

	Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY Fakultas Teknik Geologi UNIVERSITAS PADJADJARAN homepage: http://jurnal.unpad.ac.id/bsc p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X	 Volume 22, No.2 Agustus 2024
---	---	---

PETA RAWAN LONGSOR DESA NANGGERANG, KECAMATAN SUKASARI, KABUPATEN SUMEDANG, JAWA BARAT MENGGUNAKAN ANALISIS KESTABILAN LERENG TIGA DIMENSI

Immanuel Hareanto Aruan*, Yuyun Yuniardi, Nur Khoirullah, Raden Irvan Sophian

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: immanuel20002@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Pada tanggal 3 Februari 2024, longsor terjadi di Desa Nanggerang, Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Longsor ini terjadi di lereng persawahan masyarakat setempat. Berangkat dari kejadian tersebut, dilakukan penelitian untuk memetakan kerawanan longsor lereng lokal di Desa Nanggerang guna memberikan informasi kepada masyarakat setempat mengenai potensi longsor yang ada. Penelitian dilakukan menggunakan analisis kestabilan lereng tiga dimensi (3D) Janbu (1968) yang dimodifikasi oleh Cheng & Yip (2007). Geometri lereng diidentifikasi menggunakan proses fotogrametri yang diakuisisi oleh pesawat nirawak. Penentuan batasan lapisan satuan didasari oleh pengamatan lapangan dan klasifikasi Martin & Hencher (1986), yaitu *top soil* OH, tanah MH, dan batuan tuf terlapukkan. Nilai sifat indeks dimasukkan ke dalam model 3D lereng hasil proses fotogrametri MVS dan dilakukan perhitungan kestabilan lereng untuk mendapatkan peta rawan longsor di daerah penelitian. Hasil komputasi menunjukkan, lereng di Desa Nanggerang berada pada kondisi stabil pada kondisi kering ($FK = 4,06$) dan pseudo-statis ($FK = 2,731$). Sedangkan pada kondisi jenuh, lereng mengalami keruntuhan ($FK=1,1$). Hal tersebut mengindikasikan kontrol kadar air pada litologi dan tanah penyusun lereng tergolong sangat tinggi. Penurunan nilai faktor keamanan pada kondisi pseudo-statis juga mengindikasikan getaran dapat berperan aktif dalam proses keruntuhan lereng.

Kata Kunci: analisis kestabilan lereng 3D, Desa Nanggerang, peta rawan longsor, fotogrametri drone, Metode Cheng & Yip

ABSTRACT

On February 3, 2024, a landslide occurred in Nanggerang Village, Sukasari District, Sumedang Regency, West Java Province. This landslide located on the slopes of the local community's rice fields. In response to this event, a study was conducted to map the local slope landslide susceptibility in Nanggerang Village to provide the local community with information on potential landslide hazards. The study was carried out using three-dimensional (3D) slope stability analysis based on the Janbu (1968) method, modified by Cheng & Yip (2007). The slope geometry was identified using photogrammetry processes acquired by unmanned aerial vehicles. The delineation of unit layer boundaries was based on field observations and the classification by Martin & Hencher (1986), namely topsoil OH, MH soil, and weathered tuff rock. Index property values were incorporated into the 3D slope model derived from MVS photogrammetry processes, and slope stability calculations were performed to generate a landslide susceptibility map of the study area. The computational results indicated that the slopes in Nanggerang Village were stable under dry conditions (Factor of Safety (FoS) = 4.06) and pseudo-static conditions (FoS = 2.731). However, under saturated conditions, the slopes failed (FoS = 1.1). This indicates that the water content control in the lithology and soil composition of the slopes is very high. The decrease in the factor of safety under pseudo-static conditions also suggests that vibrations can actively contribute to slope failure.

Keywords: 3D slope stability analysis, Nanggerang Village, landslide hazard map, drone photogrammetry, Cheng & Yip method

PENDAHULUAN

Dominasi tanah vulkanik, yang cenderung loose, dan perubahan iklim yang intens

menjadi salah satu penyebab terjadinya tanah longsor (Picarelli et al., 2021), yang di mana sekitar 24,37% bencana yang ada di

seluruh Indonesia selama satu dekade terakhir adalah tanah longsor (Anonim, 2024).

Longsor cukup sering terjadi di wilayah pegunungan Jawa yang aktif secara tektonik dan acap kali memakan korban jiwa serta kerugian ekonomi yang besar setiap tahunnya (Lahai et al., 2021). Banyak tanah longsor di daerah pegunungan disebabkan oleh curah hujan yang tinggi di lereng, sehingga memperburuk resistensi tanah, kelembapan tanah dan tekanan pori yang tinggi, dll. (D'ippolito et al., 2023).

Contohnya adalah longsor yang terjadi di Desa Nanggerang, Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat pada tanggal 3 Februari 2024. Longsor menimbulkan kerugian ekonomi bagi masyarakat setempat. Kejadian ini mengakibatkan persawahan masyarakat dan akses jalan penghubung antar 2 desa hancur (Andriana, 2024).

