

Karakteristik Parameter Kuat Geser Tanah pada Lereng Akibat Perubahan Kadar Air Tanah

Ghina Amalia ^{[1]*}, Utari Sriwijaya Minaka ^[1], Aprilianda ^[1]

^[1] Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, 11111, Indonesia

Email: ghina@uigm.ac.id*, utari.minaka@uigm.ac.id, aphasmi19@gmail.com

*) Correspondent Author

Received: 25 September 2023; Revised: 23 November 2023; Accepted: 03 January 2024

How to cited this article:

Amalia, G., Minaka, U.S., Aprilianda, A., (2025). Karakteristik Parameter Kuat Geser Tanah pada Lereng Akibat Perubahan Kadar Air Tanah. Jurnal Teknik Sipil, 21(1), 174–188. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.7509>

ABSTRAK

Longsor yang terjadi pada lereng diindikasikan disebabkan oleh peningkatan massa tanah akibat bertambahnya kadar air yang mengisi pori-pori tanah yang akan memengaruhi sifat-sifat tanah terutama kuat geser sebagai salah satu sifat mekanis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan kadar air tanah terhadap kuat geser tanah pada lereng. Penelitian menggunakan sampel tanah terganggu yang diambil pada pinggiran lereng di Ruas Jalan Manna-Pagaralam dan telah dikeringkan. Pengujian pemadatan dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (OWC) yang akan merepresentasikan nilai tengah dari variasi kadar air tanah pada sampel uji. Variasi sampel uji di antaranya OWC-20%OWC, OWC-10%OWC, OWC, OWC+10%OWC, dan OWC+20%OWC. Kuat geser tanah didapatkan dengan pengujian *Direct Shear*. Menurut standar USCS tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung berpasir. Hasil pengujian *Direct shear* didapatkan nilai kohesi (c) tertinggi pada variasi OWC atau pada variasi kadar air optimum yaitu 2,796 kPa. Hal ini dikarenakan nilai kohesi terjadi pada bagian butiran halus yaitu lempung yang dipengaruhi oleh kandungan air antar butiran. Sedangkan nilai sudut geser dalam tertinggi didapatkan pada variasi OWC-10%OWC sebesar $32,15^\circ$ hal ini dikarenakan nilai sudut geser dalam terjadi pada bagian butiran kasar yaitu butiran pasir dimana gesekan akan berkurang seiring dengan bertambahnya kandungan air yang mengisi pori-pori tanah.

Kata kunci: *Direct Shear, Kohesi, Longsor, Sudut Geser Dalam*

ABSTRACT. *Characteristics of Soil Shear Strength Parameter on Slopes due to Changes in Soil Water Content. The slope failure that occurred on the slope is indicated to be caused by an increase in soil mass due to the increase in water content filling the soil pores, which affects the soil properties, especially shear strength as one of the mechanical properties of soil. This study aims to analyze the effect of changes in soil water content on the shear strength of the slope. The study used disturbed soil samples taken at the edge of the slope on the Manna-Pagaralam Road section and were dried. Compaction testing was conducted to obtain the optimum water content (OWC) value, which represents the middle value of the variation in soil water content in the test samples. The variation of the test samples includes OWC-20%OWC, OWC-10%OWC, OWC, OWC+10%OWC, and OWC+20%OWC. The shear strength of the soil was obtained through Direct Shear testing. According to the USCS standard, the soil is classified as sandy clay soil. The Direct Shear testing results showed the highest cohesion (c) value in the OWC variation or at the Optimum Water Content variation, which is 2.796 kPa. This is because the cohesion value occurs in the fine particles, namely clay, which is influenced by the intergranular water content. Meanwhile, the highest internal friction angle value was obtained in the OWC-10%OWC variation, which is 32.15° . This is because the internal friction angle value occurs in the coarse particles, namely sand particles, where friction decreases as the water content filling the soil pores increases.*

Keywords: *Direct Shear, Cohesion, Slope Failure, Internal Friction Angle*

1. PENDAHULUAN

Ruas jalan Manna-Pagaralam, tepatnya pada kecamatan Tanjung Sakti, Kabupaten Lahat Sumatera Selatan merupakan salah satu kawasan yang melalui bukit Barisan dengan persentase kemiringan lereng antara 26,79% hingga 100%. Kondisi topografi yang berbukit dan banyak lereng terjal tersebut menyebabkan Ruas jalan Manna-Pagaralam rawan longsor. Tingginya frekuensi kejadian longsor di suatu lereng berbanding lurus dengan besarnya kemiringan lahan yang berpengaruh terhadap kecepatan aliran permukaan. Selain itu tingginya intensitas curah hujan juga menjadi faktor utama yang menyebabkan longsor (Andrian, 2014). Intensitas hujan yang tinggi juga menyebabkan peningkatan rembesan air pada lereng, sehingga sangat memengaruhi stabilitas lereng (Wilham G. Loushenapessy, 2022). Hal yang sama juga dinyatakan oleh (Daniel Tjandra, 2015) bahwa air yang terkandung dalam tanah juga memengaruhi kestabilan lereng. Kandungan air akan berpengaruh pada kuat geser tanah dimana kuat geser tanah merupakan suatu nilai yang menyatakan seberapa kuat tanah mampu melawan gaya yang mampu menyebabkan terjadinya keruntuhan pada tanah atau pada lereng disebut ke longsor yang dipengaruhi besarnya gaya lekat antar butiran tanah (kohesi) dan gesekan antar butiran tanah.

