

PERUBAHAN PARAMETER KUAT GESER TANAH LEMPUNG ORGANIK TAK JENUH PADA VARIASI KEPADATAN KERING ALAMI TANAH

BUKHARO BANJAI



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Perubahan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Organik Tak Jenuh pada Variasi Kepadatan Kering Alami Tanah” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Bukharo Banjai
F4501241004



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

BUKHARO BANJAI. Perubahan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Organik Tak Jenuh pada Variasi Kepadatan Kering Alami Tanah. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan ERIZAL.

Longsor yang dipicu hujan di wilayah tropis kerap bermula dari melemahnya kohesi semu saat tanah tak jenuh berangsur menuju jenuh. Penelitian ini menelusuri perubahan kohesi semu (c') dan sudut geser dalam (ϕ') lempung organik tak jenuh seiring derajat kejenuhan (S_r) pada tiga kondisi kepadatan kering (γ_d) yang dikalibrasi dari lapangan, menggunakan sampel dari tiga titik longsor di Desa Petir, Dramaga, Bogor. Benda uji remolded dipadatkan ke tiga nilai γ_d acuan (0,984; 0,870; dan 0,810 g/cm³), lalu dibasahi bertahap hingga tujuh tingkat S_r menyerupai infiltrasi hujan; sebanyak 231 benda uji geser langsung dan 42 benda uji kertas saring (Whatman No. 42) diuji untuk memperoleh parameter geser dan kurva karakteristik tanah-air (SWCC). Hasil menunjukkan nilai tekanan masuk udara (AEV) yang rendah dan hampir seragam (1,52; 2,09; dan 1,54 kPa), sehingga sumbangan *matric suction* cepat hilang begitu air meresap. Kohesi semu tidak menurun monoton, melainkan memuncak pada kejenuhan menengah (S_r 44–56%) dengan nilai berjenjang menurut kepadatan (10,60; 6,30; dan 4,69 kPa), sedangkan sudut geser menyusut konsisten (Pearson $r = -0,953$ hingga $-0,806$). Keunggulan kohesi pada tanah lebih padat hanya nyata saat lembap dan menghilang ketika mendekati jenuh, saat ketiga kepadatan menurun ke nilai rendah yang hampir sama. Hubungan ini dirangkum dalam model $c' = 16,162 \cdot \gamma_d - 0,089 \cdot S_r - 5,076$ ($R^2 = 0,598$; RMSE = 1,576 kPa). Temuan ini menegaskan bahwa kepadatan awal yang tinggi tidak menjamin kestabilan lereng ketika hujan deras mendorong tanah menuju jenuh, sehingga pengendalian infiltrasi sama pentingnya dengan pemadatan dalam mitigasi longsor.

Kata kunci: derajat kejenuhan, kepadatan kering, kohesi semu, lempung organik, tanah tak jenuh



SUMMARY

BUKHARO BANJAI. Changes in Shear Strength Parameters of Unsaturated Organic Clay Under Natural Dry-Density Variations. Supervised by HERIANSYAH PUTRA and ERIZAL.

Rainfall-triggered landslides in tropical regions often begin with the loss of apparent cohesion as unsaturated soil gradually approaches saturation. This study examines how the apparent cohesion (c') and internal friction angle (ϕ') of unsaturated organic clay change with the degree of saturation (S_r) under three field-calibrated dry density (γ_d) conditions, using samples from three landslide sites in Petir Village, Dramaga, Bogor. Remolded specimens were compacted to three reference γ_d values (0.984, 0.870, and 0.810 g/cm³) and progressively wetted to seven S_r levels mimicking rainfall infiltration; 231 direct shear specimens and 42 filter paper specimens (Whatman No. 42) were tested to obtain the shear strength parameters and the soil-water characteristic curve (SWCC). The soils exhibited low and nearly uniform air-entry values (1.52, 2.09, and 1.54 kPa), so the *suction* contribution dissipated quickly once infiltration began. Apparent cohesion did not decline monotonically but peaked at intermediate saturation (S_r 44–56%), with values tiered by density (10.60, 6.30, and 4.69 kPa), whereas the friction angle decreased consistently (Pearson $r = -0.953$ to -0.806). The cohesion advantage of denser soil was evident only under moist conditions and disappeared near saturation, where the three densities converged to a similarly low value. These relationships are summarized by the model $c' = 16.162 \cdot \gamma_d - 0.089 \cdot S_r - 5.076$ ($R^2 = 0.598$; RMSE = 1.576 kPa). The findings indicate that high initial density alone does not ensure slope stability when heavy rainfall drives the soil toward saturation, making infiltration control as important as compaction in landslide mitigation.