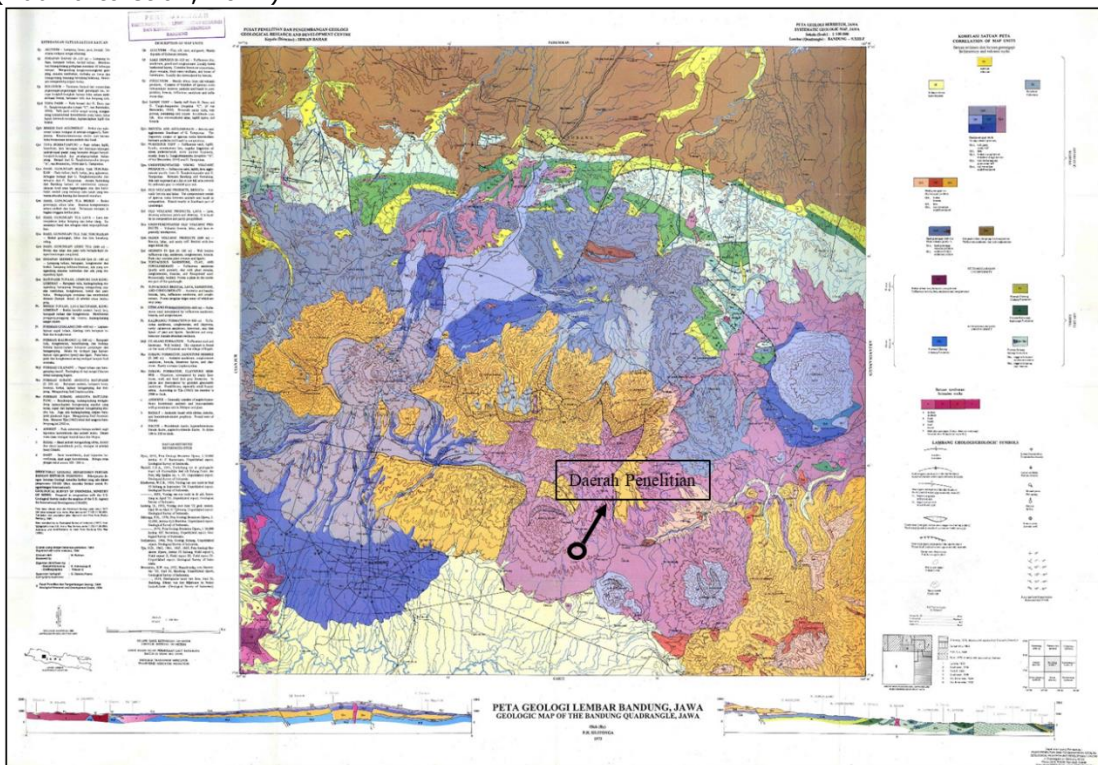
Oleh karena itu, pemetaan potensi bencana tanah longsor di wilayah seperti ini sangat penting untuk pengelolaan yang tepat, mitigasi, dan langkah-langkah untuk mengurangi risiko.

Seiring berkembangnya zaman, teknologi di bidang mitigasi bencana juga harus mengikutinya. Pemetaan 3D menggunakan pesawat nirawak dilakukan untuk menjangkau ketelitian yang di mana metode 2D konvensional tidak mampu melakukannya (Budiharto et al., 2021).

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Dalam peta geologi regional oleh Silitonga (2003), daerah penelitian termasuk ke dalam Peta Geologi Regional Lembar Bandung. Pada Gambar 1, daerah penelitian berada pada satuan Qyu yang tersusun dari material pasir tufa, lapili, breksi, lava, breksi dan aglomerat. Material ini sebagian berasal dari hasil erupsi Gunung Tangkubanparahu dan sebagian dari Gunung Tampomas. Satuan ini membentuk punggung dan lembahan rendah yang tertutup oleh tanah berwarna abu-abu kemerahan.

Sukasari dan merupakan bagian dari kaki Gunung Manglayang yang secara gambaran besar terdapat kemenerusan Sesar Lembang yang berarah Utara Timur Laut – Timur Tenggara (NNW-EES) yang menurut Sunardi & Kimura (1998) terbentuk karena erupsi G. Sunda dan G. Tangkubanparahu. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian berada pada zona patahan aktif yang di mana dapat memperburuk kestabilan lereng. Berdasarkan Peta Geologi Teknik oleh Djadja & Hermawan (1996) (Gambar 2), daerah penelitian berada di satuan BX, LH dan R(mc)(cm). Satuan BX, LH tersusun oleh aglomerat, lapili, dan lava yang merupakan endapan vulkanik G. Tangkubanparahu dan Tampomas. Sedangkan satuan R(mc)(cm) merupakan tanah residu hasil pelapukan batu pasir tufa, tufa, konglomerat, aglomerat, lapili, dan breksi, tebal antara 2-20 meter.

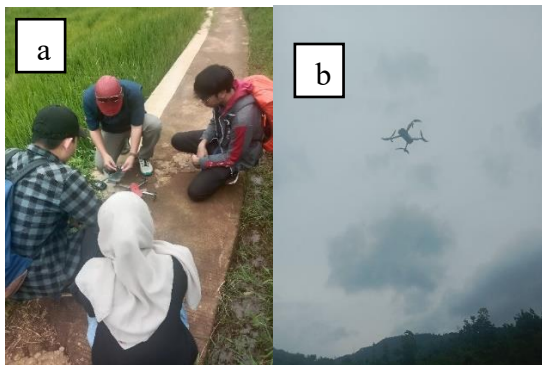


Gambar 1. Peta Geologi Regional Lembar Bandung (Silitonga, 2003)