Kohesi diakibatkan oleh adanya pelekatan antar butiran tanah sedangkan sudut geser dalam diakibatkan pergesekan antar butiran tanah. Perubahan kandungan air akan berpengaruh pada perubahan nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Hal ini dikarenakan kandungan air akan menyebabkan perubahan jarak antar butiran tanah yang nantinya akan memengaruhi tekanan air pori. Apabila jarak antar butiran tanah dan tekanan air pori semakin meningkat akan mengurangi proses pelekatan dan gesekan antar butiran tanah tersebut (Hardiyatmo, 2010).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hossain Md. Sayem, 2016) menyatakan bahwa faktor yang mampu melemahkan kuat geser tanah adalah kondisi iklim yang ekstrem seperti angka curah hujan yang tinggi serta kekeringan yang terus menerus yang membuat tanah mengalami kembang susut yang ekstrem. Volume tanah yang terus mengalami kembang susut dalam waktu lama mampu merusak struktur tanah dan memengaruhi kemampuannya dalam menahan beban (Xu tang Xu, 2021). Hal ini yang menjadi salah satu alasan mengapa tanah longsor paling sering terjadi pada musim penghujan (Achmad Hafidz, 2019).

Berangkat dari berbagai permasalahan beserta penelitian terdahulu yang diuraikan di atas, maka akan dikaji bagaimana perubahan kadar air tanah memengaruhi karakteristik parameter kuat geser tanah.

2. METODOLOGI

2.1. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah terganggu (*disturbed*) yang diambil dari lereng yang berada pada kecamatan Tanjung Sakti, lebih tepatnya pada ruas jalan Manna-Pagar Alam KM 331+890. Proses pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Proses Pengambilan Sampel Tanah

2.2. Benda Uji

Benda uji menggunakan sampel tanah terganggu yang kemudian di *remoulded*. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan dan pengurangan nilai kadar air pada tanah terhadap nilai kuat gesernya sehingga nilai kadar air menjadi variabel bebas pada pengujian ini.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Variasi Benda Uji	Jumlah Benda Uji
OWC – 20%	3
OWC – 10%	3
OWC	3
OWC + 10%	3
OWC + 20%	3

Dengan $OWC = \text{Kadar air optimum (\%)}$

Nilai kadar air dibagi ke dalam tiga wilayah yaitu batas tengah yang direpresentasikan oleh nilai kadar air optimum (OWC), batas atas dimana terjadi pembasahan (*wetting*) dengan penambahan OWC sebanyak 10% dan 20% dari OWC, dan batas bawah dimana terjadi

pengeringan (*drying*) dengan OWC dikurangi sebanyak 10% dan 20% dari OWC. Penentuan persentase 10% dan 20% tersebut berdasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Variasi benda uji dan jumlah yang digunakan untuk pengujian *Direct Shear* dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3. Pengujian Sifat Properti Tanah

Pengujian properti tanah yang dilakukan untuk mengetahui sifat serta jenis tanah. Pengujian sifat properti tanah yang dilakukan di antaranya pengujian berat jenis tanah, pengujian analisis butiran tanah, dan batas-batas Atterberg yang meliputi batas cair dan batas plastis.

2.3.1. Berat Jenis Tanah

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) mengacu pada ASTM D-854-02

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (1)$$

dengan W_s = berat tanah (gram), V_s = volume tanah (cm^3), γ_s = berat volume butiran tanah (gram/cm^3), γ_w = berat volume air (gram/cm^3).

G_s tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berbeda-beda. Sehingga nilai berat jenis tanah mampu digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Berat Jenis

Jenis Tanah	Berat jenis (G_s)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau Organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

2.3.2. Analisis Butiran Tanah

Pengujian analisa butiran tanah dilakukan untuk menganalisis gradasi butiran tanah. Pengujian ini dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengujian analisa saringan, dan dilanjutkan dengan pengujian analisis Hidrometer. Pengujian analisis saringan mengacu pada SNI 3432:2008 dan ASTM D422-04. Analisis butiran tanah akan menunjukkan apakah tanah tersebut bergradasi

baik atau buruk yang dilihat dari nilai C_u dan C_c . Nilai C_u dan C_c dihitung menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (3)$$

dengan C_u = Koefisien Keseragaman, C_c = Koefisien Gradasi, D_{60} = Ukuran diameter tanah yang lolos 60% (mm), D_{30} = Ukuran diameter tanah yang lolos 30% (mm), D_{10} = Ukuran diameter tanah yang lolos 10% (mm).

