

## GAMBARAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH DI KECAMATAN KAUMAN KABUPATEN TULUNGAGUNG

Niko Andika Erwanda<sup>1</sup>, Agata Iwan Candra<sup>2</sup>, Atsfiela Dzulkhan Qalby<sup>3</sup>, Salman Alfaridh Pasya<sup>4</sup>, Nadi Rheiza Faturrahman<sup>5</sup>, Prendy Eliya Mahendra<sup>6</sup> dan Muhammad Rosyid Abdul Rohman Fauzy<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: nikoandika111@gmail.com

<sup>2</sup>Staf Pengajar, <sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: iwan\_candra@unik-kediri.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: filadq596@gmail.com

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: salman.apasya@gmail.com

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: rheyfr@gmail.com

<sup>6</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: juplek2601@gmail.com

<sup>7</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115, Indonesia

Email: rosyidfhm78@gmail.com

### ABSTRACT

*The landslide disaster in Kauman District, Tulungagung Regency, East Java, resulted in various adverse impacts on community activities and the environment. The purpose of this study was to determine the classification of soil in the area. The methods used were atterberg limit testing, sieve analysis, compaction and shear strength. Soil samples were taken from the location of the former landslide and then tested at the Kadiri University Civil Engineering Laboratory. The research results on the liquid limit test obtained a value of 60.815%. The plastic limit test obtained a value of 32.24%. The sieve analysis test obtained the results for soil type SW, and the soil compaction test obtained an optimum water content value of 34.93% and dry unit weight maximum of 1.38 gr/cm<sup>3</sup>. Soil shear strength testing obtained a cohesion value of 2.532 Kpa and a shear angle value of 17.391 degrees, and it can be concluded that the soil is prone to landslides, so a special design is needed on the slope related to the slope of the slope and the model of retaining walls to prevent landslides.*

**Keywords:** Landslides, Soft Soil, Atterberg Limits, Compaction, Soil Shear Strength

### ABSTRAK

Bencana tanah longsor di Kecamatan Kauman, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur mengakibatkan berbagai dampak buruk bagi kegiatan masyarakat dan lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui klasifikasi tanah di daerah tersebut, metode yang digunakan adalah pengujian batas atterberg, analisa ayakan, pemadatan dan kuat geser. Sampel tanah diambil dari lokasi bekas longsor, dan selanjutnya di uji di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri. Hasil dari penelitian pada pengujian batas cair mendapatkan nilai 60,815%, pengujian batas plastis mendapatkan nilai sebesar 32,24%, pengujian analisa ayakan mendapatkan hasil golongan tanah berjenis SW, pengujian pemadatan tanah mendapatkan nilai kadar air optimum sebesar 34,93% dan berat volume kering maksimum sebesar 1,38 gr/cm<sup>3</sup> dan pengujian kuat geser tanah mendapatkan nilai kohesi sebesar 2,532 Kpa dan nilai sudut geser sebesar 17,391 derajat, maka dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut rawan bencana longsor, sehingga perlunya sebuah desain khusus pada lereng tersebut terkait kemiringan kelerengannya dan model dari dinding penahan untuk mengatasi longsor.