185

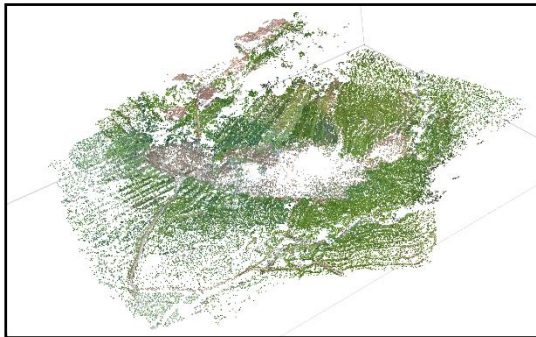
METODOLOGI

Penelitian kestabilan lereng dimulai dari pengambilan data geometri lereng, menentukan karakteristik tanah dan litologi penyusun lereng dan, pengambilan sampel tanah yang kemudian diuji di dalam laboratorium untuk mendapatkan nilai sifat fisik dan mekanik, dan melakukan simulasi perhitungan analisis kestabilan lereng. Pengambilan data topografi dilakukan menggunakan pesawat nirawak DJI Mavic Pro Platinum yang mengumpulkan foto-foto tubuh longsor (Gambar 3). Foto-foto tersebut direkonstruksi melalui proses fotogrametri *multi-view stereo reconstruction* (MVS) untuk mendapatkan model 3D tubuh longsor secara digital.

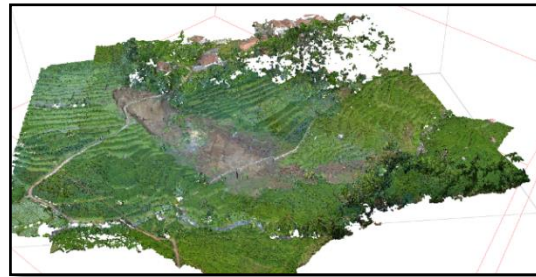


Gambar 3. (a) Persiapan pesawat nirawak
(b) Proses pengambilan gambar lereng penelitian

Adapun proses MVS yang dimaksud adalah menggabungkan 271 foto yang memiliki informasi spasial yang didapatkan dari *drone*. Kemudian gabungan foto-foto tersebut dikonversi menjadi model *tie points* (Gambar 4) dan ditingkatkan menjadi *point cloud* di perangkat lunak pengolahan spesialis MVS

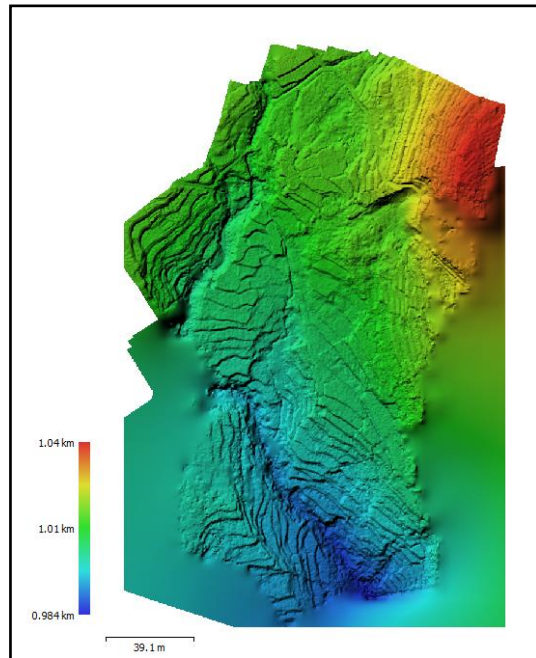


Gambar 4. Model *tie points* daerah penelitian



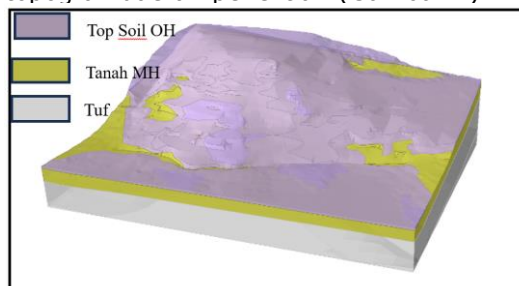
Gambar 5. Model *point cloud* daerah penelitian

Data *point cloud* hasil rekonstruksi MVS (Gambar 5) akan dikonversi menjadi model *Digital Terrain Model* (DTM) menggunakan perangkat lunak terkait.



Gambar 6. *Digital Terrain Model* daerah penelitian

Simplifikasi dilakukan ada model DTM (Gambar 6), yaitu penghapusan *noise* seperti vegetasi, bangunan, bongkahan, dll. Hasil simplifikasi tersebut di direkonstruksi dalam Rocscience Slide 3 menggunakan metode triangulasi permukaan sehingga terbentuk topografi daerah penelitian (Gambar 7).



Gambar 7. Model 3D daerah penelitian

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode pengambilan sampel tanah tak terganggu (*undisturbed sample*). Metode pengambilan sampel secara tidak terganggu diyakini lebih merepresentasikan kondisi aktual di lapangan (Rajkumar et al., 2023). Identifikasi tanah secara umum di lapangan juga dilakukan dengan memperhatikan deskripsi tanah, tingkat zona pelapukan, pengukuran geometri lereng.

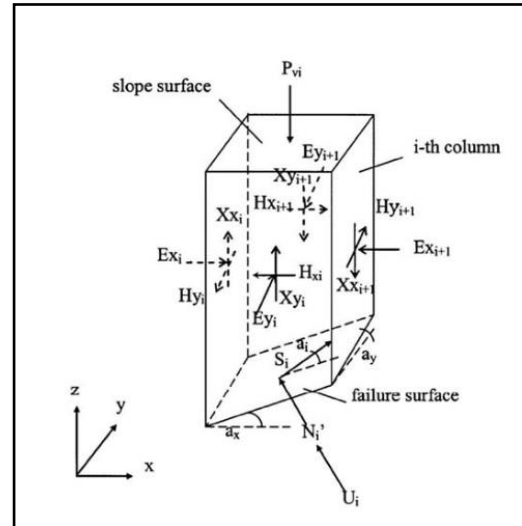
Setelah pengambilan sampel tanah dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian sampel di laboratorium mengenai sifat indeks, yaitu bobot isi (ASTM D2937-17, 2017), kohesi (ASTM D3080-03, 2003) dan sudut geser dalam, dan UCS (ASTM D5873-14, 2023).

