

**STUDI TEGANGAN DAN REKAYASA PADA LOKASI LONGSOR DI JALAN
DOLOK SANGGUL-PAKKAT DI DESA ARBAAN PROVINSI SUMATERA UTARA,
KOORDINAT 2.1 LU 98° BT**

Oleh :

Josua Parlindungan Sembiring ¹

Celvin Panggabean ²

Semangat Debataraja ³

Yusuf Aulia Lubis ⁴

Universitas Darma Agung ^{1,2,3,4}

Email:

josuasembiring026@gmail.com ¹

kelvingabriel200300@gmail.com ²

semanagatdebataraja@gmail.com ³

History:

Received : 10 Januari 2025

Revised : 15 Januari 2025

Accepted : 06 Februari 2025

Published : 28 Februari 2025

Publisher: LPPM Universitas Darma Agung

Licensed: This work is licensed under

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>



ABSTRAK

Tanah longsor pada dasarnya merupakan salah satu jenis bencana alam yang sering kita jumpai di Indonesia. Disadari atau tidak, hal tersebut dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian bagi setiap makhluk hidup di muka bumi. Tanah longsor merupakan suatu bencana alam yang merusak kestabilan tanah, karena dampaknya terhadap keadaan struktur tanah, akibat hujan atau kurangnya pepohonan yang menopang dan membuat tanah menjadi lebih kokoh. Penelitian ini merupakan penelitian mengenai stabilitas tanah longsor dengan meninjau lokasi longsor dan sampel dari Desa Arbaan Dolok Sanggul Pakkat, yang akan dilakukan pengujian di Laboratorium Kementerian PUPR Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional II Medan, Sumatera Utara. Sampel tanah diuji untuk mendapat indeks properties dan dilakukan pengujian direct sheart test untuk mengetahui kuat geser tanah. Gunakan diagram untuk mengklasifikasikan tanah organik berbutir halus (melalui saringan N0 20050%) jenis tanah dari Desa Arbaan, Kecamatan Pakkat, Kabupaten Humbang Hasundutan adalah lempung organik dengan pasir. Dari hasil pengujian tersebut, didapat hasil bahwa jenis tanah yang ada pada lokasi longsor termasuk kedalam jenis tanah berbutir.

Kata Kunci: *Tanah Longsor*

ABSTRACT

Landslides are essentially one of the types of natural disasters that we often encounter in Indonesia. Whether or not landslides are recognized or not, they can cause damage and loss to all living creatures on earth. This research is a study of landslide stability by reviewing landslide locations and samples from Arbaan Dolok Sanggul Pakkat Village, which will be tested at the Laboratory of the Faculty of Engineering, Darma Agung University, and the Ministry of PUPR BBPJN II Medan Laboratory. Soil samples were tested to obtain a property index, and direct shear test is performed to determine the shear strength of the soil. By using a flow chart to classify fine - grain organic soil (passing the N0,200 50% sieve), the soil type from Arbaan Village, Pakkat District, Humbang Hasundutan Regency is organic clay with sand. From the test results, the results showed that the type of soil at the landslide location was included in the granular type of soil.

Keyword: *Landslide*

Pendahuluan

Tanah longsor merupakan bencana alam yang sangat umum terjadi di Indonesia. Selain itu, tanah longsor juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti pengaruh kondisi struktur tanah, hujan, atau tidak adanya pepohonan sebagai penyangga lantai itu bahkan lebih kuat. Tanah longsor merupakan suatu bencana alam yang merusak kestabilan tanah, karena dampaknya terhadap keadaan struktur tanah, akibat hujan atau kurangnya pepohonan yang menopang dan menjadikan tanah semakin kokoh.

Tinjauan Pustaka

1. Tanah

Tanah merupakan bagian kerak bumi yang tersusun dari bahan-bahan organik dan mineral. Yang mana faktor pembentuk tanah akan mempengaruhi jenis tanah yang dihasilkan seperti tanah gambut, tanah lempung, tanah liat dan aluvial serta jenis tanah lainnya.

