antara besar sudut kemiringan lereng terhadap faktor keamanan adalah berbanding terbalik. Semakin kecil pelandaian sudut lereng maka semakin besar pula faktor keamanan yang dihasilkan.

Kata kunci: Sudut Kemiringan Lereng, Clay Shale Takalar, Longsor

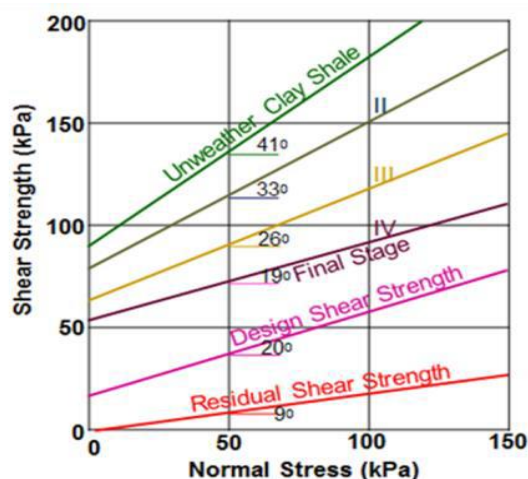
Pendahuluan

Salah satu solusi mengatasi permasalahan air melibatkan pembangunan bendungan dalam pemenuhan penyediaan air baku, energi listrik, irigasi, dan fungsi konservasi. Dalam pemilihan lokasi untuk dibangunnya sebuah bendungan, cenderung memilih topografi berupa cekungan yang terdiri dari perbukitan dan Lembah. Dengan demikian pada proses konstruksi bendungan selalu berhadapan dengan pekerjaan galian dan timbunan tanah atau batu dengan skala besar. Adapun studi ini berlokasi di Bendungan Pamakkulu di Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Proyek ini memiliki manfaat mencakup pengairan lahan irigasi seluas 6.150 Ha, pengurangan risiko banjir, penyediaan air baku sebanyak 160 liter/detik, dan potensi pembangkit listrik tenaga air sebesar 4,3 MW.

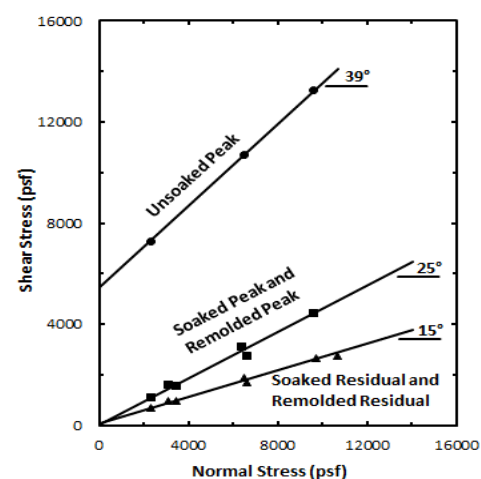
Selama proses konstruksi tercatat kejadian longsor sebanyak tiga kali di lokasi lereng yang sama yaitu di area *plinth* bendungan. Dari Investigasi, sudut kemiringan lereng eksisting saat longsor terjadi adalah sebesar 45°.

Laporan penyelidikan tanah dan geologi sebelumnya, menyatakan bahwa tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah lempung keras atau batuan lunak. Informasi ini menimbulkan kesan bahwa lapisan tanah tersebut stabil dan bebas dari masalah tanpa menyadari potensi bahaya longsor. Namun, uji mineralogi pada batuan mengindikasikan adanya mineral penyusun *Clay shale* seperti kaolinite dan montmorillonite. *Clay shale* memiliki sensitivitas terhadap pengurangan tegangan lateral dan eksposur, yang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan pada tanah (Irsyam, 2007).