2.3.3. Batas-Batas Atterberg

Pengujian batas-batas Atterberg menghasilkan nilai-nilai kadar air ketika tanah berada di batas cair (*liquid limit* / LL) dan batas plastis (*plastic limit* / PL). Pengujian batas-batas Atterberg menggunakan standar SNI 1966-1967:2008.

Selain itu pengujian batas-batas Atterberg juga menghasilkan angka Indeks Plastis (IP). Indeks plastis adalah interval atau panjang daerah kadar air dimana tanah dalam keadaan plastis. Nilai IP dapat menunjukkan sifat tanah apakah tanah tersebut termasuk tanah plastis atau tidak. Nilai IP dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4.

$$IP = LL - PL \quad (4)$$

dengan IP= Indeks Plastis (%), LL = Batas Cair (%), PL = Batas Plastis (%)

Tabel 3 menunjukkan klasifikasi tanah menurut Atterberg.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan IP

No	Nilai IP	Jenis Tanah
1	0	<i>Non-Plasticity Soil</i>
2	< 7	<i>Low Plasticity Soil</i>
3	7 – 17	<i>Medium Plasticity Soil</i>
4	>17	<i>High Plasticity Soil</i>

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

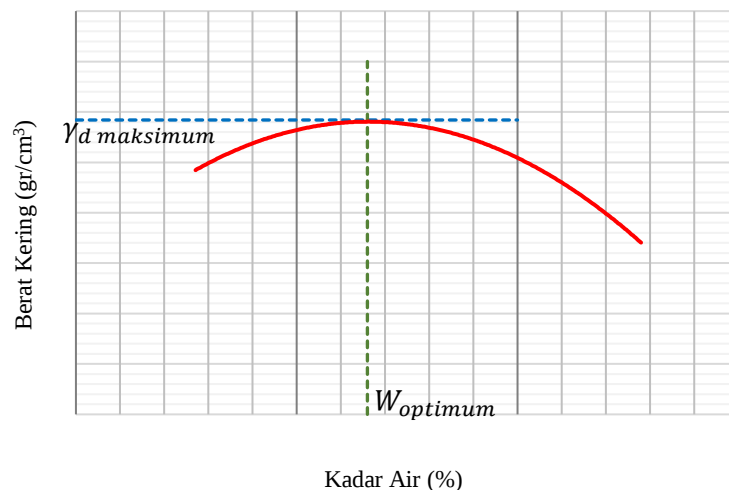
2.4. Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan tanah yang dilakukan adalah pemadatan laboratorium dengan metode *Standar Proctor* yang mengacu pada ASTM-689. Pengujian pemadatan akan menghasilkan nilai kerapatan kering tanah dan kadar air optimum tanah (OWC) dari sampel tanah yang digunakan. Nilai kerapatan kering dapat dihitung dengan persamaan 4 di bawah ini.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1 + w)} \quad (5)$$

dengan γ_d =Berat volume kering (kg/cm^3), γ_b = Berat volume basah (kg/cm^3), w = Kadar air (%)

Kadar air optimum adalah kondisi dimana tanah mencapai kepadatan maksimum. Kadar air optimum nantinya akan merepresentasikan kondisi kadar air normal pada tanah dan menjadi titik tengah pada variasi sampel benda uji. Nilai OWC didapatkan dengan melakukan *plotting* data hasil pengujian pemadatan sehingga akan dihasilkan kurva hubungan antara berat kering dan kadar air. Kurva yang dihasilkan harus membentuk parabola dan nilai kadar air optimum tanah adalah titik puncak dari kurva tersebut. Secara umum bentuk kurva pemadatan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Umum Kurva Pemadatan Tanah

2.5. Pengujian *Direct Shear*

Pengujian kuat geser tanah dilakukan dengan metode pengujian *Direct Shear* menggunakan standar ASTM D3080-04. Pada pengujian ini tegangan normal σ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\text{Gaya Normal}}{\text{Luas Penampang Sampel Tanah}} \quad (6)$$

Sedangkan tegangan geser secara umum didapatkan dari:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (7)$$

Dengan τ = Kekuatan geser (kg/m^2), σ = Tegangan/ tekanan normal (kg/m^2), c = Kohesi (kg/m^2), φ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Nilai berat jenis yang didapatkan dari hasil pengujian lab adalah sebesar 2,69 . Berdasarkan klasifikasi pada Tabel 2, sampel tanah terkategori sebagai tanah lempung anorganik.