2. Kelongsoran Tanah

Longsor merupakan salah satu kejadian yang sering terjadi dalam bidang ilmu geoteknik, karena adanya peningkatan tegangan geser pada massa tanah atau penurunan kekuatan massa tanah.

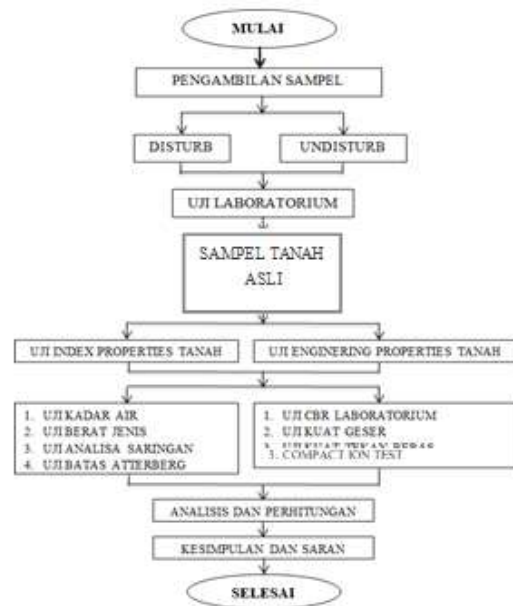
3. Jenis-Jenis Tanah Longsor

- a. Longsoran Rotasi
- b. Longsoran Translasi
- c. Runtuhan Batu
- d. Pergerakan Blok
- e. Rayapan Tanah
- f. Aliran bahan rombakan

Metode Pelaksanaan

Berdasarkan halnya yang dibutuhkan untuk menganalisis sifat-sifat fisik tanah di laboratorium, yaitu ada dua jenis metode dalam mengambil sampel, yaitu tanah tak terganggu dan tanah terganggu. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi penggunaan metode pengumpulan data

primer, meliputi pengumpulan data yang diperoleh di laboratorium dan di lapangan.



Gambar 1. Bagan Alur Penelitian Hasil Penelitian

1. Pengujian Kadar Air

Perhitungan kadar air dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \\ &= \frac{314,50 - 256,50}{256,50 - 78,6} \times 100\% \\ &= 32,55\% \end{aligned}$$

KADAR AIR PROKTOR (SNI 1965 - 2019)					
KURS NO	1	2	3	4	5
Berat Tanah Basah - Krus	751	1061	855	1039	928
Berat Tanah Kering - Krus	729	1006	792	945	818
Berat Krus	0	0	0	0	0
Berat Air	22,00	55,00	63,00	94,00	110,00
Berat Tanah Kering - Krus	729,000	1006,000	792,000	945,000	818,000
% Kadar Air (W)	3,02	5,47	7,95	9,95	13,45

Tabel. 1 Hasil Kadar Air Proktor (1965-2019)

2. Uji Berat Jenis

Berat jenis tanah diperoleh dari percobaan laboratorium dan dihitung dengan rumus:

$$GS = \frac{w_5 - w_2}{wt}$$

**STUDI TEGANGAN DAN REKAYASA PADA LOKASI LONGSORDI JALAN DOLOK SANGGUL-PAKKAT DI
DESA ARBAAN PROVINSI SUMATERA UTARA, KOORDINAT 2.1 LU 98° BT**
Josua Parlindungan Sembiring¹, Celvin Panggabean², Semangat Debataraja³, Yusuf Aulia Lubis⁴

$$GS = \frac{206,91 - 106,41}{45,54} = 2,21$$

No	Nomor benda uji dan kedalaman	(0.00) - (-1.00)	
1	Nomor piknometer	js 1	js 2
2	Berat piknometer + contoh (W2)	106,41	109,16
3	Berat piknometer (W1)	60,87	62,52
4	Berat tanah wt = (w2 - w1) gram	45,54	46,64
5	Temperatur °c	20	
6	Berat piknometer + air + tanah pada temperatur 20 °c (gram) (W3)	187,12	170,56
7	Berat piknometer + air pada 20°C (W4)	161,37	163,27
8	isi tanah W5 = Wt+W4	206,91	209,91
9	berat jenis (Gs) $\frac{W5 - W2}{Wt}$ (cm ³)	2.21	2.16

Tabel 2. Uji berat jenis

Berdasarkan hasil uji berat jenis dapat diambil kesimpulan jenis tanah ini termasuk tanah Lempung.