Pada dasarnya *Clay shale* merupakan formasi batuan lempung yang terendapkan selama ribuan tahun. Karena adanya tekanan pada waktu yang lama di dalam tanah, maka lapisan tersebut akan menjadi sangat keras. Menurut Gouw (2019), *Clay shale* pada umumnya memiliki jumlah pukulan SPT sebesar 60 pukulan/kaki atau lebih tinggi. *Clay shale* banyak dijumpai di Indonesia khususnya di Pulau Jawa dan Sulawesi. Beberapa kasus keruntuhan di Indonesia yang terjadi akibat *Clay shale* diantaranya Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Air Tulis (1995), Bangunan Atlet Hambalang (2013), Jalan Raya Bebas Hambatan Penggaron (2015), Jalan Raya Bebas Hambatan Cisomang (2017). Saat keberadaannya masih di alam dan terlindungi oleh tanah jenis lain, *Clay shale* memiliki kuat geser yang tinggi dan akan mengalami penurunan kuat geser saat bersentuhan langsung dengan atmosfer dan hidrosfer. Kekuatan geser *Clay shale* menurun dengan cepat dikarenakan rusak akibat proses pelapukan, seperti pengeringan dan hilangnya tegangan (Irsyam, 2011). Gartung (1986) melaporkan *unweather Clay shale* dapat memiliki kohesi efektif setinggi 85 kPa dengan sudut geser sebesar 41° . Namun, saat terkena atmosfer tanah akan lapuk sangat cepat dan kekuatan gesernya menurun sampai dengan serendah *zero cohesion* serta sudut geser tersisa sampai dengan 9° . Temuan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Stark dan Duncan (1991) membandingkan kuat geser *Clay shale* yang direndam dengan yang tidak direndam diambil dari Bendungan San Luis California yang tanah dasarnya berupa lapisan lempung. Dari sampel yang dikeringkan, dilakukan Uji Geser Langsung. Temuan Stark dan Duncan dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kohesi kekuatan puncak yang tidak direndam adalah setinggi 5500 psf (260 kPa) dengan sudut geser 39° , sedangkan kondisi direndam tidak ada lagi kohesi dan praktis residual sudut geser turun hingga serendah 15° .



Gambar 1. Grafik Reduksi Kuat Geser *Clay shale* (Gartung, 1986)



Gambar 2. Kuat Geser *Clay shale* Tidak Direndam dan direndam (Stark and Duncan, 1991)

Pada studi yang dilakukan oleh Gouw (2015) terhadap penanganan longsor di Tana Toraja, Sulawesi Selatan juga menunjukkan berkurangnya kuat geser tanah *Clay shale* secara signifikan setelah terekspos cuaca luar. Dari keadaan maksimumnya saat belum terekspos nilai kohesi sebesar 85 kPa turun menjadi 20 kPa. Sedangkan sudut geser dalam yang semula 41° tereduksi menjadi 17° saat setelah terekspos.

Hal ini menjadi perhatian khusus, bagaimana penentuan parameter tanah yang tepat digunakan dalam perencanaan. Kejadian longsor berulang juga berdampak pada penundaan penyelesaian pekerjaan, terutama pada pekerjaan *plinth*. Kemudian *plinth* merupakan struktur pondasi utama pada bendungan tipe CFRD (*Concrete Face Rockfill Dam*). Oleh karena itu, studi ini akan melakukan analisis lebih lanjut terkait penyebab longsor dengan menggunakan metode elemen hingga dalam meninjau kembali parameter tanah dalam perencanaan. Kemudian dibuat usul sebagai alternatif solusi dengan sudut kemiringan lereng yang lebih stabil.

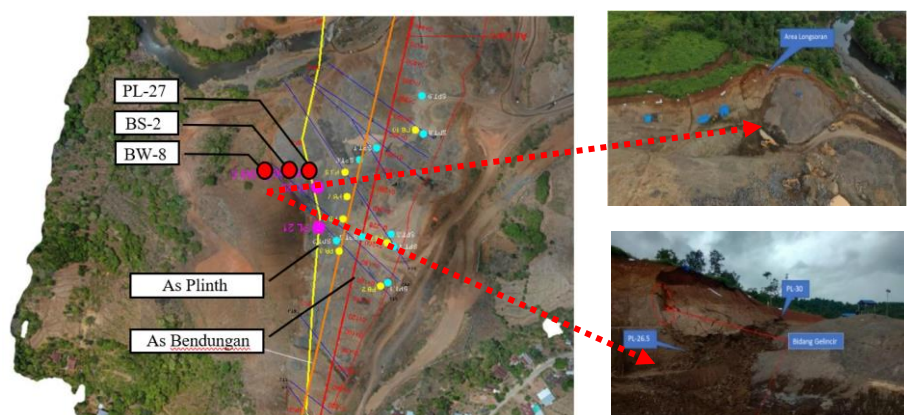
Metode Penelitian

Studi ini berlokasi di Lokasi Proyek Bendungan Pamakkulu, Desa Kale Ko'mara Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi Proyek Bendungan Pamakkulu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Bendungan Pamakkulu

