

Pengaruh Batu Lempung sebagai *Weak Layer* terhadap Faktor Keamanan Berdasarkan Simulasi Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga 3 Dimensi

The Effect of Clay Stone as a Weak Layer on Factor of Safety Based on Bench Stability Simulation Using 3 Dimensions Finite Elements Method

Masagus Ahmad Azizi^{1*}, Irfan Marwanza², Bani Nugroho³, Yansen Barus⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti, Jalan Kyai Tapa No.1, Tomang, Grogol Petamburan, Jakarta Barat 11440

*Penulis untuk korespondensi (*corresponding author*): masagus.azizi@trisakti.ac.id

ABSTRAK - Penelitian lanjutan kestabilan lereng perbukitan batugamping Kaliwadas dilakukan untuk melihat pengaruh keberadaan batu lempung sebagai bidang gelincir dari kejadian longsor di lokasi tersebut. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) 3 dimensi dengan menggunakan parameter masukan sifat fisik dan mekanik batuan, tinggi muka air tanah, serta koefisien getaran gempa. Hasil penelitian menunjukkan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1,95 yang belum sesuai dengan kondisi aktual lereng. Namun pada model sudah menunjukkan lokasi longsor pada area yang sama dengan aktual. Analisis balik dilakukan untuk mengurangi nilai kohesi dan sudut gesek dalam batu lempung sehingga lereng model memiliki FK di bawah 1,4.

Kata kunci: Lereng alami, metode elemen hingga 3D, faktor keamanan, lapisan batu lempung

ABSTRACT - Further research on the limestone slope stability of the Kaliwadas hillsides was carried out to observe the effect of the presence of clay rocks as a sliding surface of landslides in that location. Slope stability analysis uses the 3-dimensional finite element method using input parameters of physical and mechanical properties of rocks, groundwater level, and earthquake vibration coefficient. The results showed that the safety factor (FK) value was 1,95 which was not in accordance with the actual slope conditions. However, the model shows the landslide location in the same area as the actual one. Back analysis was carried out to reduce the cohesion value and friction angle in clay rock so that the model slope has a FK below 1,4.

Keywords: Natural slope, three dimensional finite element method, safety factor, weak layer

PENDAHULUAN

Pada perbukitan batu gamping kaliwadas terdapat rekahan yang dalam dan melintang melewati akses jalan desa. Penelitian terdahulu sudah dilakukan (Ardhi, 2017; Jessica, 2017; Iqbal, 2017; Mulyadi, 2017; Toffler, 2017; Zebua, 2017) berkaitan dengan prediksi longsor dan pengaruh parameter masukan pada lokasi tersebut. Pada akhir Oktober 2017 hujan dengan intensitas tinggi dan durasi yang lama terjadi yang mengakibatkan longsor pada perbukitan Kaliwadas.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, jenis longsor yang terjadi adalah longsor bidang dengan ditemukannya lapisan batu lempung sebagai *weak layer* yang menjadi pemicu longsor. Dalam penelitian terdahulu lapisan batu lempung ini belum ditemukan dan dimasukkan dalam model analisis. Popescu (2002) juga membahas mengenai longsor lereng yang dipicu oleh hujan dengan rekahan yang telah ada atau adanya lapisan lemah (*weak layer*).

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh dari lapisan lemah (*weak layer*) terhadap kestabilan lereng perbukitan Kaliwadas menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) 3 dimensi.



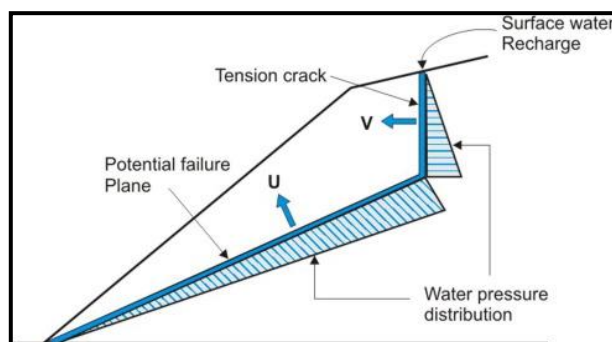
Gambar 1. Singkapan lapisan lempung pada bawah rekahan

Gambar 1 merupakan singkapan lapisan batu lempung sebagai *weak layer* dengan ketebalan 90 cm yang menjadi pemicu kejadian longsor di perbukitan batugamping Kaliwadas. Gambar 2 menggambarkan kondisi lereng sebelum dan sesudah longsoran pada perbukitan batugamping Kaliwadas. Rekahan pada bukit batu gamping sebelum terjadinya longsoran, memanjang di punggung lereng dimana akibat adanya tekanan air yang masuk berdampak pada semakin dalamnya rekahan tersebut. Rekahan tersebut semakin bertambah dalam yang pada akhirnya mencapai lapisan lempung dan menjadi bidang gelincir dari bidang longsoran.