**Kata kunci:** Longsor, Tanah Lunak, Batas Atterberg, Pemadatan, Kuat Geser Tanah

## 1. PENDAHULUAN

Bencana tanah longsor yang terjadi di Kabupaten Tulungagung Jawa Timur telah melanda 15 Kecamatan. Salah satu diantaranya adalah Kecamatan Kauman. Daerah tersebut memang berpotensi akan bencana tanah longsor. Pada tanggal 11/04/2015 longsor terjadi di terowongan kleben Desa Karangnom, Kecamatan Kauman dan pada tanggal 28/03/2022 longsor terjadi kembali di terowongan kleben. Dampak dari longsor tersebut mengakibatkan tertutupnya akses jalan secara total (Pos, 2015; Tulungagung, 2022). Pada dasarnya daerah tersebut diketahui dekat dengan perbukitan yang tanahnya kurang stabil. Jika dilihat dari visualnya tanah di kabupaten Tulungagung memang tergolong tanah lunak. Tanah lunak merupakan sedimentasi pada lahan basah, tanah ini umumnya memiliki ciri khas yaitu berbutir halus, air yang terkandung di dalam tanah tersebut relatif cukup tinggi dan mengandung banyak bahan organik. Tanah lunak muda biasanya mempunyai ketebalan kisaran 40 m, tanah sedimen ini biasanya memiliki kompresibilitas yang cukup tinggi dan daya dukung terhadap beban yang rendah (Zaika et al., 2019). Dampak dari tanah lunak tersebut beresiko menimbulkan bencana tanah longsor (Ли & Конг, 2019). Tidak hanya dapat menimbulkan longsor, namun tanah lunak juga salah satu faktor utama terjadinya proses penurunan tanah, alhasil dapat timbul masalah baru yaitu kerusakan pada struktur bawah bangunan dan juga kerugian dalam segi ekonomi (Providakis et al., 2019), untuk mengetahui lebih jelas akan penggolongan tanah tersebut maka penting, untuk mengidentifikasi tanah tersebut perlu adanya pengujian berupa batas Atterberg, analisa ayakan, pemadatan, dan kuat geser (Kane et al., 2016).

Pengujian batas Atterberg yaitu berupa batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas. Hasil dari pengujian tersebut didapatkan nilai batas cair dan batas plastis yang digunakan untuk menentukan nilai indeks plastisitas. Nilai indeks plastisitas menunjukkan nilai keplastisitasan suatu tanah. Nilai batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengidentifikasi jenis tanah (Polivanov et al., 2021), sehingga dapat diketahui sifat fisis dan karakteristik tanah sebelum dibangun sebuah konstruksi. Pengujian analisa ayakan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel tanah pada ukuran-ukuran diameter ayakan tertentu (Ding et al., 2023). Pengujian ini didapatkan nilai  $C_u$  (Coefisien Uniformitas) dan nilai  $C_c$  (Curvature Coefisien) suatu tanah. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan jenis tanah melengkapi parameter dari nilai-nilai uji batas Atterberg (Tabrizi-Zarringabaei et al., 2019). Pengujian selanjutnya adalah pengujian pemadatan tanah, pengujian ini memiliki peran penting dalam perbaikan kekuatan tanah untuk mendukung struktur di atasnya, pemadatan bertujuan untuk menutup rongga yang terisi oleh udara dan merapatkan partikel tanah, dengan adanya pengujian tersebut akan mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum (Heidemann et al., 2020), nantinya hasil tersebut akan diplotkan ke dalam kurva pemadatan dengan jenis tanah antara lain lanau berpasir, lempung berlanau, lempung kadar air tinggi, dan pasir bergradasi baik. Dalam uji pemadatan tanah menggunakan Mesin Proctor Compaction Test, tanah dipadatkan di dalam sebuah mold dengan volume 943,3 cm<sup>3</sup>, berat penumbuk adalah 2,5 kg dengan massa jatuh sebesar 12 in. pengujian dilakukan sebanyak 3 kali lapisan dengan setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali (Nguyen et al., 2018). Untuk mengidentifikasi lebih akurat, diperlukan uji kuat geser menggunakan alat Direct Shear Test. Uji ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah tersebut. Parameter yang akan didapatkan adalah kohesi ( $c$ ) tanah dan sudut geser internal ( $\phi$ ) tanah. Hasil dari nilai parameter tersebut dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah diantaranya kestabilan lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan atau struktur penahan tanah (Dołżyk-Szypcio, 2019; Heidemann et al., 2020).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kadar air tanah pada kondisi plastis dan cair, keseragaman gradasi, kadar air optimum dan berat volume kering maksimum, nilai kohesi dan sudut geser dan menentukan jenis tanah. Manfaat dari beberapa uji diatas diharapkan mampu memprediksi pemanfaatan tanah tersebut apakah layak untuk mendukung konstruksi.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah dengan menentukan batas atterberg, analisa ayakan, pemadatan dan kuat geser menggunakan metode eksperimental dengan pengambilan sampel di daerah Tulungagung, dan selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri.

### **Batas cair**

Pada pengujian batas cair menggunakan 4 sampel tanah dengan berat masing-masing 100 gr, dengan kadar air yang divariasikan, masukkan sampel tanah ke *Casagrande* hingga sampel tanah menyatu dengan bagian dasarnya. Timbang tanah dan selanjutnya masukkan kedalam oven selama 24 jam (ASTM, 2000).