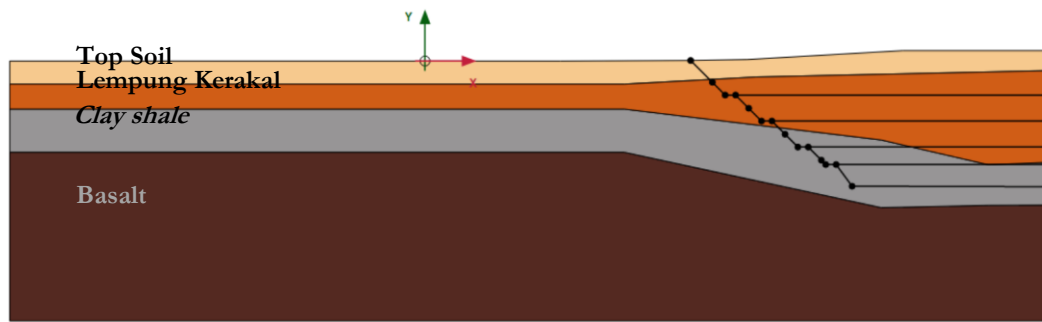
Berawal dari kejadian longsor pertama pada lereng galian di area konstruksi Plinth-26 hingga Plinth 30 Bendungan Pamakkulu seperti terlihat pada Gambar 4. Kemudian 2 longsor susulan kembali terjadi. Sudut kemiringan lereng yang curam yaitu 45° menjadi salah satu penyebab besar lereng tersebut tidak stabil. Dalam proses pengecekan kelongsoran lereng, terdapat beberapa hal yang harus ditentukan sebelumnya. Hal tersebut meliputi geometri lereng, pelapisan tanah serta parameternya, lokasi muka air tanah hingga pemetaan kelongsoran pada lereng. Untuk memperoleh parameter kuat geser yang akurat, beberapa sampel tanah diambil dari lubang uji bor di area lereng. Lokasi bor penyelidikan geologi dan hasilnya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Lokasi Titik Bor Pada Area Studi dan (b) Situasi Longsor

Untuk mengetahui keadaan lebih jelas dari tanah, maka dilakukan uji mineralogi dengan analisis Petrografi dan XRD pada lokasi longsoran. Analisis Petrografi dilakukan untuk mengetahui komposisi mineral penyusun batuan beserta persentasenya.