Gambar 2. Kondisi lereng sebelum dan setelah kejadian longsor

Gambar 3 menjelaskan skema longsoran bidang dengan adanya rekahan tarik (*tension crack*) dan adanya tekanan air yang menjadi pemicu terjadinya longsoran.



Gambar 3. Skema longsoran bidang dengan rekahan

METODE

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang dalam perhitungan nilai faktor keamanan (FK) dengan cara melakukan simulasi terhadap pengurangan kekuatan batuan (*shear strength reduction*), dalam hal ini nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

$$\tau_r = \frac{C}{F} + \frac{\sigma_n \tan \phi}{F} \quad (1)$$

Keterangan:

- τ_r = Tegangan geser
- C = Kohesi
- σ_n = Tegangan normal
- $\tan \phi$ = Sudut gesek dalam
- F = Gaya yang diterapkan

Reduksi terhadap kohesi dan sudut gesek dalam dilakukan berulang ulang (iterasi) hingga mencapai titik konvergen dimana F K lereng mencapai titik kritis. Ketika FK mencapai titik kritis merupakan nilai faktor keamanan lereng tersebut atau yang disebut *critical SRF*.

Penelitian dilakukan dengan cara mengambil data sampel batuan yang diuji sifat fisik dan mekanik batuan di laboratorium mekanika batuan Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti; melakukan pengukuran geolistrik menggunakan konfigurasi schlumberger untuk memperoleh tinggi muka air tanah, serta mengambil data pengukuran kegempaan di sekitar wilayah Karang Sambung dari BMKG yang kemudian diolah menjadi nilai koefisien getaran gempa.

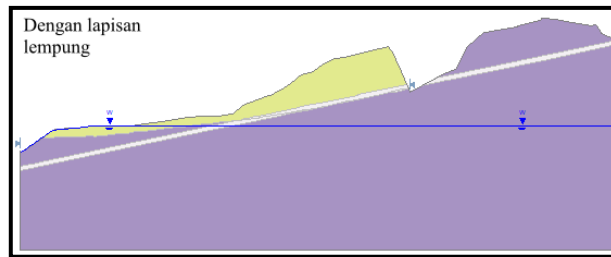
Model topografi permukaan diperoleh dengan cara melakukan pemetaan menggunakan metode terestris, sedangkan pemetaan geologi batuan diperoleh dari penelitian terdahulu dan pembaruan dari observasi lanjutan. Dengan menggunakan hasil pemetaan topografi dan geologi tersebut dapat dihasilkan model geologi 3 dimensi, dan dimasukkan ke dalam perangkat lunak RS3 (Rocscience) untuk dianalisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 merupakan parameter masukan yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng perbukitan batugamping Kaliwadas. Untuk dapat melihat keberadaan lapisan batu lempung sebagai *weak layer*, maka model 3 dimensi dipotong sehingga menjadi penampang 2 dimensi seperti pada gambar 4.

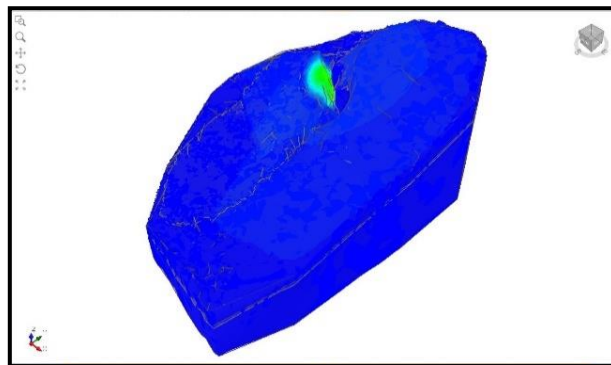
Tabel 1. Parameter masukan pada model simulasi

Parameter	Gamping stabil		Bidang longsor		Lempung	
	Peak	Res.	Peak	R	Peak	R
Bobot isi (kN/m ³)	20,3		20,3		16,17	
Kuat tarik (kPa)	-222,7	-42,8	-156,5	-40,5	-78	-11,3
Kohesi (kPa)	233,8	36,6	160,5	31,46	62,5	7,2
Sudut gesek dalam (ϕ)	39,33	29,3	37,9	24,3	25,9	13,5
Modulus young (MPa)	1.821		1.821		10	
Poisson ratio	0,215		0,215		0,325	
Tinggi muka air tanah (m)			76,7			
Koefisien gempa			0,01			