Sifat Indeks (*indeks properties*) yang dipakai dalam komputasi berdasarkan kriteria Mohr-Coloumb (kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi) untuk material tanah dan *Generalized* Hoek-Brown (UCS, GSI, m_i , dan D) untuk material batuan. Penentuan UCS pada batuan ditentukan melalui uji *schmidt hammer* sesuai standar ASTM D5873-14 (2023). Sedangkan nilai GIS ditentukan melalui klasifikasi Marinos & Hoek (2000). Nilai m_i ditentukan dari jenis batuan dan untuk nilai D (*disturbance factor*) ditentukan melalui faktor gangguan di lapangan.

Indeks properties yang didapat dari uji laboratorium dimasukkan ke dalam model 3D hasil MVS di Rocscience Slide 3 dan dilakukan simulasi dan komputasi kestabilan lereng menggunakan metode Janbu (1968) modifikasi tiga dimensi oleh Cheng & Yip (2007).

Pemilihan metode ini dikarenakan jika dibandingkan dengan metode Bishop, metode Janbu mempertimbangkan total gaya kesetimbangan horizontal. Jika dibandingkan dengan metode Spencer dan Morgenstern-Price, metode Janbu relatif lebih simpel dan lebih cepat dalam proses komputasi (Kaur & Sharma, 2016).

Metode kesetimbangan batas dikembangkan lebih lanjut oleh Cheng & Yip (2007) dari metode 2D konvensional menjadi 3D (Gambar 8).



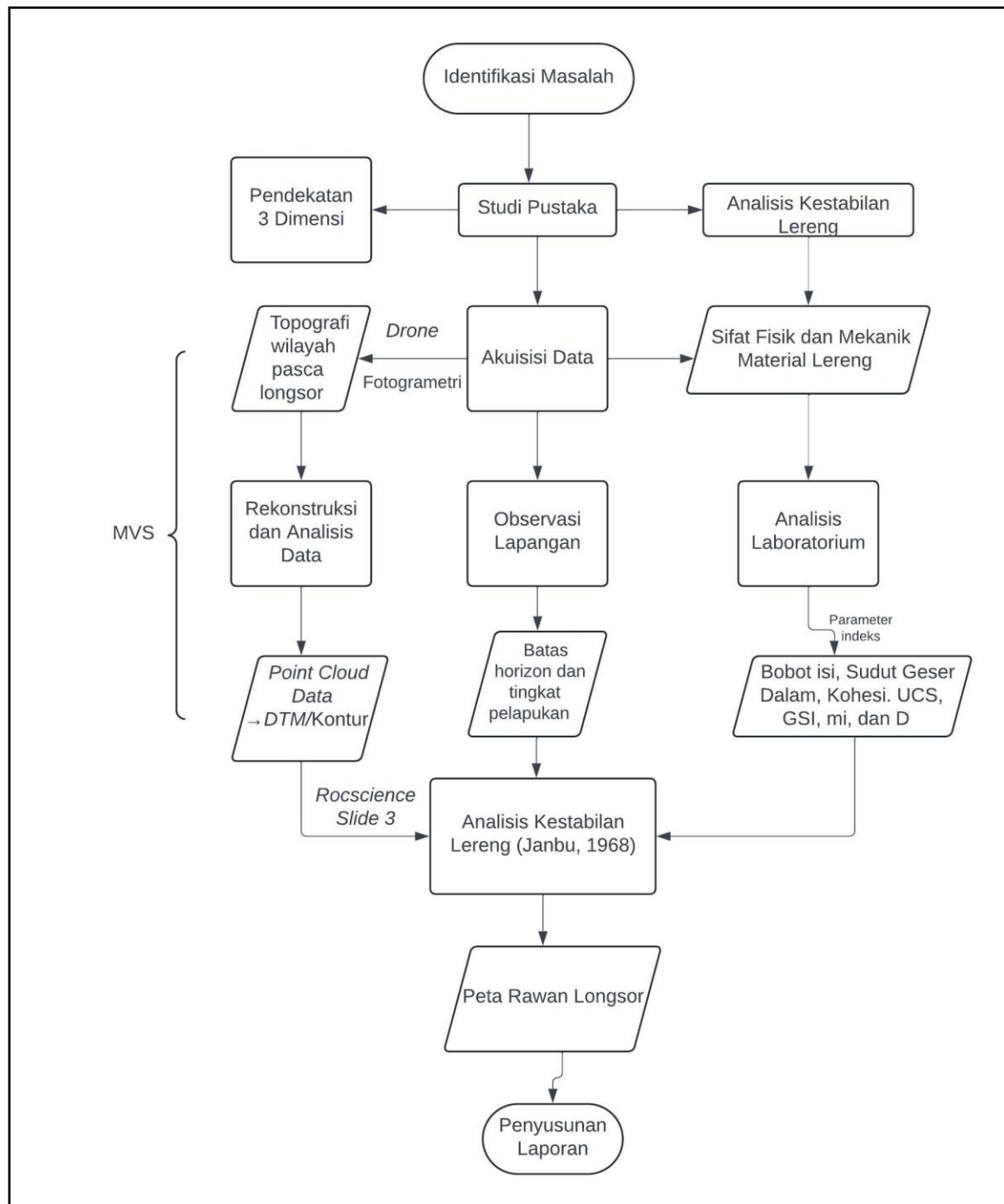
Gambar 8. Kenampakan 3 dimensi gaya yang bekerja pada kolom (Cheng & Yip, 2007)