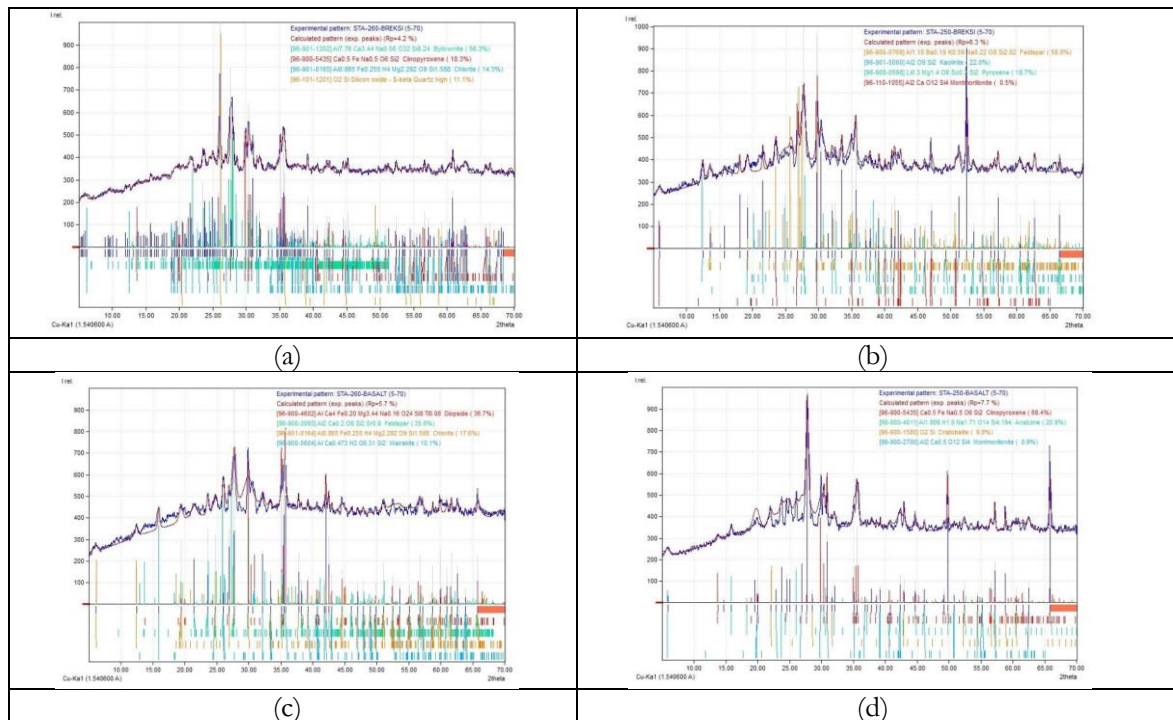
Setelah semua parameter diperoleh, maka dilakukan analisis balik untuk menentukan parameter kuat geser aktual yang menyebabkan keruntuhan lereng dengan menggunakan metode elemen hingga Plaxis dan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb* dipilih sebagai model tanah. Dari analisis tersebut, nantinya akan diperoleh parameter lapisan tanah *Clay shale* saat SF (*Safety Factor*) mencapai nilai 1. Selanjutnya pada lapisan *Clay shale*, parameter hasil perhitungan balik kemudian dikomparasikan dengan parameter *Clay shale* lain yang ditemukan di Pulau Jawa dan Sulawesi. Model geometri lereng yang digunakan saat analisis menggunakan Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5 dengan input parameter setiap lapisan tanah.



Gambar 5. Model Geometri Lereng

Hasil dan Pembahasan

Pada konstruksi bendungan tidak lepas dari pekerjaan galian dan timbunan tanah. Oleh karena itu tanah berperan penting terhadap kemantapan lereng akibat lereng buatan yang terbentuk dari pekerjaan tersebut. Kejadian longsor berulang menjadi evaluasi dari bagaimana keadaan tanah yang sebenarnya. Penyelidikan tanah tidak hanya dilakukan untuk melihat sifat fisik dan mekanik nya saja. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih rinci tentang kondisi tanah, dilakukan uji mineralogi dengan menganalisis Petrografi dan XRD di lokasi yang mengalami longsor. Analisis Petrografi dilaksanakan untuk mengetahui komposisi mineral pembentuk batuan beserta persentasenya. Sementara itu, analisis XRD digunakan untuk mengidentifikasi jenis mineral secara spesifik yang mungkin tidak terlihat dalam potongan tipis batuan pada analisis petrografi. Pada umumnya, tanah lempung alami memiliki campuran lebih dari satu jenis mineral, termasuk mineral lempung, non-lempung, serta unsur organik dan anorganik. Namun, hingga saat ini, menurut Evi (2008), belum ada hasil studi yang secara rinci menjelaskan pengaruh dan interaksi antara setiap jenis mineral secara individu terhadap perilaku tanah. Kendati demikian, informasi mengenai komposisi dan proporsi mineral sangat penting untuk memahami secara komprehensif serta digunakan sebagai pedoman dalam menggambarkan perilaku tanah. Wesley (2009) dalam karyanya secara umum menyatakan bahwa keberadaan kaolinite dan illite mencirikan tanah yang memiliki sifat cukup baik, karena keduanya memiliki aktivitas rendah hingga sedang serta kekuatan geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan montmorillonite. Dengan demikian, jika suatu lereng mengandung mineral lempung seperti kaolinite dan illite, kemungkinan besar akan membentuk lereng dengan kemiringan yang lebih curam daripada yang mengandung mineral montmorillonite. Jenis longsor yang terjadi kemungkinan besar adalah longsor translasi dangkal, dengan faktor penyebab utamanya adalah curah hujan yang intens dan berkepanjangan. Dalam lokasi studi ini, diambil empat sampel, yakni Breksi di STA 0+250, Basalt STA 0+250, Breksi STA 0+260, dan Basalt STA 0+260. Hasil uji XRD terhadap *Clay shale* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 1.



