



## Evaluasi Sifat Fisik dan Keteknikan Material Berpotensi Longsor serta Hubungannya terhadap Kestabilan Lereng di Zona Sesar Lembang

Selly Feranie<sup>1</sup>, Adrin Tohari<sup>2</sup>, Ila Karmila<sup>1</sup>, Cahyanisa Alifa Pramesti<sup>1</sup>, Amata Kara Perdani Handiman<sup>1</sup>

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi 9.0)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

23 September 2023

### Abstrak

Lereng curam yang berasosiasi dengan sesar aktif mengakibatkan lereng menjadi rawan terhadap longsor. Pemahaman yang mendalam mengenai sifat fisik dan keteknikan material lereng pada zona ini penting untuk mengevaluasi kestabilan lereng. Pengambilan sampel tanah terganggu dan tidak terganggu telah dilakukan pada tiga titik di lokasi penelitian untuk melakukan uji secara menyeluruh di laboratorium. Uji yang dilakukan meliputi uji sifat fisik diantaranya uji berat isi, kadar air, porositas, derajat kejenuhan, berat jenis, batas-batas Atterberg, serta analisis saringan dan hidrometer, adapun uji keteknikan yang dilakukan adalah uji triaksial Consolidated-Undrained (CU) untuk mengetahui kohesi dan sudut geser efektif. Berdasarkan hasil uji sifat fisik yang dilakukan, diperoleh bahwa material berpotensi longsor merupakan material yang memiliki porositas yang cukup besar yakni dalam rentang 63.41% - 65.72% dengan konsistensi tanah yang lembab berdasarkan nilai kadar air pada rentang 27% - 34% dan derajat kejenuhan yang diperoleh pada 39%-50%, serta hasil uji batas-batas atterberg diperoleh batas cair pada rentang 55,85% - 68,90%, batas plastis pada rentang 40,16% - 50,48%, indeks plastis pada rentang 15,68% - 19,78% yang menunjukkan material berupa tanah lanau dengan tingkat keplastisan yang tinggi. Hasil analisis besar butir dan hidrometer diperoleh distribusi ukuran butir yang didominasi oleh tanah lanau dan pasir sehingga dikategorikan sebagai tanah lanau berpasir. Berdasarkan hasil uji keteknikan didapatkan kohesi efektif sebesar 8,74 - 25,76 kPa dan sudut geser efektif sebesar 15,29° - 34,81°, nilai tersebut menunjukkan material memiliki kohesi yang lemah dan kekuatan geser yang kecil, sehingga memiliki kemampuan yang lemah dalam menahan gaya yang bekerja pada lereng. Material berkonsistensi lembab serta porositas dan keplastisan yang tinggi dengan kuat geser lemah dapat mempengaruhi kestabilan lereng, akibat hal tersebut lereng menjadi rawan longsor.

**Keywords:** *sifat fisik tanah - sifat keteknikan tanah - material berpotensi longsor – kestabilan lereng*

### PENDAHULUAN

Sesar Lembang merupakan salah satu sesar aktif yang ada di Jawa Barat, Indonesia, sesar ini aktif melakukan aktivitas tektonik seperti pergerakan sesar dan berpotensi melepaskan energi gempa yang besar (Daryono dkk., 2018). Sesar Lembang teridentifikasi sebagai sesar *left-lateral strike-slip* dengan panjang keseluruhan mencapai 29 km (Afnimar dkk., 2015). Sesar

✉ Selly Feranie Ila Karmila Amata Kara Perdani Handiman  
[feranie@upi.edu](mailto:feranie@upi.edu) [ilakarmila@upi.edu](mailto:ilakarmila@upi.edu) [amatakara@upi.edu](mailto:amatakara@upi.edu)

Adrin Tohari Cahyanisa Alifa Pramesti  
[adrin.tohari@gmail.com](mailto:adrin.tohari@gmail.com) [cahyanisa@upi.edu](mailto:cahyanisa@upi.edu)

<sup>1</sup> Departemen Fisika. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia.

<sup>2</sup> Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Indonesia.