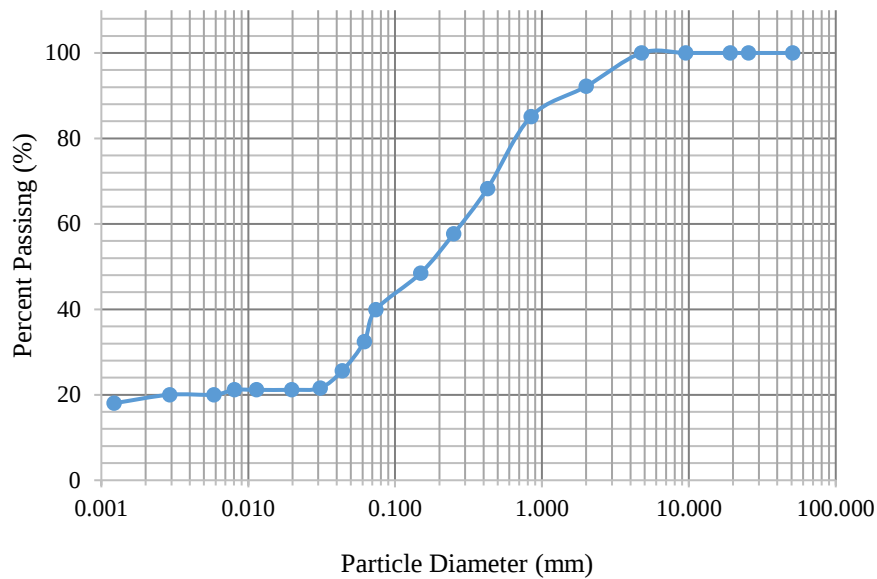
3.2. Hasil Pengujian Analisis Butiran

Pengujian analisis butiran menghasilkan suatu kurva hubungan antara persentase lolos dan ukuran diameter tanah. Kurva analisis butiran dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan kurva analisis butiran dan didapatkan nilai C_u dan C_c dengan menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,26 \text{ mm}}{0,055 \text{ mm}} = 4,73$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} = \frac{(0,055 \text{ mm})^2}{(0,26 \text{ mm})(0 \text{ mm})} = 0$$

Tanah dikategorikan sebagai tanah bergradasi baik jika tanah tersebut memiliki nilai $C_u > 6$ dan C_c antara 1 hingga 3 (Hardiyatmo, 2010). Sehingga Berdasarkan nilai C_u dan C_c di atas, tanah dikategorikan sebagai tanah bergradasi buruk.

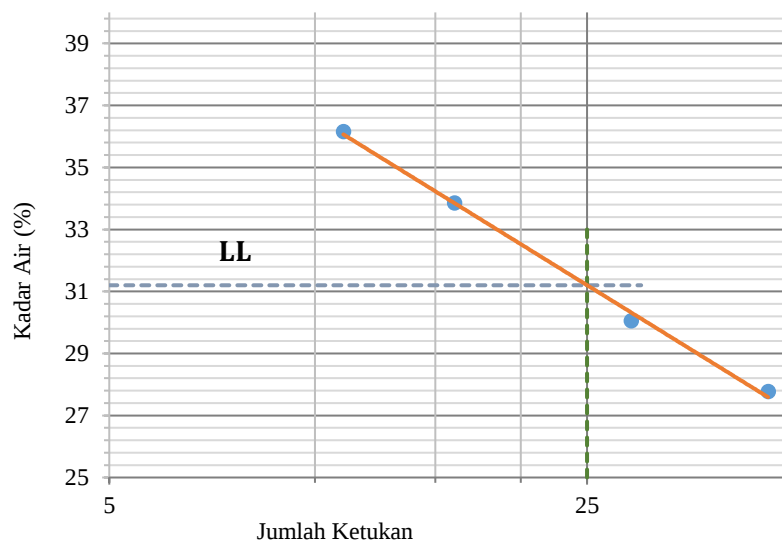


Gambar 3. Kurva Analisis Butiran Tanah

3.3. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg

3.3.1. Batas Cair (LL)

Nilai batas cair didapatkan dari grafik hubungan antara jumlah ketukan dan kadar air yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 didapatkan bahwa nilai LL adalah sebesar 31,2%.



Gambar 4. Grafik Batas Cair

3.3.2. Batas Plastis (PL)

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai batas plastis sebesar 21,52%

3.3.3. Indeks Plastis (IP)

Menggunakan persamaan 4 didapatkan hasil IP sebesar 5,68%. Nilai IP kemudian dihubungkan dengan Tabel 3, sehingga diketahui bahwa sampel tanah merupakan tanah dengan plastisitas rendah,