Gambar 6. Hasil X-ray Diffraction Bendungan Pamakkulu (a) STA-260-Breksi (b) STA-250-Breksi (c) STA-260-Basalt (d) STA-250 Basalt

Dari gambar grafik di atas, teridentifikasi kandungan dan komposisi baik lempung mineral maupun non mineral seperti terangkum dalam Tabel 1. di bawah ini.

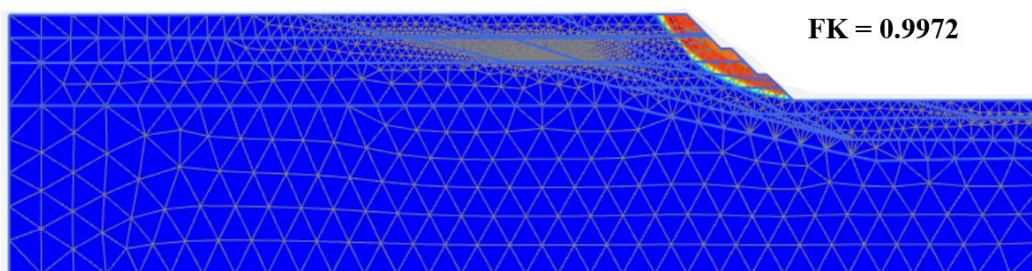
Tabel 1. Komposisi Jenis Kandungan Mineral Uji XRD

Sampel	Jenis Kandungan	Komposisi (%)	Formulasi Kimia
STA-260-Breksi	<i>Bytownite</i>	56,3	Al7.76 Ca3.44 Na0.56 O32 Si8.24
	<i>Clinopyroxene</i>	18,3	Ca0.5 Fe Na0.5 O6 Si2
	<i>Chlorite</i>	14,3	Al.865 Fe0.255 H4 Mg2.292 O9 Si1.588
	<i>Beta Quartz high</i>	11,1	O2 Si Silicon oxide
	<i>Feldspar</i>	58,8	Al1.18Ba0.19 K0.59 Na0.22 O8 Si2.82
STA-250-Breksi	<i>Kolinite</i>	22,0	Al2 O9 Si2
	<i>Pyroxene</i>	18,7	Li0.3 Mg1.4 O6 Sc0.3 Si2
	<i>Montmorillonite</i>	0,5	Al2 Ca O12 Si4
	<i>Diopside</i>	36,7	Al Ca4 Fe0.20 Mg3.44 Na0.16 O24 Si8 Ti0.08
STA-260-Basalt	<i>Feldspar</i>	35,6	Al2 Ca0.2 O8 Si2 Sr0.8
	<i>Chlorite</i>	17,6	Al0.865 Fe.255 H4 Mg2.292 O9 Si1.588
	<i>Wairakite</i>	10,1	Al Ca0.473 H2 O6.31 Si2
STA-250 Basalt	<i>Cinopyroxene</i>	68.4	Ca 0.5 Fe Na 0.5 O6 Si2
	<i>Analcime</i>	20,9	Al1.806 H1.8 Na1.71 O14 Si4.194
	<i>Cristobalite</i>	9,8	O2 Si
	<i>Montmorillonite</i>	0,9	Al2 Ca0.5 O12 Si4

Sumber: Hasil Laboratorium

Berdasarkan hasil analisis Petrografi dan XRD dari sampel, diperoleh informasi bahwa terdapat kandungan mineral penyusun *Clay shale* pada area project utamanya berlokasi di area lereng plinth yang longsor. Mineral yang dimaksud yaitu *kaolinite* dan *montmorillonite*. *Kaolinite* mendominasi sebesar 22 % ditemukan pada lapisan Breksi. Sedangkan mineral *montmorillonite* di temukan di dua sampel meskipun sangat sedikit kandungannya. Pada lapisan Breksi sebesar 0.9% dan pada lapisan Basalt 0.5 %. Secara umum, kehadiran *kaolinite* mencirikan tanah penyusun pada daerah studi memiliki properti fisik dan teknik yang cukup baik. Keberadaan *montmorillonite* meskipun hanya kecil tetap harus diwaspadai. Kandungan mineral *Clay shale* ini disinyalir ikut andil sebagai salah satu penyebab terjadinya longsor berulang, selain sudut lereng yang digali cukup curam.