3. Uji Analisa Saringan

Persentase berat butir tertinggal

$$= \frac{\text{Berat butir tertinggal}}{\text{Berat total tanah}} \times 100\%$$

$$= \frac{17,8}{699,40} \times 100\%$$

$$= 2.55\%$$

Persentase kumulatif melalui (s)

$$= 100\% - \text{Persentase kumulatif}$$

$$= 100\% - 97,45\%$$

$$= 2.55\%$$

No	Ukuran Saringan		Berat Tertahan	Kumulatif Berat Tertahan	Persentase berat tertan	Kumulatif Persentase (%)	
	(No)	(mm)	(g)	(g)	(%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
1	1 1/2"	37.50	0	0	0.00	0.00	100.0
2	1"	25.00	0	0	0.00	0.00	100.0
3	3/4"	19.00	0	0	0.00	0.00	100.0
4	1/2"	12.50	0	0	0.00	0.00	100.0
5	3/8"	9.50	0	0	0.00	0.00	100.0
6	No.4	4.75	0	0	0.00	0.00	100.0
7	No.8	2.36	66,6	66,6	9.52	9.52	90.48
8	No.16	1.18	95.4	162	13.64	23.16	76.84
9	No.30	0.60	142.7	304.7	20.40	43.57	56.43
10	No.50	0.30	158.5	463.2	22.66	66.23	33.77
11	No.100	0.150	141.2	604.40	20.19	86.42	13.58
12	No.200	0.075	77.2	681.60	11.04	97.45	2.55
13	Pan		17.8	699.40	2.55	100.00	0.00
Total					699.40		

Tabel 3. Analisa saringan

4. Pengujian Atterberg Limit

$$LL = 58.35\%$$

$$PL = 49.8\%$$

$$PI = LL - PL$$

$$= 58.33\% - 49.8\%$$

$$= 8.55\%$$

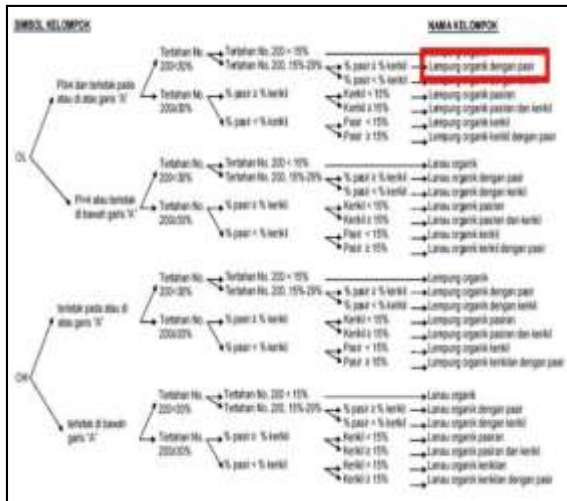
Dari hasil pengujian dari indeks properties dapat disimpulkan jenis tanah. Dengan menggunakan Diagram klasifikasi tanah organik berbutir halus (melalui saringan nomor 200 > 50%) jenis tanah dari Desa Arban Kecamatan Pakkat, Kabupaten Humbang Hasundutan adalah lempung organik dengan pasir.