3.3.4. Rekapitulasi Nilai Indeks Properti Tanah

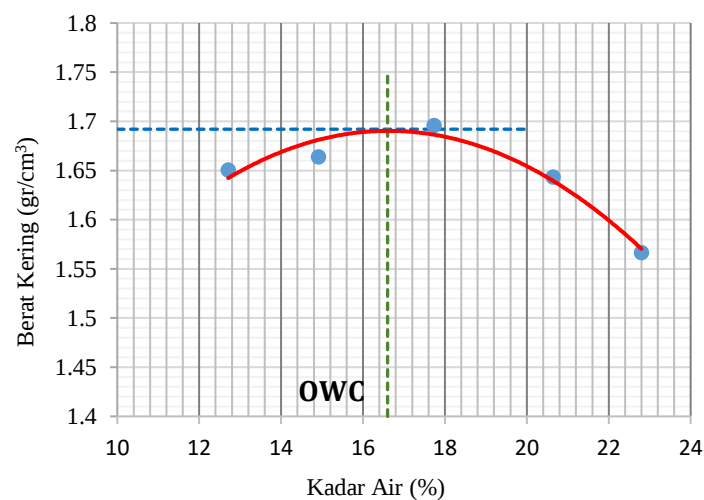
Nilai indeks properti tanah didapatkan dari hasil pengujian-pengujian sifat properti tanah yang telah dilakukan. Rekapitulasi nilai indeks properti tanah dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Indeks Properti Tanah

Indeks Properti	Nilai
Berat Jenis Tanah	2,69
Koefisien Keseragaman Butiran Tanah (C_u)	4,73
Koefisien Gradasi Butiran Tanah (C_c)	0
Batas Cair Tanah (LL)	31,2%
Batas Plastis Tanah (PL)	21,52%
Indeks Plastisitas Tanah	5,68%

3.4. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan tanah menghasilkan sebuah kurva hubungan antara kadar air dan berat kering tanah yang disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Pemadatan Tanah

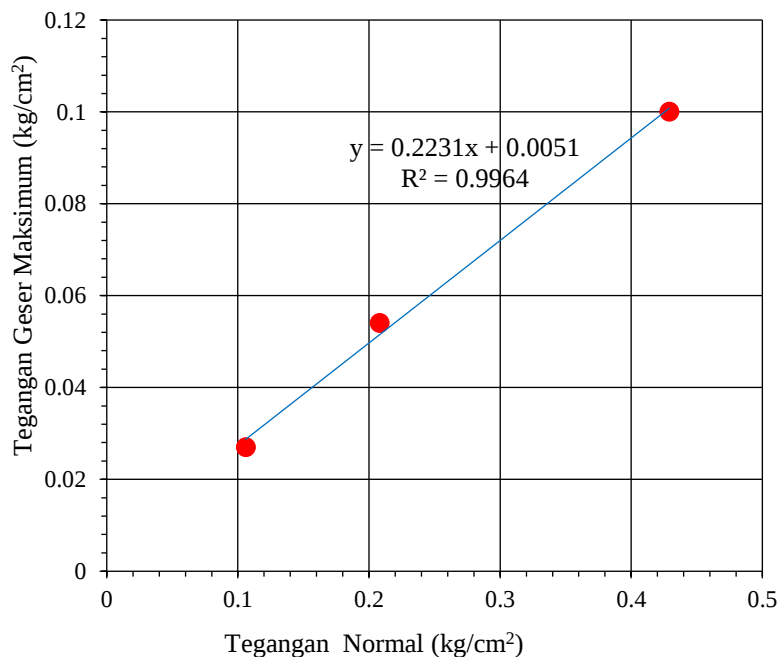
Berdasarkan kurva pemadatan tanah, didapatkan nilai OWC (Kadar Air Optimum) sebesar 16,6%.

3.5. Hasil Pengujian *Direct Shear*

Parameter nilai kuat geser seperti kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dari garis hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum yang dihasilkan dari pengujian *Direct Shear*. Nilai kohesi adalah titik potong antara garis regresi linier dan sumbu y sedangkan sudut gesek dalam adalah kemiringan dari garis regresi linier tersebut.

3.5.1. Variasi Benda Uji OWC-20%OWC

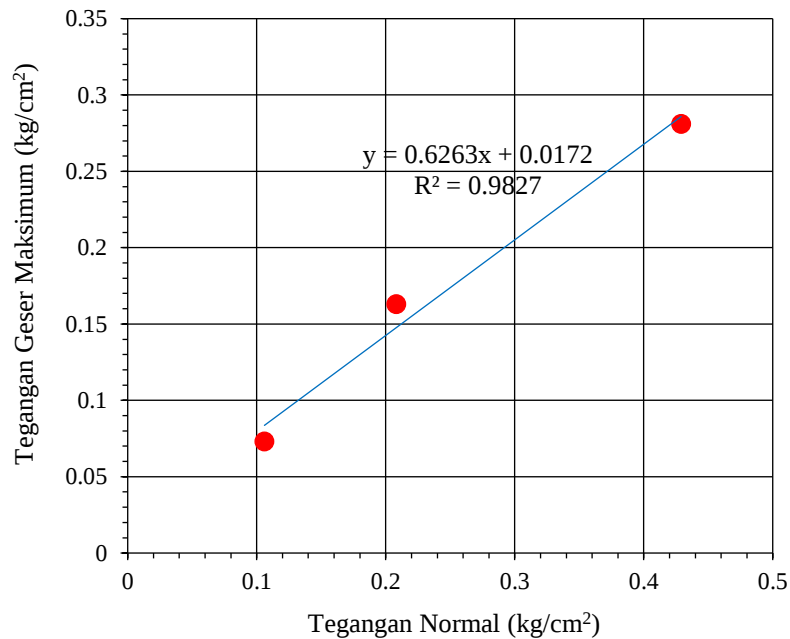
Pengujian *Direct Shear* untuk variasi benda uji OWC-20%OWC menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,0056 kg/cm² atau 0,54 kPa sedangkan nilai sudut geser dalamnya adalah 12,403°. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik *Direct Shear* Benda Uji OWC-20%OWC