### **Batas plastis**

Pada pengujian ini, sampel tanah diambil dengan tingkat kehomogenan yang telah ditentukan, gulung sampel tanah hingga retak hingga diameter 3mm, masukkan setiap patahan dalam cawan, timbang dan masukkan kedalam oven selama 24 jam (ASTM, 2000).

### **Analisa ayakan**

Siapkan ayakan ukuran no 4, 10, 20, 30, 40, 50, 80, 100, 200 dan pan. kemudian ayak sampel menggunakan *sieve shaker* lalu timbang tanah yang tertahan pada masing-masing ayakan (ASTM C136, 2019).

### **Pemadatan tanah**

Siapkan tanah seberat 2 kg dan campur tanah tersebut dengan air hingga tingkat kejenuhan tertentu, masukkan tanah kedalam mold, atur alat *standart proctor test* dengan jumlah tumbukan sebanyak 25, lakukan uji secara bertahap sebanyak 3 kali tumbukan, keluarkan sampel dengan dongkrak, timbang sampel dan ambil sebagian sampel lalu masukkan kedalam oven selama 24 jam (ASTM International, 2007).

### **Kuat geser tanah**

Pengambilan sampel tanah kemudian siapkan alat. timbang dan ukur diameter sampel tanah menggunakan timbangan dan jangka sorong. selanjutnya proses pengujian tanah dengan alat *Direct Shear Test*. Pasang piston beban, *proving ring* serta indikator dial horizontal lalu atur jarum jam agar berada di nol. Selanjutnya, putar manual alat *Direct Shear Test* sampai nol. Pengujian *Direct Shear Test* dilakukan dengan arah putaran yang sama per 20 secara konstan. Langkah selanjutnya timbang dan ukur diameter sampel tersebut (ASTM D3080, 2003).

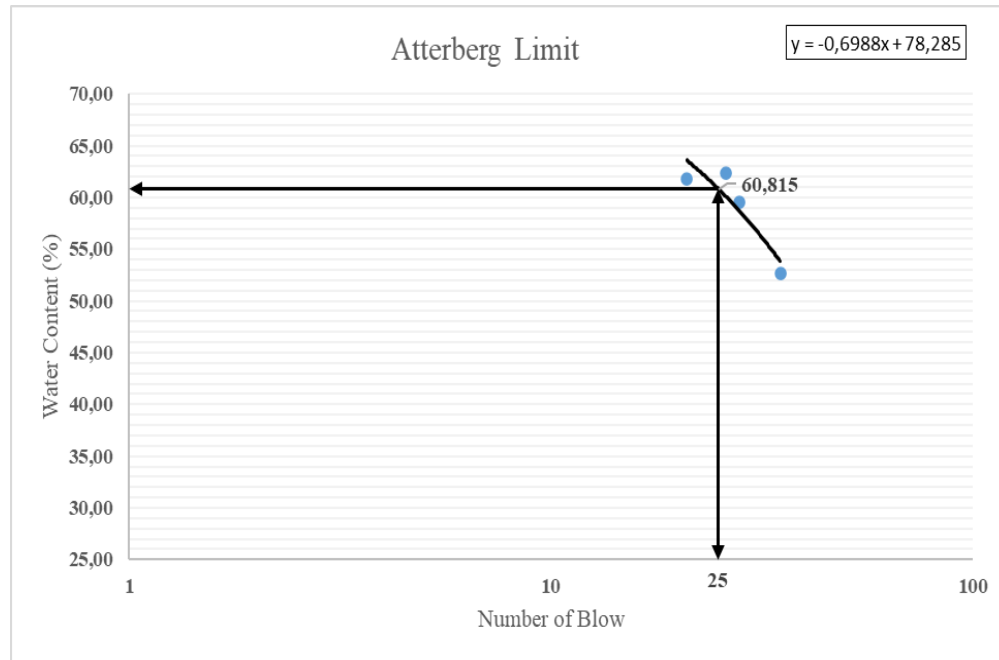
## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Batas cair**

Dari Tabel 1 dan Gambar 1 diperoleh nilai batas cair sebesar 60,815%, Nilai ini tergolong tinggi (Das, 1995; Uddin, 2017).