Cheng & Yip (2007) mempertimbangkan gaya kesetimbangan vertikal sebagai satu kolom dan menentukan keseluruhan momen dan gaya kesetimbangan pada arah X dan Y.

$$\sum F_z = 0 \rightarrow N_i g_{3i} + S_i f_{3i} - (W_i + P_{vi}) = (X_{xi+1} + X_{xi}) + (X_{yi+1} + X_{yi})$$

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan meninjau lereng pada 3 kondisi, yaitu natural, jenuh, dan pseudo-statis (faktor percepatan getaran gempa).

Tahapan penelitian mulai dari awal hingga akhir dirangkum dalam diagram alir penelitian (Gambar 9)



Gambar 9. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Material Lereng

Berdasarkan hasil observasi lapangan, besar butir (ASTM D422-63, 1963), dan tingkat pelapukan (Martin & Hencher, 1986) daerah penelitian dibagi menjadi 3 satuan, yaitu *top soil* OH, tanah MH, dan batuan tuf terlapukkan. *Top soil* OH memiliki warna coklat kehitaman dan memiliki sifat cenderung kohesif dengan kekuatan lunak (Gambar 10). Memiliki ukuran butir lanau, bersifat sangat plastis, tingkat kadar airnya tergolong lembap, dan tergolong homogen. Satuan ini memiliki ketebalan 0,8 meter dan terdapat sisa-sisa vegetasi berdasarkan pengamatan pada tubuh longsor. Tingkat pelapukan pada jenis tanah ini berdasarkan (Martin & Hencher, 1986) adalah *residual soil* (*decomposed rock* = 100%).



Gambar 10. Satuan tiop soil OH

Untuk tanah MH sendiri memiliki ketebalan ~5 meter dan Memiliki warna merah hasil oksidasi serta pelapukan batuan tufa. Tanah ini memiliki sifat cenderung kohesif, lunak, plastis, lembap, homogen, dan berukuran butir lanau (Gambar 11). Tingkat pelapukan pada jenis tanah ini berdasarkan (Martin & Hencher, 1986) adalah *completely weathered* (*decomposed rock* > 90%).



Gambar 11. Satuan tanah MH

Kedua jenis tanah, yaitu *top soil* OH dan tanah MH sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Iqbal et al. (2020) dan Zakaria et al. (2018) di mana tanah yang mendominasi di daerah penelitian merupakan tanah jenis MH/OH dengan ukuran butir lanau.

Sedangkan pada satuan batuan tuf terlapukkan memiliki ketebalan > 5 meter. Satuan memiliki struktur pelapukan bawang (Gambar 12). Berdasarkan uji Schmidt Hammer, satuan ini memiliki kekerasan 15,882 Mpa, bersifat kohesif, getas, lembap, dan homogen. Tingkat pelapukan pada satuan ini berdasarkan (Martin & Hencher, 1986) adalah *highly - moderately weathered*.



Gambar 12. Pelapukan eksfoliasi pada satuan tuf terlapukkan

Berdasarkan Tabel 1, sifat indeks kedua satuan tanah tidak jauh berbeda di mana kohesinya berada direntang 11 – 14 kPa, sudut geser dalam berada di 24° – 28°, dan bobot isi berada di 1 – 2 kN/M³.

Tabel 1. Hasil uji laboratorium sifat indeks setiap satuan

	Mohr-Coloumb Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam	Hoek & Brown Bobot Isi (kN/m ³)	UCS (MPa)
<i>Top Soil</i> OH	14,037	24,173	1,85	-
Tanah MH	11,602	28,353	2,37743	-
Batuan Tuf Terlapukkan	-	-	-	5

Hasil perhitungan UCS batuan tuf menggunakan *schmidt hammer* adalah 12,7 MPa. Berdasarkan pengujian di lapangan menggunakan metode Brown (1981), satuan ini dapat di gores menggunakan pisau lapangan sehingga tergolong ke dalam kelas R1 (1 – 5 MPa). Hasil dari kedua metode pengujian ini bertolak belakang. Namun, nilai

pengujian *schmidt hammer* tidak dipakai dikarenakan pembacaan minimal *schmidt hammer* sebesar 10 MPa. Sehingga diasumsikan bahwa kekuatan satuan ini berada di bawah 10 MPa..