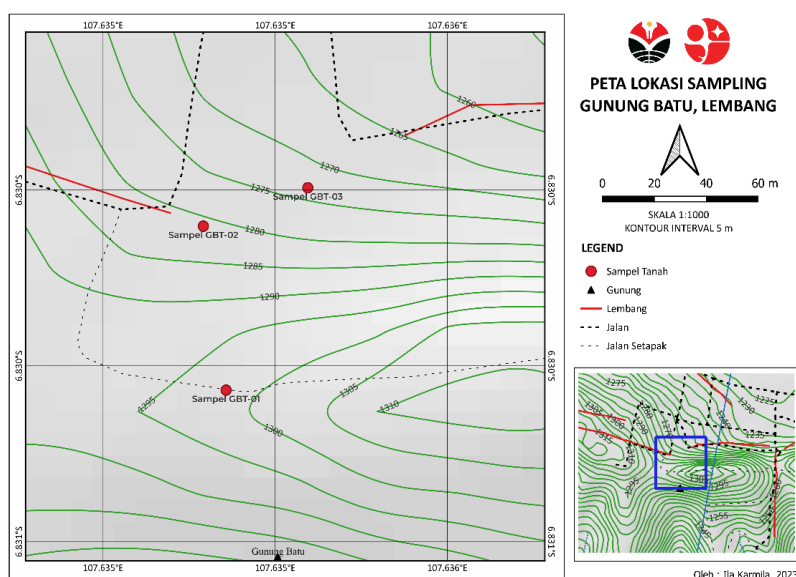
Lembang terbagi menjadi enam seksi yang berbeda, salah satu diantaranya adalah seksi Gunung Batu pada km 16.5 sampai km 21.5 sesar. Seksi Gunung Batu memiliki struktur monoklin dan tersusun atas intrusi batuan beku yang menerobos miring ke utara berupa andesit berjenis *dike*. Kemiringan lereng di Gunung Batu mencapai 15% sehingga kondisi morfologi Gunung Batu termasuk satuan geomorfologi miring yang memiliki relief cukup curam dibanding dengan sekitarnya (Junursyah & Agustya, 2017). Lereng curam yang terbentuk di daerah sesar aktif memiliki risiko penurunan stabilitas secara signifikan akibat getaran gempa dari aktivitas tektonik yang dapat memicu pergerakan massa tanah atau batuan sehingga dapat meningkatkan potensi tanah longsor (Nakamura dalam Wilopo & Fathani, 2021).

Tanah longsor terjadi akibat pergerakan material berupa massa batuan atau tanah di permukaan yang menuruni lereng yang dipicu oleh stimulus eksternal dan perubahan struktur geologi tanah. Tanah memiliki karakteristik dan klasifikasi yang beragam berdasarkan parameter fisik dan keteknikan tanah. Karakteristik fisik dan keteknikan tanah dapat mengidentifikasi perilaku tanah yang berkaitan dengan kestabilan lereng seperti halnya dalam kemampuan tanah menyimpan air, kejenuhan tanah, kepadatan tanah, distribusi ukuran tanah, tingkat keplastisan, dan kekuatan geser tanah. Karakteristik fisik material yang berpotensi longsor yakni tanah yang berada di permukaan lereng diidentifikasi melalui uji laboratorium sampel tanah terganggu dan tidak terganggu berdasarkan metode mekanika tanah melalui beberapa pengujian dengan standar tertentu (Auliya dkk., 2021; Lestari dkk., 2021; Salsabila dkk., 2021; Sri dkk., 2021). Sedangkan, karakteristik keteknikan tanah berupa kohesi dan sudut geser yakni merupakan parameter kuat geser dapat diperoleh berdasarkan uji triaksial dari sampel tanah tak terganggu (Darwis, 2018; Kharoza dkk., 2021). Hasil evaluasi dari karakteristik fisik dan keteknikan tersebut digunakan untuk mengetahui kestabilan lereng dan potensi tanah longsor.