Tabel 1. Batas cair

<b>Weight Wet (gr)</b>	<b>Weight Dry (gr)</b>	<b>Weight Water (gr)</b>	<b>Water Content (%)</b>	<b>Number of Blow</b>
19,9	12,3	7,6	61,79	21
21,1	13	8,1	62,31	26
20,9	13,1	7,8	59,54	28
26,1	17,1	9	52,63	35



Gambar 1. Grafik batas cair

**Batas plastis**

Dari Tabel 2 pengujian batas plastis menghasilkan nilai sebesar 32,24% yang tergolong tinggi (Hardiyatmo, 2010; Onyelowe, 2018).

Tabel 2. Batas plastis

Weight Dry (gr)	Weight Water (gr)	Water Content (%)	Plastic Limit
0,7	0,3	42,86	32,24
0,8	0,2	25,00	
0,9	0,3	33,33	
1,8	0,5	27,78	

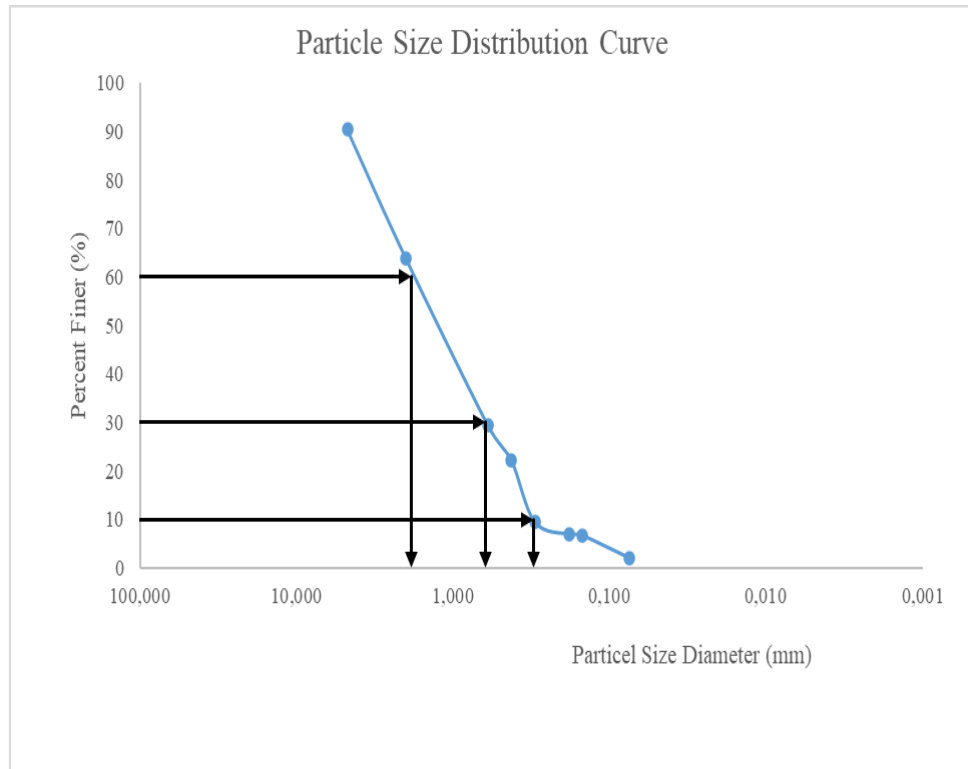
**Analisa ayakan**

Dari Tabel 3 dan Gambar 2 diperoleh nilai  $C_u$  (*Coefisien Uniformitas*) sebesar 6,022 dan nilai  $C_c$  (*Curvature Coefisient*) sebesar 1,009.

Tabel 2. Batas plastis

Number Sieve	Particle Diameter (mm)	Retained Soil (gr)	Percent of Retained (%)	Percent of Passing (%)
		0		100
4	4,750	96	9,66	90,34
10	2,000	275	27,67	62,68
30	0,600	372	37,42	25,25
40	0,425	71	17,4	18,11

50	0,300	92	9,26	8,85
80	0,180	25	2,52	6,34
100	0,150	2	0,20	6,14
200	0,075	40	4,02	2,11
Pan	0,000	21	2,11	0,0
Total		994	100	



Gambar 2. Grafik Kurva Distribusi Ukuran Partikel

**Klasifikasi tanah**

Dari Gambar 3 menurut acuan pengklasifikasian AASHTO tanah tersebut termasuk golongan A-2-7. Menurut Gambar 4 sampel tanah tergolong SW (Das, 2013).