**STUDI TEGANGAN DAN REKAYASA PADA LOKASI LONGSORDI JALAN DOLOK SANGGUL-PAKKAT DI
DESA ARBAAN PROVINSI SUMATERA UTARA, KOORDINAT 2.1 LU 98° BT**
Josua Parlindungan Sembiring¹, Celvin Panggabean², Semangat Debataraja³, Yusuf Aulia Lubis⁴

Analysis	LL				PL		PI
	1	2	3	4	1	2	
No. Uji							
No. Cotainer	Js1	Js2	Js3	Js4	JsA	JsB	
Berat Cotainer, W1 (gr)	10.9	10.7	10.0	10.8	10.9	10.7	
Berat Tanah Basah + Cotainer, W2 (gr)	75.6	69.28	57.2	59.4	44.5	39.0	8.55
Berat Tanah Kering + Cotainer W3 (gr)	47.8	47.4	40.7	44.5	32.2	30.67	
Berat Tanah Basah W4 = W2-W1	64.7	58.6	47.2	48.7	33.7	28.2	
Berat Tanah Kering W5 = W3-W1	36.9	36.7	30.7	33.7	21.3	20.0	
Berat Air W6 = W4-W5 (gr)	27.8	21.9	16.5	15.0	12.4	8.3	
Kadar Air W7 = (W6/W5)*100%	75.3	59.8	53.8	44.5	58.1	41.5	
Banyak Ketukan, N	9.0	19.0	27.0	40.0			49.8
Berat Cair, W8 = $\sum W7/n$	58.33						

Tabel 4. Atterberg Limit

Dari hasil pengujian dari indeks properties dapat disimpulkan jenis tanah. Dengan menggunakan Bagan klasifikasi tanah organik berbutir halus (saringan NO,200 > 50%) jenis tanah dari Desa Arbaan Kecamatan Pakkat, Kabupaten Humbang Hasundutan adalah lempung organik dengan pasir.



Gambar 2. Bagan alur untuk pengklasifikasi tanah

5. Pengujian Engineering properties tanah

5.1 Uji Berat Isi

D = 6cm
H = 2cm

$$\begin{aligned} \text{Berat tabung } W1 &= 67 \text{ gram} \\ \text{Berat tabung + tanah } W2 &= 172 \text{ gram} \\ \text{Berat tanah } (W2 - W1) &= 172 - 67 \\ &= 85 \text{ gram} \\ \text{Berat tabung + tanah kering} &= 152 \text{ gram} \\ \text{Volume tanah } (vt) &= \frac{1}{4} \times \pi D^2 \times H \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 6^2 \times 2 \\ \text{Kadar air} &= 56.6 \text{ cm}^3 \\ \text{Berat isi tanah basah } (\gamma_{sat}) &= \frac{W2}{vt} \\ &= \frac{172 - 67}{56.6} = 1.856 \text{ gram/cm}^3 \\ &= \frac{W5}{vt} = \frac{152 - 67}{56.6} \\ &= 1.503 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis tanah } (Gs) &= 2.56 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{Perhitungan angka pori } (e) &= \frac{v_v}{v_t} = \frac{w_s}{(v_t - v_s)} \\ &= \frac{152 - 67}{(256 \times 1.00) - \frac{w_s}{Gs \times r_w}} \\ &= 0.70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas } (n) &= \frac{v_v}{v_t} = \frac{33.20}{56.6} \\ &= 0.41 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kejenuhan } (sr) &= \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \\ &= \frac{\left(\frac{W_w}{\gamma_w}\right)}{(V_{sat} - V_s)} \times 100\% \\ &= \frac{r_{sat} - r_{dry}}{\left(V_{sat} - \frac{1.503}{2.56 \times 1.00}\right)} \times 100\% \\ &= 27.85\% \end{aligned}$$

5.2 Uji Kuat Geser

P1 = 3kg
P2 = 6kg
P3 = 9kg
Tinggi Sampel = 1
Diameter = 6cm
Luas = $\frac{1}{4} t d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 6^2$
= cm^2