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini dilakukan uji karakteristik fisik dan keteknikan material lereng berpotensi longsor di Gunung Batu, Lembang, untuk dapat mengetahui karakteristik dan hubungannya terhadap kondisi kestabilan lereng tersebut. Penelitian ini dapat memberikan gambaran terkait perilaku material lereng dalam memahami kestabilan lereng dan risiko tanah longsor di lokasi penelitian. Pemahaman tersebut sangat penting dalam melakukan penilaian risiko dan perencanaan mitigasi bencana alam

## **METODE**

Sampel tanah terganggu dan tidak terganggu di tiga titik di lokasi penelitian dikumpulkan untuk pengujian sifat fisik dan keteknikan material berpotensi longsor di laboratorium. Sampel tanah yang diuji adalah tanah yang berada pada kedalaman yang dangkal sekitar 30 – 50 cm dibawah permukaan lereng. Sebaran titik lokasi sampel ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel GBT-01 berada di atas gunung tepatnya di barat singkapan Gunung Batu, sedangkan sampel GBT-02 dan GBT-03 berada di kaki lereng Gunung Batu yakni di utara dekat dengan jalan Gunung Batu.



Gambar 1. Peta Lokasi Sampling

Sampel tanah diuji berdasarkan standar pengujian ASTM (*American Standard of Testing Material*). Parameter-parameter tanah yang diuji untuk sifat fisik tanah berupa pengukuran berat isi, isi pori, kadar air dan derajat kejenuhan (ASTM D 854-00), berat jenis (ASTM D-854-83), batas-batas Atterberg yang terdiri dari batas cair, batas plastis dan batas susut (ASTM D-432-56) dan analisis ukuran butir (ASTM D-2487-99). Sedangkan uji sifat keteknikan tanah dilakukan melalui uji triaksial *Consolidated-Undrained* (ASTM D-3080-72).

Pengukuran berat isi, isi pori, kadar air dan derajat kejenuhan dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter fisis tanah dalam keadaan yang tidak terganggu atau sesuai dengan kondisi di lapangan. Berat isi tanah diukur melalui perbandingan berat tanah total ( $W_{total}$ ) dengan satuan volume total tanah ( $\gamma$ ). Parameter berat isi yang diperoleh digunakan untuk mengetahui komposisi dan kepadatan tanah. Kemudian, isi pori atau porositas tanah ditentukan untuk mengetahui perbandingan volume rongga ( $V_v$ ) dan volume total tanah ( $V$ ). Porositas ini digunakan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menyimpan air sehingga berkaitan dengan kadar air yang dimilikinya. Sedangkan derajat kejenuhan diukur untuk menentukan konsistensi tanah dari perbandingan volume air ( $V_w$ ) dan volume total pori ( $V_s$ ) pada tanah.

Pengukuran selanjutnya adalah berat jenis, berat jenis digunakan dalam menentukan rasio massa butiran tanah padat yang kering ( $\gamma_s$ ) terhadap massa air suling ( $\gamma_w$ ) yang udaranya dihilangkan. Pengukuran berat jenis ini dilakukan menggunakan tanah kering yang berbutir halus yang direndam dan dididihkan dalam piknometer.

Pengujian batas-batas Atterberg dilakukan menggunakan alat cassagrande untuk memperoleh kadar air tanah pada keadaan cair (*Liquid Limit, LL*), plastis (*Plasticity Limit, PL*) dan susut (*SL*) untuk tanah yang berbutir halus dan tidak ada kerikil yang terlalu besar. Dari selisih batas cair dan batas plastis diperoleh indeks plastis (*PI*) yakni kondisi tanah yang menunjukkan keplastisan. Batas cair (*LL*) dan indeks plastis (*PI*) yang diperoleh diplot pada diagram cassagrande untuk dapat mengklasifikasikan tanah dengan tepat.

Uji sifat fisik selanjutnya adalah analisa ukuran butir, variasi ukuran butir tanah dan proporsi distribusinya dapat merupakan indikator yang berguna untuk mengetahui perilaku tanah dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 1996). Analisa ukuran butir dilakukan melalui

dua pengujian yang simultan yaitu analisa saringan untuk sampel yang tertahan pada saringan No.200 dan pemeriksaan hydrometer untuk sampel yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Hasil dari analisis saringan dan hydrometer disajikan dalam bentuk grafik semi logaritmik berupa kurva distribusi ukuran butir untuk mengetahui gradasi tanah apakah bergradasi baik atau buruk sehingga dapat diketahui klasifikasi jenis tanah berdasarkan standar ASTM.