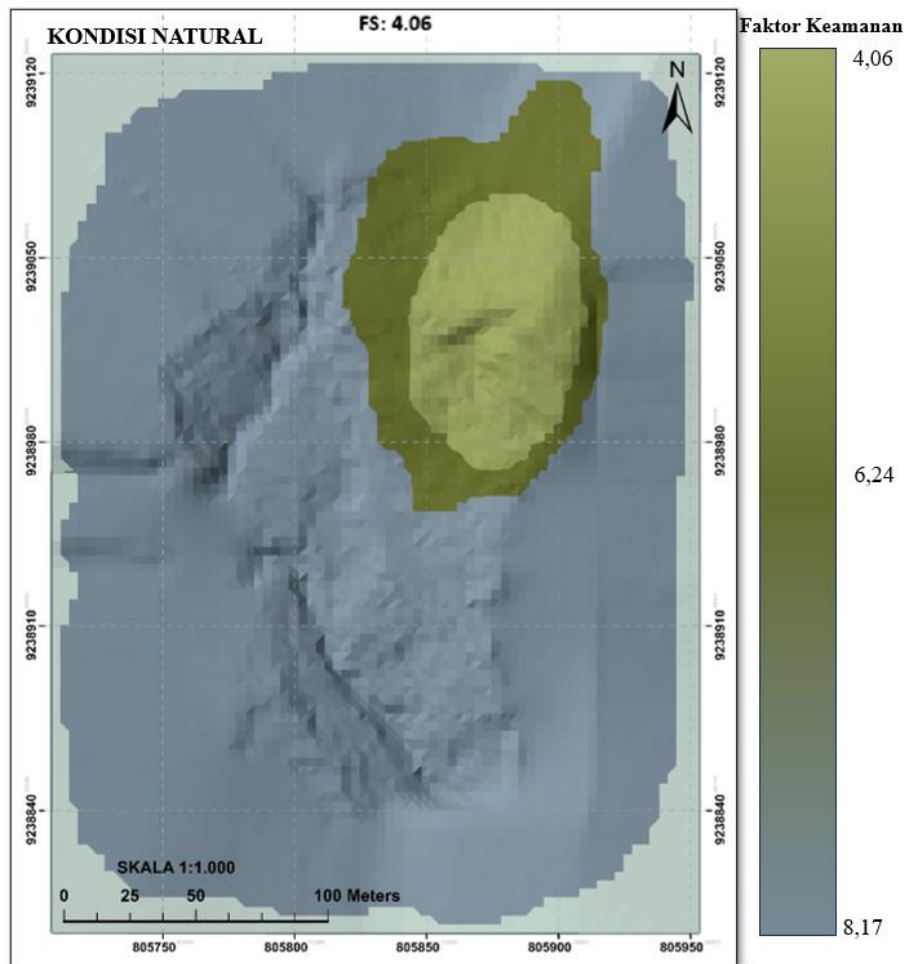
Meskipun berdasarkan Silitonga (2003) batuan ini tergolong muda (berumur kuartar), batuan ini mengalami pelapukan yang cukup intens. Hal ini didasari oleh pelapukan yang terjadi di daerah tropis relatif lebih intens atau lebih cepat jika dibandingkan dengan daerah lain (Nelson, 2015).

Intensitas hujan yang tinggi, temperatur yang cukup panas di siang hari membuat pelapukan semakin cepat. Hal tersebut ditambah dengan pelapukan kimiawi juga mendasari terjadinya pelapukan "kulit

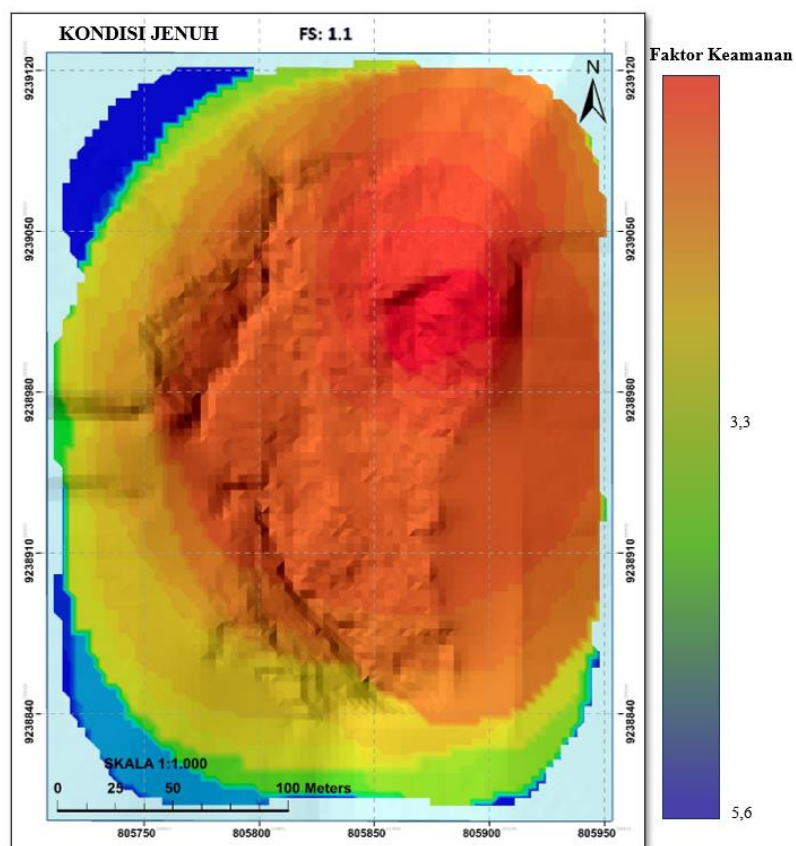
bawang" (Thomas et al., 2005) pada satuan batuan yang menyebabkan perbedaan nilai sifat fisik pada setiap sampel batuan.