$$= 28.26$$

$$\text{Tegangan normal} = \sigma_1 = \frac{3}{28.26}$$

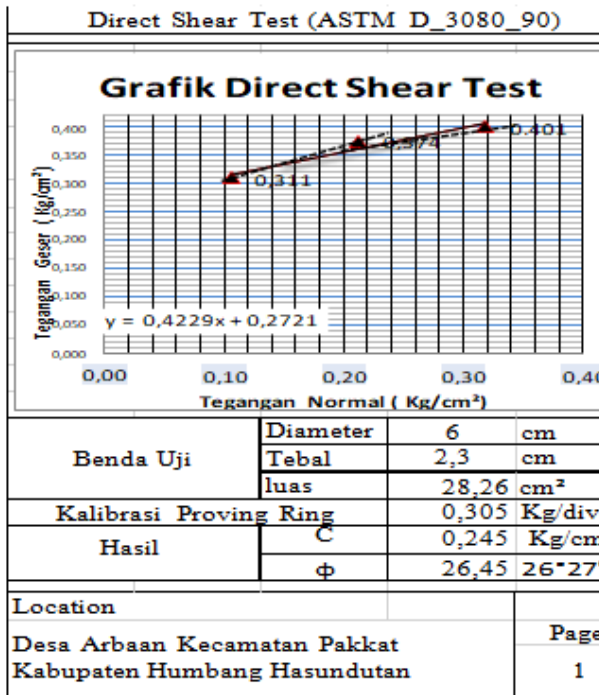
$$= 0,106 \text{ kg/cm}$$

$$= \sigma_1 = \frac{6}{28.26}$$

$$= 0,212 \text{ kg/cm}$$

$$= \sigma_1 = \frac{9}{28.26}$$

$$= 0,318 \text{ kg/cm}$$



Gambar 4.1 Uji Kuat Geser

A. Pengujian kuat geser tanah pada saat beban 3kg bacaan maksimum:

Maka gaya geser = dial reading × kalibrasi

$$= 39,60 \times 0,305$$

$$S = 12,078 \text{ kg}$$

Tegangan geser (t_1) = gaya geser / luas

$$= 0,427 \text{ kg/cm}$$

B. Dengan cara dan metode yang sama, beban 6kg:

Maka gaya geser = dial reding × kalibrasi

$$= 47,91 \times 0,305$$

$$= 14,613 \text{ kg}$$

Tegangan geser (t_1) = gaya geser / luas

$$= 14,613 / 28,26$$

$$= 0,517 \text{ kg/cm}$$

C) Dengan cara dan metode yang sama, pada beban 9kg

Maka gaya geser = dial reading × kalibrasi

$$= 50,80 \times 0,305$$

$$= 15,494 \text{ kg/cm}$$

Dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$0,427 = C + 0,16 \tan \phi$$

$$\phi \dots \dots \dots (\text{persamaan 1})$$

$$0,517 = C + 0,212 \tan \phi \dots \dots \dots (\text{persamaan 2})$$

$$0,548 = C + 0,318 \tan \phi$$

$$\phi \dots \dots \dots (\text{persamaan 3})$$

Dari persamaan 1 dan 2:

$$0,427 = C + 0,16 \tan \phi$$

$$\phi \dots \dots \dots (\text{persamaan 1})$$

$$0,517 = C + 0,212 \tan \phi \dots \dots \dots (\text{persamaan 1})$$

$$-0,09 = 0,106 \tan \phi$$

$$\tan \phi = \frac{-0,09}{-0,106} = 0,849$$

$$\phi_1 = 26^\circ 27' 0''$$

Substitusi persamaan 1

$$0,427 = C + 0,106 \tan \phi$$

$$0,427 = C + 0,106 \times -0,849$$

$$C_1 = 0,210 \text{ kg/cm}^3$$

Persamaan 2 dan 3

$$0,517 = C + 0,212 \tan \phi$$

$$0,548 = C + 0,318 \tan \phi$$

$$-0,031 = -0,16 \tan \phi$$

$$\tan \phi_2 = \frac{-0,031}{-0,106} = 0,292$$

$$= 26^\circ 27' 0''$$

Substitusi persamaan 2

$$0,517 = C + 0,212 \tan \phi$$

$$0,517 = C + 0,212 \times 0,292$$

**STUDI TEGANGAN DAN REKAYASA PADA LOKASI LONGSORDI JALAN DOLOK SANGGUL-PAKKAT DI
DESA ARBAAN PROVINSI SUMATERA UTARA, KOORDINAT 2.1 LU 98° BT**
Josua Parlindungan Sembiring¹, Celvin Panggabean², Semangat Debataraja³, Yusuf Aulia Lubis⁴