Adapun untuk uji sifat keteknikan tanah yang dilakukan melalui uji triaksial *Consolidated-Undrained* (CU) yang terdiri dari tiga tahap diantaranya tahap penjenuhan (*saturation stage*), tahap konsolidasi (*Consolidation stage*) dan tahap kompresi (*Shear stage*). Hasil dari pengujian sampel yang tidak terganggu pada uji triaksial ini berupa grafik yang menunjukkan nilai kohesi dan sudut geser sampel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah memiliki sifat yang beragam diantaranya adalah sifat fisik dan keteknikan tanah yang berperan penting dalam melakukan analisis kestabilan lereng. Parameter-parameter tanah tersebut perlu diketahui untuk dapat mempelajari perilaku tanah sebagai material penyusun lereng.

### Sifat Fisik Material Berpotensi Longsor

Parameter-parameter fisik tanah yang diperoleh dari ketiga sampel yang diuji berdasarkan hasil pengujian laboratorium dalam mengkarakterisasifat fisik tanah melalui pengujian berat isi, isi pori, kadar air, derajat kejenuhan, berat jenis, batas-batas atterbeg serta analisa ukuran butir dimuat dalam Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Nilai Parameter Sifat Fisik Tanah

Parameter	GBT-01	GBT-02	GBT-03
Berat isi basah (kN/m <sup>3</sup> )	12,76 kN/m <sup>3</sup>	12,44 kN/m <sup>3</sup>	11,68 kN/m <sup>3</sup>
Berat isi kering (kN/m <sup>3</sup> )	9,79 kN/m <sup>3</sup>	9,22 kN/m <sup>3</sup>	9,15 kN/m <sup>3</sup>
Porositas (%)	63,41%	65,72%	65,50%
Kadar Air (%)	30,44%	34,98%	27,66%
Derajat Kejenuhan	47,94%	50,06%	39,42%
Berat Jenis	2,73	2,74	2,71
Batas Cair (%)	60,35%	68,90%	55,85%
Batas Plastis (%)	41,55%	50,48%	40,16%
Batas Susut (%)	23,27%	15,40%	29,19%
Indeks Plastis (%)	18,78%	18,42%	15,68%

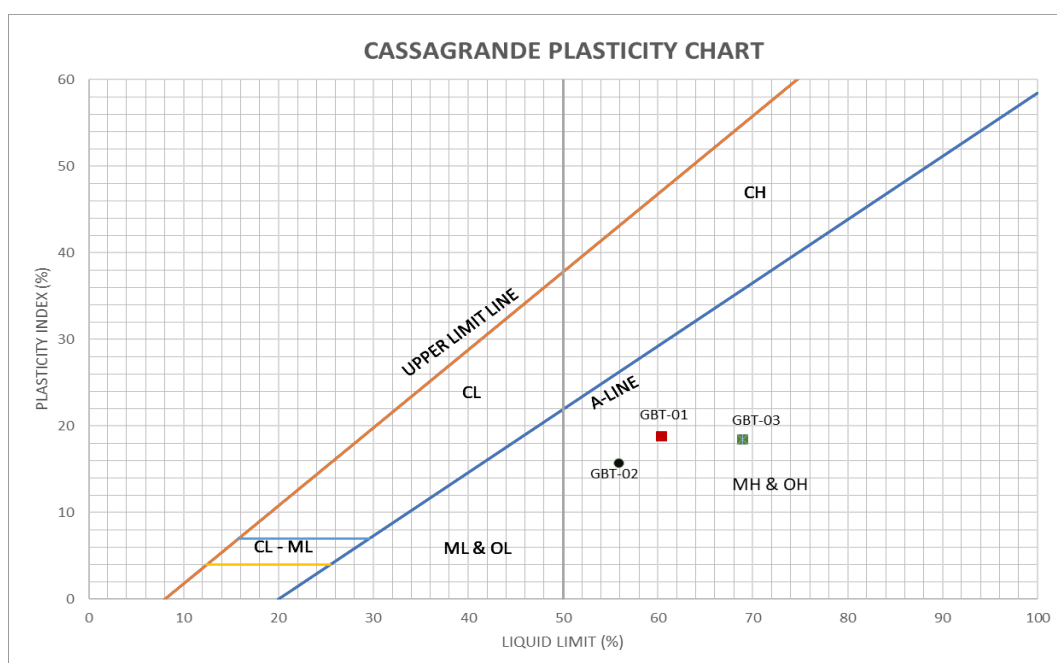
Berat isi tanah baik berat isi basah maupun kering mengacu kepada berat tanah per unit volume sehingga berkaitan dengan tingkat kepadatan tanah. Meskipun tidak selalu mengindikasikan demikian, tanah dengan berat isi yang tinggi cenderung lebih padat sehingga memiliki kekuatan yang lebih tinggi akibat partikel-partikel tanah terkompaksi dengan rapat.