2. Kondisi Lereng

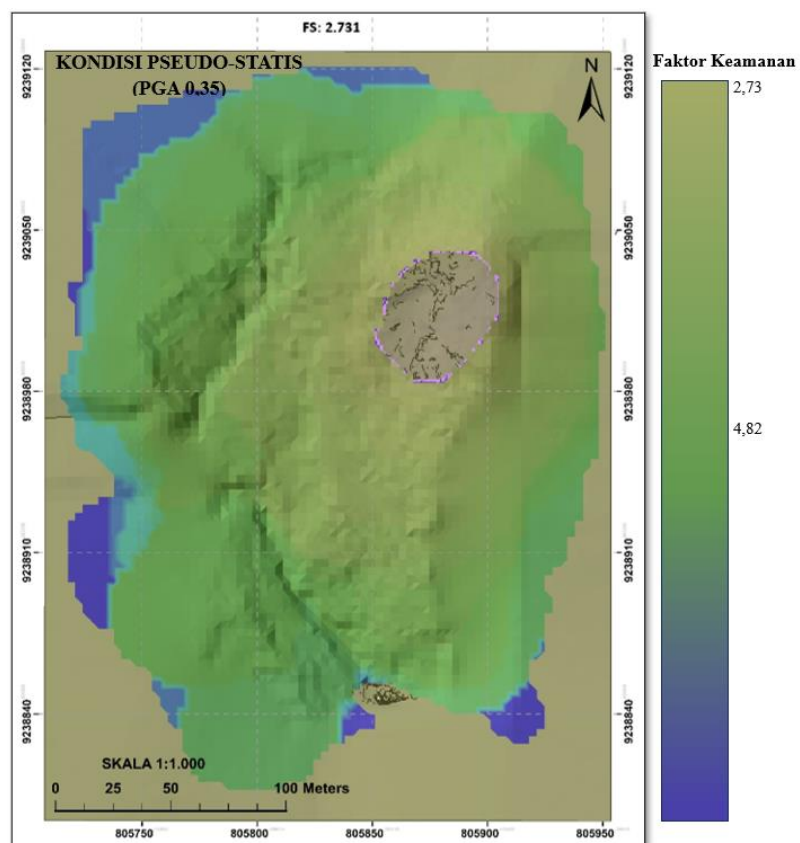
Data sifat indeks (kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi) hasil uji laboratorium dimasukkan ke dalam model 3 dimensi lereng penelitian pada Rocscience Slide 3 untuk menghitung keamanan lereng daerah penelitian. Adapun hasil dari perhitungan kestabilan lereng divisualisasikan melalui peta keamanan permukaan. Lereng ditinjau dari berbagai kondisi. Mulai dari kondisi natural, jenuh, dan pseudo-statis penambahan variabel percepatan gempa yang didapatkan dari Anonim (2021).



Gambar 13. Peta rawan longsor pada kondisi natural dengan FK : 4,06 menggunakan metode Janbu (1968)



Gambar 14. Peta rawan longsor pada kondisi jenuh dengan FK: 1,1 menggunakan metode Janbu (1968)



Gambar 15. Peta rawan longsor pada kondisi pseudo-statis dengan FK: 2,731 menggunakan metode Janbu (1968)

Berdasarkan Gambar 13, kondisi lereng pada kondisi natural tergolong aman dengan nilai faktor keamanan 4,06. Sama halnya pada kondisi pseudo-statis di mana nilai faktor keamanannya sebesar 2,731 (Gambar 15). Namun keseimbangan ini dapat terganggu jika kondisi lereng berada dalam kondisi jenuh, di mana faktor keamanan lereng

menurun hingga pada nilai 1,1 untuk kondisi jenuh (Gambar 14). Kondisi tersebut juga tidak mencapai batas minimal faktor keamanan lereng sipil yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR berdasarkan Anonim (2005).

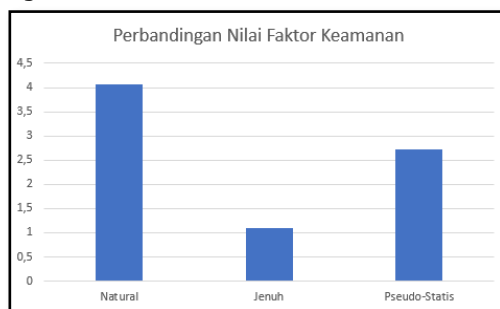
Tabel 2. Faktor keamanan berdasarkan Anonim (2005)

		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap risiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Risiko terhadap nyawa Manusia	Risiko ekonomis			
	Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap risiko kehilangan secara ekonomis			
	Diabaikan	1,1	1,2	1,5
	Rendah	1,2	1,2	1,5
	Tinggi	1,4	1,4	1,5

Catatan:

1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika berisiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang di sekitarnya maka harus diubah menjadi 1,1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk.
2. Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan risiko kehilangan secara ekonomis

Pada Gambar 16 nilai faktor keamanan menurun jauh sebesar 76% dari kondisi natural ke kondisi jenuh. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air merupakan salah satu pengontrol stabil atau tidaknya suatu lereng. Penurunan nilai faktor keamanan dari kondisi natural ke kondisi pseudo-statis sebesar 32,7% juga menunjukkan koefisien gempa dapat menjadi faktor dalam terjadinya longsor.



Gambar 16. Perbandingan nilai faktor keamanan pada 3 kondisi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi lapangan, daerah penelitian yang berada di Desa Nanggerang, Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang tersusun atas 3 satuan berdasarkan karakteristik geologi tekniknya, yaitu *top soil* OH (tingkat pelapukan *residual soil*), tanah MH (tingkat pelapukan *completely weathered*), dan batuan tuf terlapukkan

(tingkat pelapukan *moderately - highly weathered*).