$$C_2 = 0,119 \text{ kg/cm}^2$$

Persamaan 1 dan 3

$$0,427 = C + 0,106 \tan \phi$$

$$0,548 = C + 0,318 \tan \phi$$

$$-0,121 = -0,212 \tan \phi$$

$$\tan \phi_3 = \frac{-0,121}{-0,212} = 0,570$$

$$= 26^\circ 27' 0''$$

Substitusi persamaan 3

$$0548 = C + 0,318 \tan \phi$$

$$0,548 = C + 0,318 \times 0,570$$

$$C_3 = 0,330 \text{ kg/cm}^2$$

Segera analitis:

$$C \text{ analitis} = \frac{C_1 C_2 C_3}{3}$$

$$= \frac{0,210 + 0,119 + 0,330}{3}$$

$$= 0,219 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi \text{ analitis} = \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{3}$$

$$= \frac{0,849 \pm, 292 + 0,570}{3}$$

$$= 0,570$$

$$= 26^\circ 27' 0''$$

Dari hasil perhitungan diperoleh sudut geser tanah sebagai $\phi = 26^\circ 27' 0''$

Sedangkan, dari hasil perhitungan di dapat

kebersi tanah sebagai $C = 0,210 \text{ kg/cm}^2$

Diusir oleh		JOSUA PARLINDUNGAN SEMBIRING						Jenis contoh		Tanah asli			
Diusir tanggal		19-09-2023						Metode uji		SNI 2813 : 2008			
Jenis Pekerjaan		Tugas akhir						Diperiksa oleh					
No contoh / kedalaman		Elevasi (0.00) - (- 1.00)											
Gaya Normal		P1 = 3,00		Kg		P2 = 6,00		Kg		P3 = 9,00		Kg	
Tegangan Normal		s1 = 0,106		Kg/cm ²		s2 = 0,212		Kg/cm ²		s3 = 0,318		Kg/cm ²	
Tegangan Geser		t1 = 0,311		Kg/cm ²		t2 = 0,374		Kg/cm ²		t3 = 0,401		Kg/cm ²	
Waktu	Pergelesan	Bacaan	Gaya	Tegangan	Bacaan	Gaya	Tegangan	Bacaan	Gaya	Tegangan	Bacaan	Gaya	Tegangan
detik	mm	divisi	Kg	Kpa	divisi	Kg	Kpa	divisi	Kg	Kpa	divisi	Kg	Kpa
0	20	10,80	3,29	11,66	14,28	4,36	15,41	16,17	4,93	17,45			
15	40	13,24	4,04	14,29	17,34	5,29	18,71	18,40	5,61	19,86			
30	60	16,53	5,04	17,84	21,68	6,61	23,40	20,35	6,21	21,98			
45	80	19,82	6,05	21,39	24,29	7,41	26,22	22,40	6,83	24,18			
60	100	21,20	6,47	22,88	27,31	8,39	29,69	23,58	7,19	25,43			
75	120	28,41	8,67	30,66	30,19	9,21	32,58	25,36	7,73	27,37			
90	140	28,79	8,78	31,07	32,83	10,01	35,43	27,78	8,47	29,98			
105	160				34,69	10,58	37,44	29,35	8,95	31,68			
120	180				34,88	10,64	37,44	31,40	9,58	33,89			
135	200							33,35	10,17	35,99			
150	220							37,11	11,32	40,03			
165	240												
180	260												
195	280												

Project
Tugas Akhir : Studi Tegangan dan Rejanan Pada Zona Lajinan Tanah Pada Lokasi Longsord di Jalan Dolok Sanggul-
Pakkat di Desa Parba Kecamatan Pakkat Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara, Koordinat 2.1 LU
98 BT