Pada tiga sampel yang diuji memiliki porositas yang cukup besar yang berarti bahwa kemampuan tanah untuk menyimpan dan mengalirkan air atau udara adalah baik. Dengan demikian, tanah memiliki struktur yang cukup mudah mengalami erosi terutama ketika terjadi hujan yang deras.

Adapun rentang persentase kadar air dan derajat kejenuhan yang diperoleh mengklasifikasikan tanah pada konsistensi yang lembab. Tanah dengan kelembaban yang tinggi

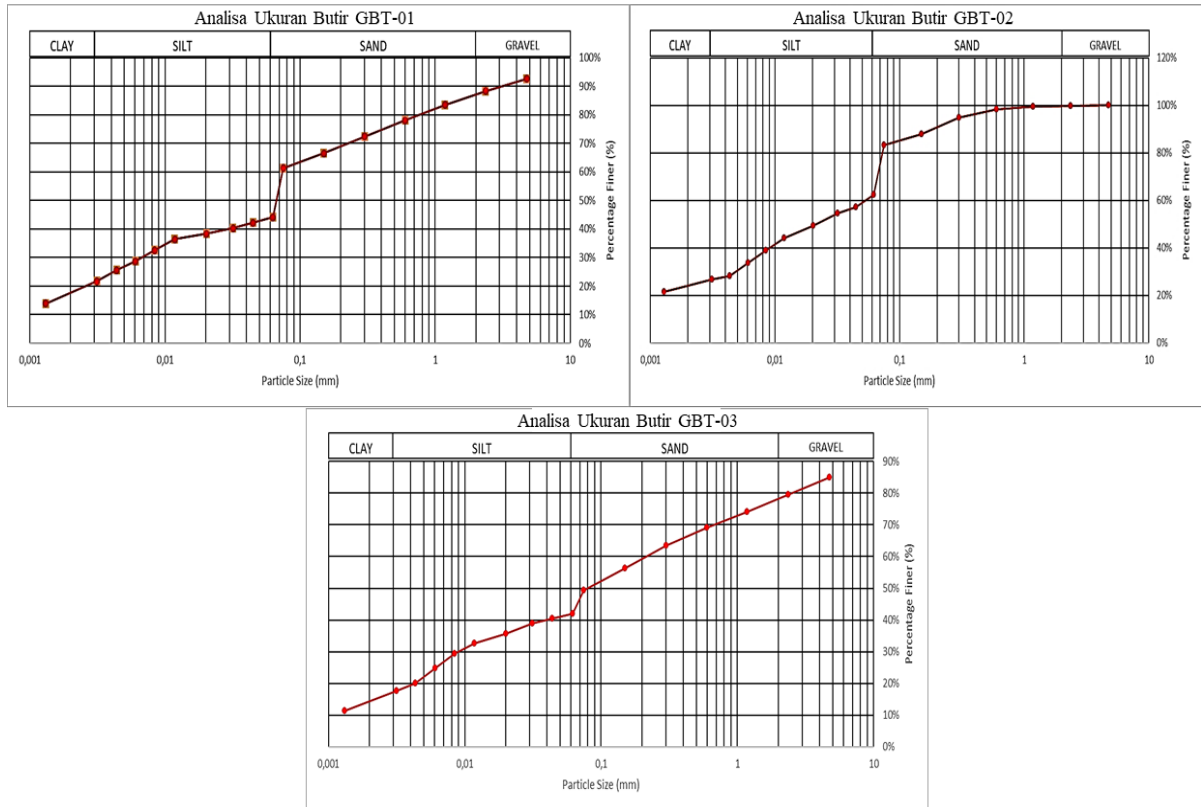
dapat mempengaruhi kekuatan geser akibat berkurangnya gesekan antar partikel tanah sehingga mengakibatkan tanah rentan bergerak (Bizamana & Sönmez, 2015).