Pada ketiga satuan ini dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai sifat indeks yang dipakai pada perhitungan keamanan lereng. Sifat indeks yang dimaksud adalah kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi (kriteria keruntuhan Mohr-Coloumb) untuk material tanah, serta UCS, GSI, m_i , dan D (kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*) untuk material batuan tuf. Hasil pengujian menunjukkan nilai sifat indeks kedua satuan tanah tidak jauh berbeda, di mana kohesinya memiliki nilai 11-14 kPa, sudut geser dalam berada di 24° - 28° , dan bobot isi berkisar 1-2 kN/m³.

Nilai sifat indeks tersebut dimasukkan kedalam model 3D daerah penelitian yang diakuisisi melalui proses fotogrametri MVS. Hasil komputasi mengindikasikan lereng berada di level aman pada kondisi natural dan pseudo-statis, namun lereng mengalami keruntuhan pada kondisi jenuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena kasih dan berkatnya menemani penulis selama penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geologi Teknik Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran yang memberikan izin kepada penulis untuk melakukan pengujian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada perangkat

Desa Nanggerang yang memperbolehkan penulis melakukan penelitian di wilayah administrasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriana, K. (2024). Longsor di Sukasari Sumedang Hancurkan Lahan Sawah Terasering, Petani Gagal Tanam. *Tribun Priangan*.
- Anonim. (2005). *pedoman-rekayasa-penanganan-keruntuhan-lereng-pada-tanah-residual-dan-batuan*.
- Anonim. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. Kementrian PUPR. <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Anonim. (2024). *Statistik Bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana Republik Indonesia. <https://dibi.bnppb.go.id/>
- ASTM D422-63. (1963). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International.
- ASTM D2937-17. (2017). *Standard Test Method for Density of Soil in Place by the Drive-Cylinder Method*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2937-17>
- ASTM D3080-03. (2003). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. ASTM International.
- ASTM D5873-14. (2023). *Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method*.
- Brown, E. T. (1981). *Rock Characterization, Testing & Monitoring: ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press.
- Budiharto, W., Irwansyah, E., Suroso, J. S., Chowanda, A., Ngarianto, H., & Gunawan, A. A. S. (2021). Mapping and 3D modelling using quadrotor drone and GIS software. *Journal of Big Data*, 8(48).
- Cheng, Y. M., & Yip, C. J. (2007). Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis Extension of Bishop's, Janbu's, and Morgenstern-Price's Techniques. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12), 1544–1555. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412007133:121544>
- Djadja, & Hermawan. (1996). *Peta Geologi Teknik Lembar Bandung, Jawa Barat*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- D'Ippolito, A., Lupiano, V., Rago, V., Terranova, O. G., & Lovine, G. (2023). Triggering of Rain-Induced Landslides, with Applications in Southern Italy. *MDPI*, 15(2), 227.
- Iqbal, P., Muslim, D., Zakaria, Z., Permana, H., Satriyo, N. A., Syahbana, A. J., Yunarto, Khoirullah, N., & Asykarullah, A. W. (2020). Swelling potential of volcanic residual soils in Sumatra (Indonesia) in relation to environmental issues. *Environmental & Socio-Economic Studies*, 8(4), 1–10. <https://doi.org/10.2478/environ-2020-0019>
- Janbu, N. (1968). *Slope Stability Computation: Vol. Soil Mech. Found.* Technical University of Norway.
- Kaur, A., & Sharma, R. K. (2016). Slope Stability Analysis Techniques: A Review. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 1(4), 52–57.
- Lahai, Y. A., Anderson, K. F. E., Jalloh, Y., Rogers, I., & Kamara, M. (2021). A comparative geological, tectonic and geomorphological assessment of the Charlotte, Regent and Madina landslides, Western area, Sierra Leone. *Geoenviron Disasters*, 8.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI: A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation. *Proceedings of GeoEng2000 Conference*, 1422–1422.
- Martin, R. P., & Hencher, S. R. (1986). Principles for Description and Classification of Weathered Rock for Engineering Purposes. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 2(1), 299–308. <https://doi.org/10.1144/GSL.1986.002.01.53>
- Nelson, S. A. (2015). *Weathering and Soils*. University of Tulane. <https://www2.tulane.edu/~sanelson/eens1110/weathering.htm#:~:text=Climate%2D%20High%20amounts%20of%20water,Soils>
- Picarelli, L., Lacasse, S., & Ho, K. K. S. (2021). *The Impact of Climate Change on Landslide Hazard and Risk* (pp. 131–141). https://doi.org/10.1007/978-3-030-60196-6_6
- Rajkumar, L., Arti Sudam, P., & Madhira, M. (2023). *Effect of Sample Disturbance on Compressibility Parameters* (pp. 59–68). https://doi.org/10.1007/978-981-19-6513-5_5
- Silitonga, P. H. (2003). *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa*.
- Sunardi, E., & Kimura, J. (1998). Temporal Chemical Variation in Late Cenozoic Rocks around Bandung Basin, West Java, Indonesia. *Journal of Mineral Petroleum Economic Geology*, 93, 103–128.
- Thomas, M., Clarke, J., & Pain, J. (2005). Weathering, Erosion and Landscape Processes on Mars Identified from Recent Rover Imagery, and Possible Earth Analogues. *Australian Journal of Earth Sciences*, 52(3), 365–378.
- Zakaria, Z., Sophian, I., Sabila, Z. S., & Jihadi, L. H. (2018). Slope Safety Factor and Its Relationship with Angle of Slope Gradient to Support Landslide Mitigation at Jatinangor

Education Area, Sumedang, West Java,
Indonesia. *IOP Conference Series: Earth
and Environmental Science*, 145, 012052.
[https://doi.org/10.1088/1755-
1315/145/1/012052](https://doi.org/10.1088/1755-1315/145/1/012052)