**Table 5.1** Classification of Highway Subgrade Materials

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			A-2.7
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel, and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)						A-7 A-7-S <sup>e</sup> A-7-G <sup>e</sup>
Group classification	A-4		A-5	A-6			
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10							
No. 40							
No. 200			36 min.	36 min.	36 min.		36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit			40 max.	41 min.	40 max.		41 min.
Plasticity index			10 max.	10 max.	11 min.		11 min.
Usual types of significant constituent materials				Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor						
*For A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
*For A-7-6, $PI > LL - 30$							

**Gambar 3.** Klasifikasi Menurut Acuan AASHTO

**Table 5.2** Unified Soil Classification System (Based on Material Passing 76.2-mm Sieve)

Criteria for assigning group symbols				Group symbol
<b>Coarse-grained soils</b> More than 50% retained on No. 200 sieve	<b>Gravels</b> More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels Less than 5% fines <sup>a</sup>	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^b$ $C_u < 4$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^b$	GW GP
	<b>Sands</b> 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5% fines <sup>b</sup>	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^b$ $C_u < 6$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^b$	SW SP
		Sands with Fines More than 12% fines <sup>b,d</sup>	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) $PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SM SC
	<b>Fine-grained soils</b> 50% or more passes No. 200 sieve	<b>Silts and clays</b> Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) <sup>f</sup> $PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) <sup>f</sup>
Organic			Liquid limit—oven dried Liquid limit—not dried	< 0.75; see Figure 5.3; OL zone OL
<b>Silts and clays</b> Liquid limit 50 or more		Inorganic	$PI$ plots on or above "A" line (Figure 5.3) $PI$ plots below "A" line (Figure 5.3)	CH MH
		Organic	Liquid limit—oven dried Liquid limit—not dried	< 0.75; see Figure 5.3; OH zone OH
Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			Pt

<sup>a</sup>Gravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

<sup>b</sup>Sands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

<sup>d</sup>If  $4 \leq PI \leq 7$  and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol GC-GM or SC-SM.

<sup>f</sup>If  $4 \leq PI \leq 7$  and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol CL-ML.

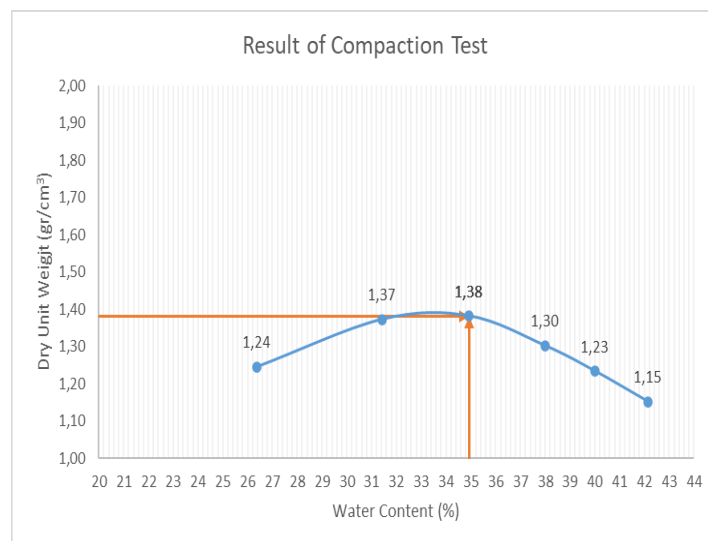
**Gambar 4.** Klasifikasi Menurut Acuan USCS

## Pemadatan tanah

Dari Tabel 4 dan Gambar 5 diperoleh nilai kadar air optimum 34.93% dan berat volume kering maksimum 1,38 gr/cm<sup>3</sup>.