Berdasarkan parameter yang diperoleh dari pengujian berat jenis dan batas-batas Atterberg dapat diketahui klasifikasi jenis tanahnya. Nilai berat jenis yang diperoleh berdasarkan klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai berat jenis menurut Venkatramaiah (2006), untuk rentang nilai 2,71 g/cm<sup>3</sup> hingga 2,74 g/cm<sup>3</sup> termasuk pada kategori tanah lanau dengan berat jenis yang tinggi (Venkatramaiah, 2006). Sedangkan, berdasarkan indeks plastis dan batas cair yang diperoleh pada pengujian batas-batas Atterberg diperoleh bahwa ketiga sampel termasuk zona MH yang berarti bahwa tanah termasuk tanah lanau dengan tingkat keplastisan yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada diagram cassagrande pada Gambar 2. Tanah berjenis lanau yang memiliki tingkat keplastisan yang tinggi mudah mengalami perubahan akibatnya kekuatan geser tanah dapat terganggu yang mempengaruhi kestabilan tanah tersebut. Semakin besar indeks plastis maka semakin besar pula perubahan volume tanah yang akan terjadi (Yalcin, 2011).



**Gambar 2.** Diagram Keplastisan Cassagrande untuk tiga sampel yang diuji

Klasifikasi jenis tanah juga dilakukan menggunakan uji analisis distribusi ukuran butir melalui persebaran ukuran butir yang dikelompokkan berdasarkan empat jenis yakni lempung, lanau, pasir dan kerikil sesuai dengan rentang ukuran butir (dalam mm) standar ASTM D 2487-99 (American Society for Testing and Materials, 2000). Berdasarkan uji analisis distribusi ukuran butir tanah pada tiga sampel yang diuji diperoleh bahwa di lokasi penelitian, tanah didominasi oleh ukuran yang sedang yakni pasir dan lanau yang dinyatakan dengan persentase lolos saringan yang lebih tinggi. Distribusi tersebut sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Tabel 2.