Keywords: apparent cohesion, degree of saturation, dry density, organic clay, unsaturated soil



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PERUBAHAN PARAMETER KUAT GESER TANAH LEMPUNG ORGANIK TAK JENUH PADA VARIASI KEPADATAN KERING ALAMI TANAH

BUKHARO BANJAI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

- 1 Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, M.S.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Perubahan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Organik Tak
Jenuh pada Variasi Kepadatan Kering Alami Tanah

Nama : Bukharo Banjai
NIM : F4501241004

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra S.Pd., M.Eng.
NIP. 19900209 201803 1 001



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Erizal M.Agr., IPU.
NIP. 19650106 199002 1 001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan:
Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.TP, M.Si
NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian: 13 Juli 2026

Tanggal Lulus:

21 JUL 2026

PRAKATA

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *Subhaanahu Wa Ta'aala* yang telah memberikan limpahan karunia dan nikmat-Nya sehingga tesis dengan judul "Perubahan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Organik Tak Jenuh pada Variasi Kepadatan Kering Alami Tanah" ini dapat diselesaikan.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada pihak-pihak yang berperan dalam proses penyelesaian tesis ini, khususnya kepada

1. Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. selaku ketua komisi pembimbing yang telah membimbing, memberikan arahan dan saran dalam penyelesaian tesis
2. Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU., selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, memberikan arahan dan saran dalam penyelesaian tesis
3. Staf Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB yang telah membantu dalam administrasi selama pendidikan pascasarjana
4. Ayahanda Syahrudin, Ibunda Ayu Hasanah, Abang Muhammad Isya Danin, Kakak Ihdi Shabrona Putri, Dirga Filannira Desky dan Mutiara Ulya yang telah memberikan doa dan dukungan selama menyelesaikan pascasarjana
5. Ari Alamsyah dan seluruh keluarga besar SG Group yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama menyelesaikan pascasarjana.
6. Rekan-rekan GEO-MAC Lab yang telah membantu dan memberikan semangat selama proses penyusunan tesis
7. Rekan-rekan SIL IPB yang telah memberikan dukungan dan semangat selama pendidikan pascasarjana

Semoga tesis ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan memudahkan bagi pihak yang membutuhkan.

Bogor, Juli 2026

Bukharo Banjai



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah Lempung Organik dan Perilaku Tanah Tak Jenuh	5
2.2 Pengaruh Kepadatan Kering terhadap Parameter Geser	7
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Pengambilan Sampel	9
3.4 Analisis data	10
3.5 Pengujian SWCC dengan Metode Filter Paper	10
3.6 Pengujian Kuat Geser Langsung	12
3.7 Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Karakteristik Fisik Tanah	15
4.2 Kurva Karakteristik Tanah-Air (SWCC)	15
4.3 Perubahan Parameter Kuat Geser terhadap Derajat Kejenuhan (Sr)	18
4.4 Pengaruh Variasi Kepadatan Kering terhadap Parameter Kuat Geser	22
4.5 Model Regresi Kohesi Semu sebagai Fungsi γ_d dan Sr	26
4.6 Implikasi terhadap Mitigasi Longsor	27
V SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	34

DAFTAR TABEL

1	Informasi lokasi dan geometri lereng ketiga titik penelitian	8
2	Program pengujian kuat geser langsung	13
3	Distribusi ukuran butir dan klasifikasi tanah	15
4	Batas Atterberg dan klasifikasi USCS	15
5	Nilai puncak kohesi semu (c') dan derajat kejenuhan saat puncak pada ketiga lokasi	19

DAFTAR GAMBAR

1	Peta lokasi penelitian di Desa Petir, Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor (Sumber: BIG Peta RBI Skala 25K dan Citra Google Satelit)	8
2	Kondisi lereng longsor di tiga titik penelitian, Desa Petir, Kecamatan Dramaga (Sumber: dokumentasi pribadi, 2025)	9
3	Sampel Core Cutter dan Sampel Terganggu (Sumber: dokumentasi pribadi, 2025)	10
4	Sampel uji filter paper (Sumber: dokumentasi pribadi, 2025)	11
5	Rangkaian alat uji geser langsung (direct shear) dengan benda uji terpasang (Sumber: dokumentasi pribadi, 2025)	12
6	Diagram alir penelitian	14
7	Kurva karakteristik tanah-air (SWCC) hasil fitting Fredlund-Xing pada (a) γ_{d1} , (b) γ_{d2} , dan (c) γ_{d3}	16
8	Kurva SWCC ketiga lokasi dan perbandingan nilai AEV	17
9	Amplop kegagalan Mohr-Coulomb pada (a) γ_{d1} , (b) γ_{d2} , dan (c) γ_{d3}	18
10	Hubungan non-monoton antara kohesi semu (c') dan derajat kejenuhan (S_r) pada ketiga lokasi	19
11	Hubungan antara kohesi semu (c') dan matric suction (ψ) pada ketiga lokasi	20
12	Pola perubahan sudut geser dalam (ϕ') terhadap derajat kejenuhan (S_r) pada ketiga lokasi	21
13	Penurunan kuat geser total (τ) terhadap derajat kejenuhan (S_r)	22
14	Pengaruh kepadatan kering (γ_d) terhadap kohesi semu (c') pada berbagai level derajat kejenuhan.	23
15	Konvergensi Kohesi Semu (c') Antar-Kepadatan pada S_r Tinggi	24
16	Hubungan γ_d terhadap c' dan ϕ' pada berbagai level S_r	24
17	Model regresi linier berganda kohesi semu (c') sebagai fungsi γ_d dan S_r ($R^2 = 0,598$; $RMSE = 1,576$ kPa)	27

LAMPIRAN

1	Rekapitulasi Data Pengujian <i>Filter Paper</i>	34
2	Rekapitulasi Data Pengujian Kuat Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>)	35
3	Dokumentasi Kegiatan Penelitian	36