3.5.2. Variasi Benda Uji OWC-10%OWC

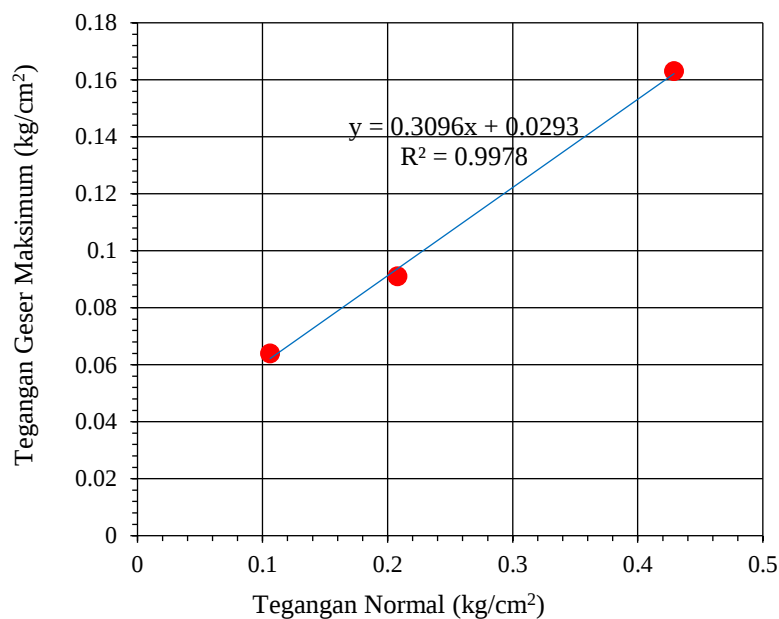
Pengujian *Direct Shear* untuk variasi benda uji OWC-10%OWC menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,0168 kg/cm² atau 1,645 kPa sedangkan nilai sudut geser dalamnya adalah 32,148°. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik *Direct Shear* Benda Uji OWC-10%OWC

3.5.3. Variasi Benda Uji OWC

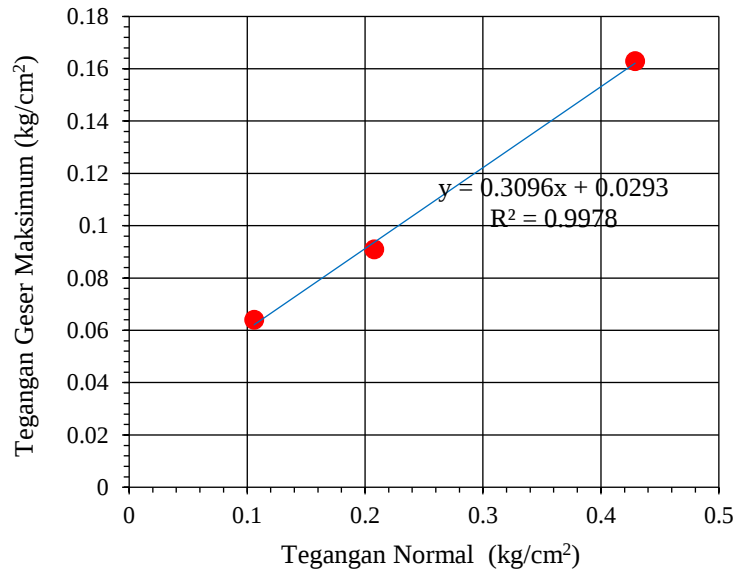
Pengujian *Direct Shear* untuk variasi benda uji OWC menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,0285 kg/cm² atau 2,796 kPa sedangkan nilai sudut geser dalamnya adalah 17,345°. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik *Direct Shear* Benda Uji OWC