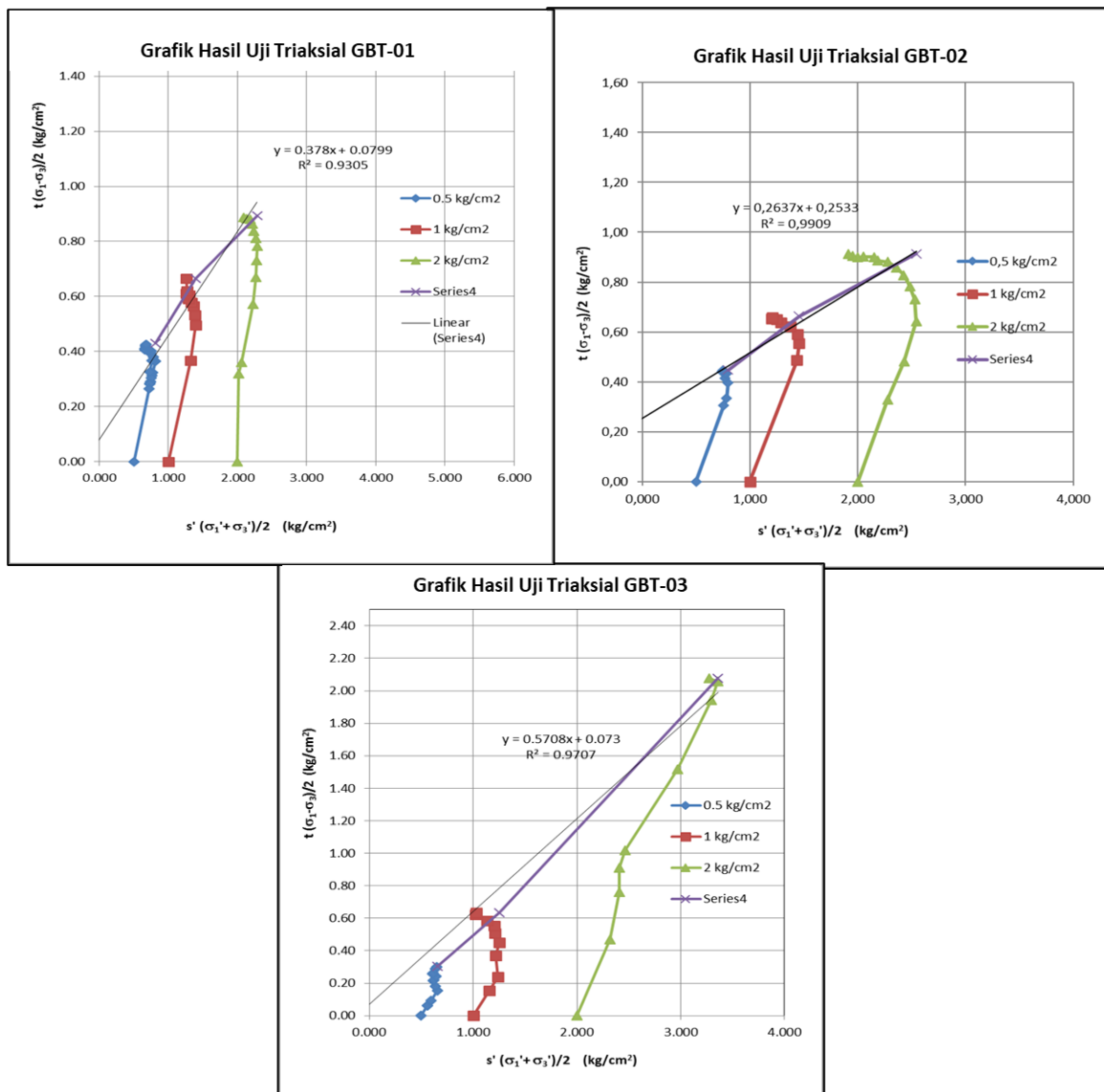
Gambar 3. Grafik distribusi ukuran butir dari tiga sampel tanah yang diuji

Tabel 2. Persentase distribusi ukuran tanah pada tiga sampel

Jenis Tanah	Total GBT-01	Total GBT-02	Total GBT-03
Clay	7,75%	5,24%	6,27%
Silt	22,48%	35,66%	24,44%
Sand	39,35%	36,96%	32,14%
Gravel	9,07%	0,56%	10,86%

### Sifat Keteknikan Material Berpotensi Longsor

Sifat keteknikan yang dianalisis pada penelitian ini adalah kohesi efektif dan sudut geser efektif yang diperoleh dari uji triaksial *Consolidated-Undrained* (CU) melalui berbagai tahapan sehingga diperoleh grafik regresi linear *deviatoric stress* terhadap *axial strain* seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik hasil uji triaksial

Persamaan linear yang diperoleh dari grafik tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kohesi dan sudut geser efektif menggunakan Persamaan (1) dan (2). Adapun hasil nilainya diperoleh seperti yang dimuat pada Tabel 2.

$$\varphi' = \text{Sin}^{-1}(\tan \theta) \tag{1}$$

$$c' = \frac{t}{\text{cos}(\varphi')} \tag{2}$$

Dengan  $\varphi'$  = sudut geser efektif,  $\tan \theta$  = gradien pada persamaan x yang diperoleh,  $c'$  = kohesi efektif, dan  $t$  = konstanta pada persamaan x yang diperoleh

**Tabel 3.** Nilai parameter sifat keteknikan tanah

Parameter	GBT-01	GBT-02	GBT-03
Kohesi Efektif (kPa)	8,47 kPa	25,76 kPa	8,72 kPa
Sudut Geser Efektif (°)	22,21°	15,29°	34,81°