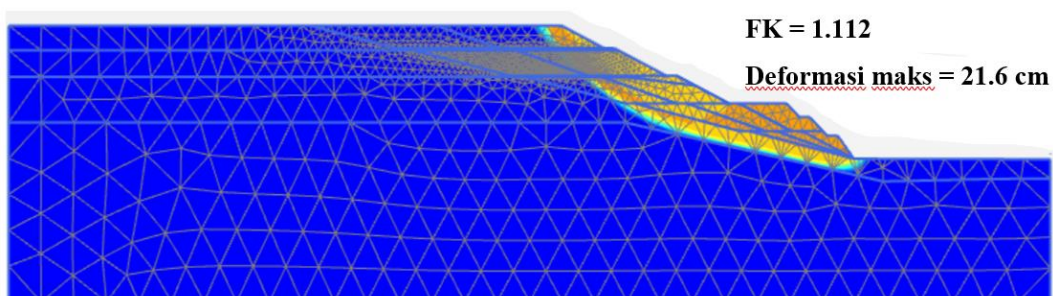
Analisis balik pada Gambar 7 disimulasikan hingga faktor keamanan lereng galian eksisting diperoleh sebesar 0.9972. Nilai FK mendekati 1 menggambarkan kondisi kelongsoran pada perhitungan numerik sama dengan yang terjadi di lapangan. Hasil simulasi kejadian longsor diperkuat dengan hasil luaran berupa bidang gelincir yang serupa dengan gambaran bidang gelincir di lapangan. Kondisi longsor merupakan longsor rotasi. Dari analisis balik, juga diperoleh parameter *Clay shale* yang tereduksi. Nilai kuat geser pada *Clay shale* turun menjadi $c' = 8 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi' = 21$ dari semula kuat geser desain yang diperoleh dari hasil laboratorium dan lapangan $c' = 20 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi' = 48$.



Gambar 7. Estimasi Kondisi Eksisting Hasil Analisis Balik

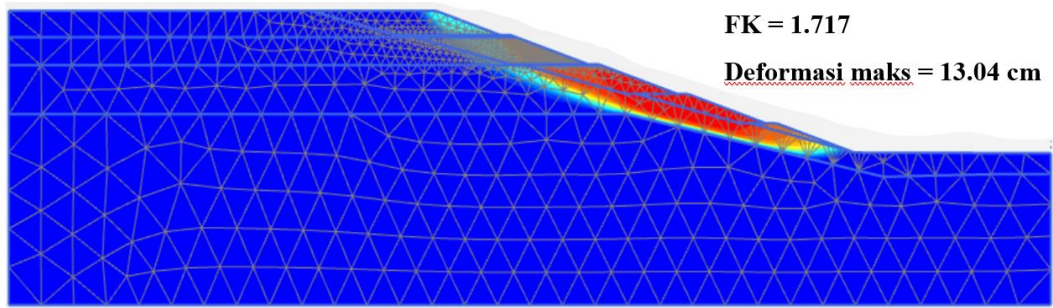
Dengan demikian, untuk meningkatkan faktor keamanan lereng agar melebihi 1.5 syarat minimum, pada studi kasus ini direncanakan dengan melandaikan sudut galian sebagai upaya menurunkan tegangan geser yang terjadi pada tanah akibat berat sendiri tanah. Berikut ini adalah 3 (tiga) skenario rasio kemiringan lereng dalam upaya mengurangi tegangan geser pada lereng yaitu pelandaian sudut yaitu 15°, 20° dan 25°.

Pada sudut kemiringan 25° diperoleh nilai FK sebesar 1,112. Hasil potensi bidang gelincir dapat dilihat pada Gambar 8.