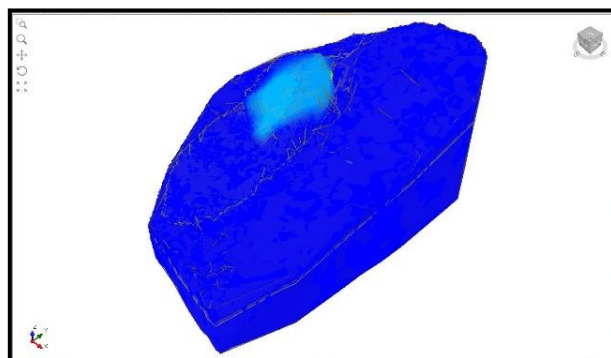
Gambar 4. *Section view* model tanpa lapisan lempung

Setting pada simulasi yang digunakan adalah: iterasi pada analisis tegangan dan SRF adalah 1.000, jenis mesh yang digunakan adalah 4 nodes graded, restrain yang digunakan adalah auto restrain surface, rasio tegangan horizontal dan tegangan vertikal adalah 1, koefisien gempa merupakan koefisien gempa horizontal dengan arah 187° . Hasil simulasi dengan memasukkan lapisan batu lempung menghasilkan nilai faktor keamanan 1,95 (Gambar 5).



Gambar 5. Hasil simulasi dengan lapisan lempung (FK=1,95)

Hasil simulasi kestabilan lereng tersebut belum sesuai dengan kondisi lereng aktual yang sudah longsor. Dengan menggunakan kriteria kemampooterimaan (*acceptable criteria*) kestabilan lereng alami dengan faktor gempa yang dikeluarkan PU yakni 1,4; maka model tersebut dilakukan analisis balik, yakni mengurangi kekuatan lapisan batu lempung pada parameter kohesi dan sudut gesek dalam. Hasil analisis balik berupa nilai kohesi pada kondisi puncak dan sisa masing-masing 22,5 dan 2,6 kPa. Sedangkan nilai sudut gesek dalam pada kondisi puncak dan sisa masing-masing $5,2^{\circ}$ dan $2,7^{\circ}$.



Gambar 6. Hasil simulasi setelah analisis balik (FK=1,39)

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi model 3 dimensi menghasilkan nilai faktor keamanan 1,95 yang belum sesuai dengan kondisi aktual.
2. Hasil analisis balik diperoleh nilai FK sebesar 1,39 yang sudah sesuai dengan kondisi aktual dengan mengurangi nilai kohesi dan sudut gesek dalam lapisan batu lempung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kemristekdikti dan FTKE Universitas Trisakti yang telah berkontribusi mendanai penelitian ini hingga dapat diselesaikan dan dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Ardhi, Hafidh A. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Pada Perbukitan Batu Gamping Dengan Parameter Sifat Fisik & Mekanik Batuan Di Bukit Kaliwadas, Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Barus, Yansen. (2018). Analisis kestabilan lereng secara tiga dimensi dengan metode elemen hingga, di bukit Kaliwadas, Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah; Tugas Akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2017-2018.

Chang, K. T., & Chiang, S. H. (2009). An integrated model for predicting rainfall-induced landslides. *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.10.012>

Iqbal, Teuku M. (2017). Penentuan Kekuatan Massa Batuan Berdasarkan Pengukuran Bidang Diskontinuitas Pada Perbukitan Batugamping Kaliwadas di Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Jessica. (2017). Analisis Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Kestabilan Lereng Perbukitan Batupasir Gampingan Di Bukit Kaliwadas, Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Lim, K., Li, A. J., & Lyamin, A. V. (2015). Three-dimensional slope stability assessment of two-layered undrained clay. *Computers and Geotechnics*. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2015.07.011>

Mulyadi, Richard. (2017). Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Geolistrik *Resistivity* Di Lereng Perbukitan Batu Gamping Bukit Kaliwadas Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Popescu, M. . (2002). Landslide causal factors and landslide remedial options. *Proceedings of the 3rd International Conference on ...*, 1–21.

Vaughan, P. R. (2008). Discussion: Three-dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite elements. *Géotechnique*. <https://doi.org/10.1680/geot.2008.D.010>

Toffler, Alvin. (2017). *Monitoring* Pergerakan Massa Batuan Dengan Metode Terestris Menggunakan Total Station dan Metode Fotogrametri Menggunakan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) di Kaliwadas, Karangsembung, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Zebua, Breeford T.K. (2017). Analisis Pengaruh Rekahan Terhadap Kestabilan Lereng Di Perbukitan Batugamping, Kaliwadas, Karangsembung, Jawa Tengah; tugas akhir Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti Semester Genap 2016-2017.

Zhang, G., Wang, R., Qian, J., Zhang, J. M., & Qian, J. (2012). Effect study of cracks on behavior of soil slope under rainfall conditions. *Soils and Foundations*, 52(4), 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.07.005>