Tabel 4. Pematatan Tanah

Hasil Pengujian	S 1	S2	S3	S4	S 5	S6
Penambahan Air (gr)	400	500	550	600	700	800
Penambahan Air (%)	20,00	25,00	27,50	30,00	35,00	40,00
Berat Basah Cetakan (gr)	1485	1703	1760	1696	1631	1546
Berat Volume Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1,57	1,80	1,86	1,80	1,73	1,64
Berat Basah Tanah Cawan (gr)	13,9	23,00	28,2	20,7	29,4	37,10
Berat Kering Tanah Cawan (gr)	11,00	17,5	20,9	15,00	21,00	26,10
Berat Volume Kering (gr/cm <sup>3</sup> )	1,24	1,37	1,38	1,30	1,23	1,15
Berat Air (gr)	2,90	5,50	7,30	5,70	8,40	11,00
Kadar Air (%)	26,36	31,43	34,93	38,00	40,00	42,15



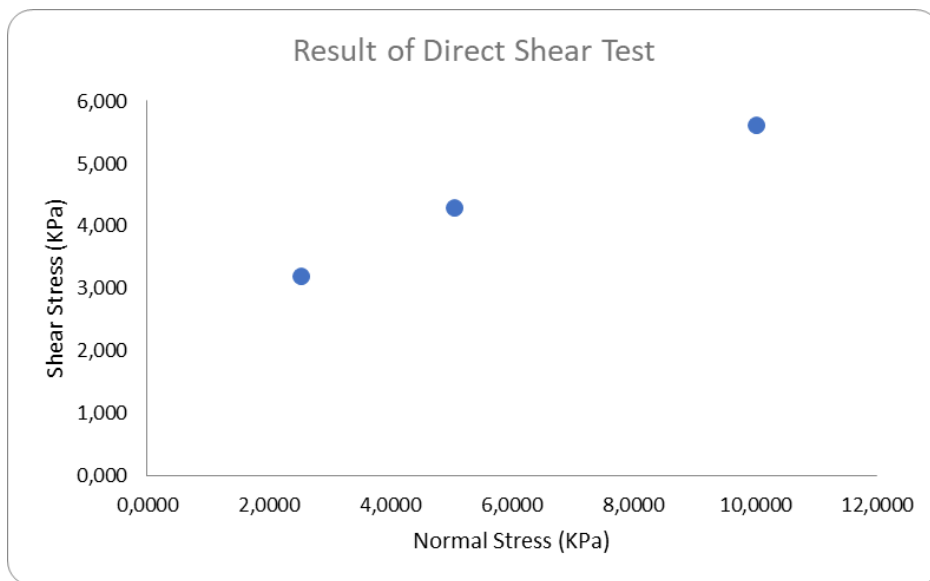
Gambar 5. Grafik Pengujian Pematatan

### Kuat geser tanah

Dari hasil pengujian kuat geser menghasilkan nilai kohesi sebesar 2,532 KPa dan Sudut geser sebesar 17,391 derajat, nilai ini tergolong rendah (Andrewwinner & Chandrasekaran, 2022).

Tabel 5. Uji Kuat Geser

Beban (gram)	Beban (Kg)	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Tebal (cm)
800	0,8	6,341	31,58	2,3
1595	1,595	6,341	31,58	2,3
3163	3,163	6,341	31,58	2,3



Gambar 6. Grafik Uji Kuat Geser

#### 4. KESIMPULAN

Batas cair didapatkan nilai sebesar 60,815%, nilai tersebut digunakan menentukan nilai indek plastis dan menjadi salah satu parameter untuk menentukan jenis tanah.

Batas plastis didapatkan nilai sebesar 32,24% dari nilai ini diperoleh plastisitas indek sebesar 28,573% tergolong High Plasticity.

Berdasarkan klasifikasi AASHTO, tanah masuk grup A-2-7, (*General Subgrade Rating dan Excellent to Good*), klasifikasi USCS, menunjukkan tanah berjenis SW, tanah tersebut mempunyai karakteristik pasir bergradasi baik.

Pemadatan tanah didapatkan nilai kadar air optimum sebesar 34,93% dan berat volume kering maksimum 1,38 gr/cm. Hasil tersebut dikonversi sebagai parameter penambahan air dan standar kepadatan uji di lapangan.

Kuat geser langsung didapat nilai kohesi sebesar 2,532 Kpa dan nilai sudut geser sebesar 17,391 derajat. Nilai ini termasuk golongan rendah, dari pengujian tersebut dapat dijadikan parameter kekuatan geser tanah setelah diberi pembebanan.