Berdasarkan hasil yang diperoleh, sampel tanah GBT-01 dan GBT-03 menunjukkan nilai kohesi yang cukup kecil yang artinya bahwa tanah di lokasi tersebut memiliki kekuatan geser dan gaya tarik antar partikel tanah yang lemah. Sedangkan pada sampel GBT-02 diperoleh kohesi yang lebih tinggi yang berarti memiliki kekuatan geser untuk melawan tegangan geser dari beban lebih tinggi disbanding dengan dua sampel lainnya.

## KESIMPULAN

Hasil uji laboratorium karakterisasi sifat fisik dan keteknikan material penyusun lereng di Gunung Batu diperoleh bahwa material tersebut berupa tanah lanau dengan konsistensi tanah yang lembab, porositas yang cukup besar dan tingkat keplastisan yang tinggi dengan kekuatan geser yang lemah. Dengan demikian, material penyusun lereng ini dapat berpotensi mengakibatkan ketidakstabilan pada lereng yang memicu terjadinya tanah longsor.

## URACAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung dan didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dalam program penelitian “Penelitian Dasar Kemenristekdikti” 010/E4/AK.04.PTNBH/ 2021 serta berkolaborasi dengan Laboratorium Geoteknologi, Psat Riset dan Kebencanaan Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar, Yulianto, E., & Rasmid. (2015). Geological and tectonic implications obtained from first seismic activity investigation around Lembang fault. *Geoscience Letters*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-015-0020-5>
- American Society for Testing and Materials. (2000). *Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards*.
- Auliya, A. L., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakteristik Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor di Sidamukti, Pangalengan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 7(0), 401–408.
- Bizamana, H., & Sönmez, O. (2015). Landslide occurrences in the hilly areas of Rwanda, their causes and protection measures. *Disaster Science and Engineering*, 1(1), 1–7. <http://www.disasterengineering.com/tr/pub/dse/381756>
- Darwis. (2018). *Dasar-dasar Mekanika Tanah* (A. Kodir (ed.); Nomor January). Pena Indis.
- Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., & Sapiie, B. (2018). Earthquake Geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics*, #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.12.014>
- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik Fondasi 1 Edisi Kedua. In *Gramedia Pustaka Utama*.
- Junursyah, G. . L., & Agustya, G. (2017). *Penafsiran Struktur Geologi di Daerah Gunung Batu Lembang Berdasarkan Korelasi Data Permukaan, Tahanan Jenis, dan Geomagnetik*. 18(3), 171–182.
- Kharoza, M. L. F., Muntohar, A. S., Diana, W., & Hartono, E. (2021). Karakteristik Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif di Sekitar Kolom SiCC. *Bulletin of Civil Engineering*, 1(1), 7–11. <https://doi.org/10.18196/bce.v1i1.11117>
- Lestari, F., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakterisasi Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor Di Pasirjambu, Bandung. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 7.0*, 409–414.
- Salsabila, G. A., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakteristik Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor Di Tol Bogor Ciawi Sukabumi, Kabupaten Bogor. *Seminar Nasional Fisika*, 0, 390–395. <http://proceedings2.upi.edu/index.php/sinafi/article/view/1867%0Ahttp://proceedings2.upi.edu/index.php/sinafi/article/download/1867/1676>



- Sri, A., Fuji, Y., Feranie, S., & Tohari, A. (2021). Karakterisasi Sifat Fisik Tanah Residual Lereng Rawan Longsor Di Ruas Jalan Kereta Api Sukatani-Ciganea. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 7(0), 396–400.
- Venkatramaiah, C. (2006). Geotechnical Engineering, 3Ed. In *New Age International Publishers* (Vol. 1999, Nomor December).
- Wilopo, W., & Fathani, T. F. (2021). The mechanism of landslide-induced debris flow in geothermal area, bukit barisan mountains of sumatra, indonesia. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(3), 688–697. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29741>
- Yalcin, A. (2011). A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey. *Applied Clay Science*, 52(1–2), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.01.015>