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di LABORATORIUM PUPR II Medan Sumatera Utara dapat disimpulkan bahwa :

1. Jenis tanah menurut prosedur SNI 6371:2015 (ASTM D 2487-06, MOD) untuk mengklasifikasikan tanah untuk keperluan teknis menggunakan Sistem Klasifikasi Tanah Terpadu Dengan menggunakan diagram alir untuk mengklasifikasikan tanah organik berbutir halus (melalui saringan N0,200 >50%), maka jenis tanah di Desa Arbaan Kecamatan Pakkat Kabupaten Humbang Hasundutan adalah tanah liat organik dengan pasir
2. Metode AASHTO menysar kelompok A - 2 - 6 persyaratan teknis kerikil dan pasir lanau atau tanah liat
3. Metode USCS mengarah pada sebutan kelompok GC (Gravel-Clay), kerikil tanah liat, campuran kerikil-pasir-tanah liat

Melalui pengujian indeks sifat tanah diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Hasil uji Atterberg pada tanah awal diperoleh nilai batas cair sebesar 58,33 dan indeks plastisitas sebesar 49,78%, sehingga menurut klasifikasi AASHTO, contoh tanah tersebut termasuk golongan A - 2 - 6, secara spesifik dapat berupa (kerikil dan lanau atau pasir lempung) dan berdasarkan
2. Klasifikasi contoh tanah USCS termasuk GC (Gravel-Clay) (kerikil lempung)
3. Hasil uji kadar air tanah 32,55 %

4. Hasil uji berat jenis tanah awal adalah 2,21
5. Dengan pengujian kuat geser tanah dari uji geser langsung yang dilakukan pada tanah asli pada ketinggian (0,00) – (1,00), Ø 26°27'0" dan kohesi (C) sebesar 0,219 kg/cm² dan kuat gesernya Kapasitas tanah medan asli untuk beban 3 kg adalah 0,311 kg/cm², untuk beban 6 kg adalah 0,374 kg/cm² dan untuk beban 9 kg adalah 0,401 kg/cm²
6. Berdasarkan hasil perhitungan CBR (California Bearing Ratio) dari 10 tumbukan hasilnya 3,06%, dari 25 tumbukan hasilnya 3,74%, dan pada 56 tumbukan diperoleh hasil sebesar 4,59%

Saran

1. Dalam pengambilan sampel, penulis ingin pengambilan sampel dilakukan secara horizontal sehingga pendekatan terhadap tanah hampir sama dengan tanah longsor.
2. Diharapkan kepada peneliti selanjutnya supaya menggunakan alat triaksial untuk hasil yang lebih baik dalam pengujian kuat geser tanah
3. Penulis berharap pada penelitian selanjutnya campuran ini dapat diterapkan dalam praktek. Karena perlunya ketelitian saat pengujian sampel di laboratorium

Indrasurya B.Mohchtar M.Sc.,
Ph.D, Institut Teknologi 10
Nopember, Surabaya..

Hadmoko DS, Lavigne F, Sartohadi J, Hadi P, Winaryo (2010); *Landslide Hazard and risk assessment and their application in risk management and landuse planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia*. *Natural Hazards* 54(3): 623 – 642

Muta'ali, Lutfi. 2014. *Perencanaan Pengembangan Wilayah Berbasis Pengurangan Risiko Bencana*. Universitas Gadjahmada. Yogyakarta. Badan Penerbit Fakultas Geografi.

Susanti, P. D., & Miardini, A. 2019. *Identifikasi Karakteristik dan Faktor Pengaruh pada Berbagai Tipe Longsor*. *AgriTECH*, 39(2), 97

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, E. M, Sadharto W. D, dan Sudibyakto, 2010. *Analisis Risiko Tanah Longsor Desa Tieng Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo*. Yogyakarta. BBPDAS Serayu Opak Progo. p. 133–149.
- Braja M, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid I. *Diterjemahkan dan ditulis kembali oleh Ir. Noor Endah MOchtar M.Sc., Ph.D dan Ir.*