Dari berbagai hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa tanah di Kecamatan Kauman, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur, memiliki tanah dengan penyerapan kadar air yang tinggi, bersifat sangat plastis, penilaian umum sebagai tanah dasar adalah baik sekali hingga baik dan memiliki karakteristik pasir bergradasi baik dengan nilai kohesi dan sudut geser yang rendah, sehingga tanah tersebut rawan bencana longsor. Kontribusi dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi perlunya sebuah desain khusus pada lereng tersebut terkait kemiringan kelerengannya dan model dari dinding penahan untuk mengatasi longsor.



## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Andrewwinner, R., & Chandrasekaran, S. S. (2022). Finite Element and Vulnerability Analyses of a Building Failure due to Landslide in Kaithakunda, Kerala, India. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5297864>
- ASTM. (2000). D4318 - 00: Standards, for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils This c of soils, ASTM D 4318-00. *ASTM International*, 04, 1–14.
- ASTM C136. (2019). ASTM C136/C136M Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM Standard Book*, 3–7.
- ASTM D3080. (2003). ASTM D 3080 - 03 Direct Shear Test of Soilds Under Consolidated Drained Conditions. *ASTM International*, 04, 7. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM International. (2007). ASTM 698-07: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)). *ASTM International*, 3, 15. <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/astm-D698.pdf>
- Das. (2013). Principles of Geotechnical Engineering. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- Ding, X., Xiao, X., Cui, J., WU, D., & Pan, Y. (2023). Damage evolution, fractal dimension and a new crushing energy formula for coal with bursting liability. *Process Safety and Environmental Protection*, 169(October 2022), 619–628. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.059>
- Dolżyk-Szypcio, K. (2019). Direct Shear Test for Coarse Granular Soil. *International Journal of Civil Engineering*, 17(12), 1871–1878. <https://doi.org/10.1007/s40999-019-00417-2>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Mekanika Tanah. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2017.
- Heidemann, M., Bressani, L. A., & Flores, J. A. (2020). Residual Shear Strength of a Residual Soil of Granulite. *Soils and Rocks*, 43(1), 31–41. <https://doi.org/10.28927/SR.431031>
- Kane, S. N., Mishra, A., & Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Nguyen, T. T. M., Rabbanifar, S., Brake, N. A., Qian, Q., Kibodeaux, K., Crochet, H. E., Oruji, S., Whitt, R., Farrow, J., Beldaire, B., Bernazzani, P., & Jao, M. (2018). Stabilization of Silty Clayey Dredged Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(9), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002391](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002391)
- Onyelowe, K. C. (2018). Kaolin soil and its stabilization potentials as nanostructured cementitious admixture for geotechnics purposes. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(7), 717–724. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2018.03.001>
- Polivanov, H., Barroso, E. V., Porto, R., Ottoni, F. P., & de Andrade, T. P. (2021). The Role of Electrochemistry and Mineralogy in the Geotechnical Behavior of Salinized Soils. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 44, 1–14. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_42738](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_42738)
- Pos, J. (2015). Tertutup Longsor, Jalan Terowongan Dibersihkan. *11 April*, 1. <https://www.pressreader.com/indonesia/jawa-pos/20150411/281732678006787>
- Providakis, S., Rogers, C. D. F., & Chapman, D. N. (2019). Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 92(July), 103049. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103049>
- Tabrizi-Zarringhabaei, S., Ejlali, R. G., Yousefzadeh Fard, M., & Sayyedfatahi, S. (2019). An image-based method to determine the particle size distribution (PSD) of fine-grained soil. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 34(3), 81–88. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.3.9>
- Tulungagung, H. P. (2022). *Polsek Kalangbret Cek Lokasi Longsor Yang Menutup Akses Jalan Desa Bolorejo menuju Desa Tiudan*. 28 Maret. <https://tribrataneews.tulungagung.jatim.polri.go.id/28/03/2022/polsek-kalangbret-cek-lokasi-longsor-yang-menutup-akses-jalan-desa-bolorejo-menuju-desa-tiudan/>
- Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438–462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>
- Zaika, Y., Rachmansyah, A., & Harimurti. (2019). Geotechnical behaviour of soft soil in East Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012043>
- Ли, Ц. Ц., & Конг, Л. В. (2019). Свойства ползучести расширяющихся грунтов в трехосных осушенных условиях и ее нелинейная конститутивная модель (Creep Properties of Expansive Soil Under Unloading Stress and its Nonlinear Constitutive Model). *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, 40(9), 3465–3473.