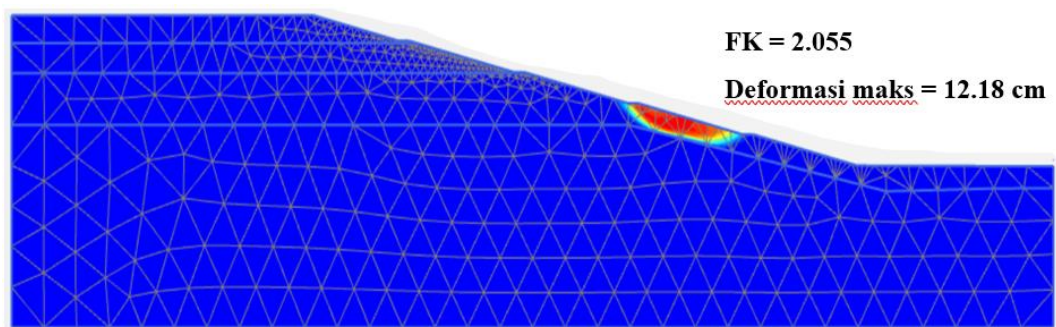
Gambar 8. Potensi Bidang Gelincir pada Kondisi Pelandaian sudut kemiringan 25°

Maka dilakukan kembali analisis pada skenario sudut kemiringan 20°. Dari analisis diperoleh nilai FK sebesar 1,717. Hasil potensi bidang gelincir dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Potensi Bidang Gelincir pada Kondisi Pelandaian sudut kemiringan 20°

Skenario terakhir yaitu dengan rasio pelandaian lereng sudut 15°, diperoleh nilai FK sebesar 2.055. Hasil potensi bidang gelincir dapat dilihat pada Gambar 10.

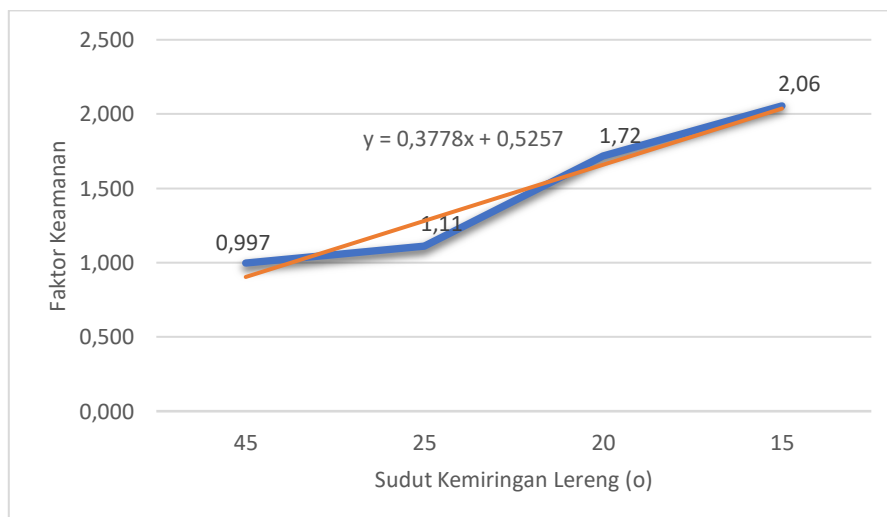


Gambar 10. Potensi Bidang Gelincir pada Kondisi Pelandaian sudut kemiringan 15°

Tabel 2. Tipikal Faktor Keamanan Pada Setiap Rasio Kemiringan

Sudut Kemiringan (°)	FK Eksisting	FK Penanganan	Keterangan	Persentase Kenaikan FK
25	0.9972	1,112	<1,5, tidak aman	11.5 %
20	0.9972	1,717	> 1,5 , aman	72.2 %
15	0.9972	2,055	> 1,5 , aman	106.1 %

Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 11. Hubungan Sudut Kemiringan Lereng terhadap Faktor Keamanan