3.5.4. Variasi Benda Uji OWC+10%OWC

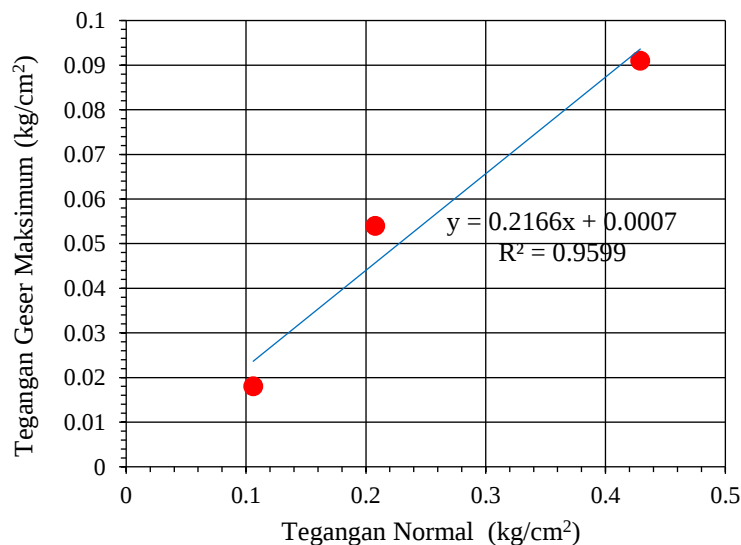
Pengujian *Direct Shear* untuk variasi benda uji OWC+10%OWC menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,00148 kg/cm² atau 0,1454 kPa sedangkan nilai sudut geser dalamnya adalah 15,756°. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik *Direct Shear* Benda Uji OWC+10%

3.5.5. Variasi Benda Uji OWC+20%OWC

Pengujian *Direct Shear* untuk variasi benda uji OWC+20%OWC menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,0012 kg/cm² atau 0,114 kPa sedangkan nilai sudut geser dalamnya adalah 12,142°. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik *Direct Shear* Benda Uji OWC+20%

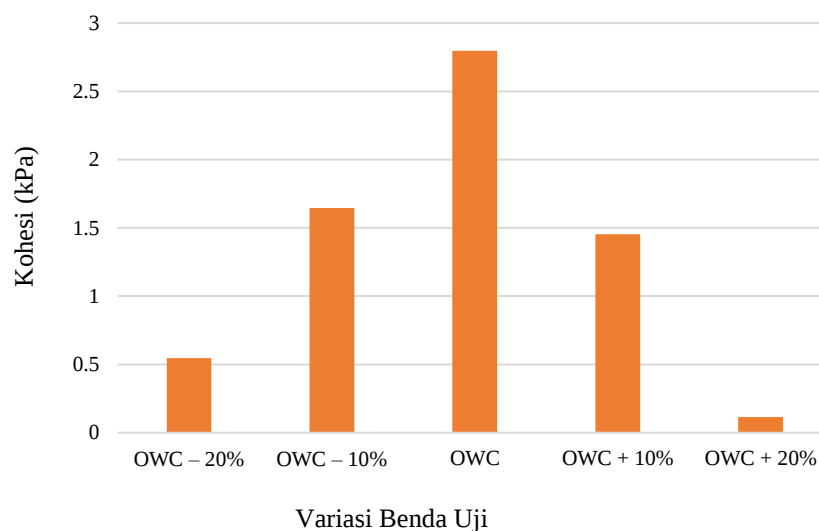
3.6. Rekapitulasi Pengujian *Direct Shear*

Nilai kohesi dan sudut geser dalam yang didapatkan dari Gambar 7, 8, 9 dan 10 kemudian direkapitulasi ke dalam Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa nilai kohesi tertinggi terjadi pada variasi OWC atau kadar air optimum yaitu sebesar 2,796 kPa. Sedangkan nilai sudut geser dalam paling tinggi terjadi pada variasi OWC-10%OWC yaitu sebesar 32,148°.

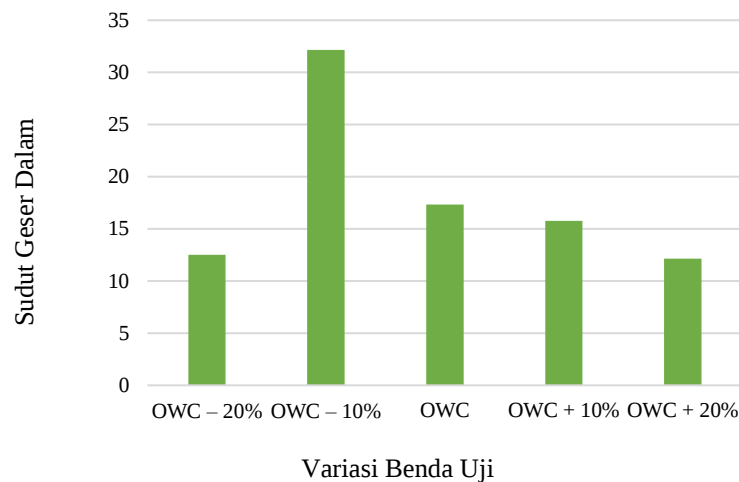
Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Parameter Kuat Geser Antar Variasi Benda Uji

Variasi	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam / ϕ (°)
OWC – 20%	0,547	12,503
OWC – 10%	1,645	32,148
OWC	2,796	17,345
OWC + 10%	1,454	15,756
OWC + 20%	0,114	12,142