Hasil analisis menunjukkan adanya kenaikan nilai faktor keamanan dari setiap alternatif pelandaian. Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa pada rasio kemiringan 25° terjadi kenaikan FK sebesar 11.5% namun belum mencapai nilai FK minimum. Kenaikan FK signifikan terjadi saat lereng pada rasio kemiringan 20° , yaitu sebesar 72.2% dan memenuhi persyaratan aman. Pada 15° kenaikan FK dari kondisi eksisting sebesar 106.1%. Meskipun demikian, dengan dilandaikannya sudut harus beriringan dengan pembuatan trap pada lereng. Trap pada lereng membuat beban gaya yang berada di atas lereng tidak menumpu pada kaki lereng saja. Dari Gambar 9, menunjukkan semakin landai lereng maka semakin bertambah nilai faktor keamanan. Pada studi ini persamaan yang di peroleh dari kenaikan nilai faktor keamanan berdasarkan pelandaian sudut lereng adalah $y = 0.3778x + 0.5257$. Terakhir, solusi pelandaian lereng pada kasus ini hanya dievaluasi untuk kondisi jangka pendek atau selama pekerjaan bendungan selesai. Maka tidak diperlukan perkuatan lereng berupa penambahan struktur dalam menstabilkan lereng. Perlindungan pada lereng dilakukan dengan menggunakan shortcrete dan drainase horizontal.

Kesimpulan

Dalam studi ini dilakukan analisis kestabilan lereng terhadap lereng galian yang terindikasi mengandung *Clay shale* dengan alternatif pelandaian lereng. Berdasarkan hasil analisis balik, tanah *Clay shale* di lokasi ini memiliki rentang nilai kohesi efektif sebesar 8 kN/m^2 dan sudut geser residu 21° . Nilai ini jauh lebih kecil dari parameter desain saat lapisan clayshale belum terpengaruh cuaca, yaitu kohesi sebesar 20 kN/m^2 dengan sudut geser 48° . Hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan bahwa metode pelandaian lereng galian efektif dalam meningkatkan faktor keamanan pada lereng secara signifikan. Lereng dengan perbandingan 20° dipilih sebagai alternatif yang optimal untuk menjaga kestabilan lereng dengan presentase kenaikan nilai faktor keamanan 72.7%.

Daftar Rujukan

- [1] Ariesnawan, R. A., Karakteristik Mekanik dan Dinamik *Clay Shale* Kabupaten Tuban Terhadap Perubahan Kadar Air. Tesis Program Magister Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Evi D. Yanti, Prahara Iqbal, Indah Pratiwi, Jakah, 2018. Karakteristik Mineral Lempung Pada Jalan Rawan Longsor Jalur Liwa-Bukit Kemuning Berdasarkan Analisis SEM dan XRD. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Volume 14, Nomor 2, Mei 2018 : 93 - 99
- [3] Gartung, E. (1986) Excavation in hard clays of the Keuper formation, Proceeding of Symposium on Geotechnical Engineering, Seattle, Washington.
- [4] Hardiyatmo, Hary Christady, 2007. Mekanika Tanah 2, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [5] Irsyam M., Jayaputra. A. A., Himawan A. and Kartawiria A. 2011. Kasus-Kasus Kelongsoran Pada Tanah *Clay shale* dan Alternatif Penanggulangannya. *Proceeding of the 9th Indonesian Society for Geotechnical Engineers Conference and 15th Yearly Scientific Meeting*. Jakarta .
- [6] Irsyam, M., Andhika Sahadewa, Atyanto Boesono, Soebagyo, 2007. Pengaruh *Strength Reduction* Tanah *Clay-Shale* Akibat Pelaksanaan Pemboran Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Tiang di Jembatan Suramadu Berdasarkan Analisis Hasil Tes OC. Jurnal Teknik Sipil, Vol.14 No. 2 Mei 2007.
- [7] Stark, T. D. and Duncan, J. M. (1991), *Mechanism of strength loss in stiff clays*, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 117, No. 1.
- [8] Tjie-Liong GOUW, Anthony Gunawan. 2019. *Slope Stabilization by Useof Geosynthetics in Clay Shale Formation. Proceeding of International Conference on "Landslide and Slope Stability" (SLOPE 2019)*. 26 – 27 September 2019, Bali – Indonesia.
- [9] Wesley, L. D. (2009b). *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. John Wiley and Sons.