Kohesi merupakan parameter kuat geser yang dihasilkan dari partikel tanah yang berbutir halus atau dalam hal ini partikel tanah lempung. Kohesi akan terjadi jika antar partikel butiran halus diisi oleh air yang menyebabkan terjadinya lekatan. Namun kadar air yang terlalu banyak akan menyebabkan jarak antar butiran semakin jauh dan memperbesar tegangan air pori sehingga memperkecil proses pelekatan (Achmad Hafidz, 2019). Gambar 11 menunjukkan perbandingan nilai kohesi antar variasi. Terlihat bahwa nilai kohesi paling tinggi ada di variasi OWC atau ketika kadar air benda uji sama dengan kadar air optimum. Jika kadar air optimum dikurangi, maka proses pelekatan yang terjadi tidak akan optimum.



Gambar 11. Perbandingan Nilai Kohesi Antar Benda Uji



Gambar 12. Perbandingan Nilai Sudut Geser Dalam Antar Benda Uji

Hal sebaliknya terjadi pada parameter sudut geser dalam tanah. Pada pengujian ini, terlihat dari Gambar 12 bahwa nilai sudut geser dalam maksimum terjadi pada variasi OWC-10%OWC atau ketika kadar air optimum dikurangi 10% . Sudut geser tanah terjadi ketika antar butiran tanah bergesekan. Banyaknya kandungan air yang mengisi pori-pori antar butiran tanah akan memperbesar jarak antar butiran tanah yang akhirnya akan mengurangi proses gesekan tersebut.

4. KESIMPULAN

Analisis di atas menunjukkan bahwa angka kadar air sangat berpengaruh terhadap parameter kuat geser tanah. Namun pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan kadar air terhadap kuat geser bergantung pada jenis tanah. Berdasarkan pengujian sifat properti yang telah dilakukan, sampel tanah termasuk ke dalam jenis tanah dengan plastisitas rendah. Artinya kandungan butiran halus (partikel lempung) pada tanah lebih sedikit dibanding partikel butiran kasar (pasir). Nilai kohesi tertinggi didapatkan pada variasi benda uji dengan kadar air optimum (OWC) yaitu sebesar 2,96 kPa, sedangkan untuk nilai sudut geser dalam didapatkan pada variasi benda uji dengan kadar air optimum dikurang 10% (OWC-10%OWC) yaitu sebesar 32,148°

DAFTAR PUSTAKA

- A.R. Estabragh, B. P. (2015). Laboratory investigation of the effect of cyclic wetting and drying on the behaviour of an expansive soil. *Soils and Foundations*, 55(2), 304-314.
- Achmad Hafidz, M. F. (2019, April). Analisis Perubahan Faktor Keamanan Lereng Akibat Hujan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(1), 1-8.
- Andrian, S. P. (2014). Pengaruh Ketinggian Tempat Dan Kemiringan Lereng Terhadap Produksi Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) di Kebun Hapesong Ptpn Iii Tapanuli Selatan. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(3), 981-989.

- ASTM. (2003). *Annual Book of ASTM Standard* (Vol. 4).
- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Dafalla, M. A. (2013). Effects of Clay and Moisture Content on Direct Shear Tests for Clay-Sand Mixtures. *Advance in Materials Science and Engineering*.
- Daniel Tjandra, I. R. (2015). Effect of Drying-Wetting Process on Friction Capacity and Adhesion Factor of Pile Foundation in Clayey Soil. *Jurnal Teknologi (Science and Engineering)*, 77(11), 145-150.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hasrullah. (2012). Studi Pengaruh Infiltrasi Terhadap Stabilisasi Lereng. *Jurnal Ilmu Teknik*, 5, 1-13.
- Hesti Subiyanti, A. R. (2011). Analisis Pengaruh Tekanan air Pori di Kelongsoran Lereng Akibat Saluran Induk Kalibawang Kulonprogo. *Jurnal Ilmiah Semesta*, 14(1), 15-25.
- Hossain Md. Sayem, L. W. (2016). Effects of drying-wetting cycles on saturated shear strength. *American Journal of Civil Engineering*, 4(4), 159-166.
- Jie Yin, k. Z. (2021). Effect of Initial Water Content on Undrained Shear Strength of Ko Consolidated Clay. *Soils and Foundation*, 61, 1453-1453.
- Qiang Liu, P. X. (2020, August). Qiang Liu, P. X. (2020, August). Applicability of Wetting Front Advancing Method in The Sand to Silty Clay Soils. *Soils and Foundation*, 60, 1215-1225. *Soils and Foundation*, 60, 1215-1225.
- Wilham G. Loushenapessy, B. L. (2022, Oktober). Analyzing The Effect of Water Seepage and Scour on Slope Stability Using Finite Element Method. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 216-229.
- Xu tang Xu, L. j. (2021). Effect of wet-dry cycles on shear strength of residual soil. *Soils and Foundation*, 61, 782-797.