

## Karakterisasi Geoteknik Lahan: Integrasi Uji Sondir (CPT) dan Laboratorium

Anafi Minmahddun<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara

\*penulis koresponden: [anafi.minmahddun@uho.ac.id](mailto:anafi.minmahddun@uho.ac.id)

Submit : 30/05/2025

Revisi : 05/06/2025

Diterima : 30/06/2025

---

**Abstrak.** Kondisi tanah merupakan faktor kritis yang memengaruhi kelayakan dan keberhasilan proyek konstruksi, terutama pada infrastruktur yang berinteraksi langsung dengan tanah, seperti fondasi dan lereng. Permasalahan geoteknik seperti penurunan berlebihan (settlement) dan longsor lereng dangkal sering terjadi akibat kurangnya pemahaman terhadap karakteristik tanah. Tanah dengan kandungan lempung tinggi atau kepadatan rendah rentan terhadap perubahan volume dan kejenuhan air, yang dapat mengancam stabilitas struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik tanah di lokasi studi melalui integrasi uji lapangan (Cone Penetration Test/CPT) dan uji laboratorium, guna mengevaluasi daya dukung tanah dan potensi ketidakstabilan lereng. Metode yang digunakan meliputi uji sondir (CPT) di tujuh titik dan uji laboratorium terhadap tujuh sampel tanah untuk analisis sifat fisik dan mekanik, seperti distribusi butiran, batas Atterberg, serta parameter kekuatan geser. Hasil uji sondir menunjukkan dominasi tanah silty sand dengan kepadatan sangat lepas hingga lepas di lapisan atas (0–2 meter) dan kepadatan menengah hingga padat di lapisan lebih dalam (>6 meter). Uji laboratorium mengidentifikasi variasi klasifikasi tanah, termasuk pasir berlanau (SM), lanau (ML), dan lempung plastis tinggi (CH), dengan nilai kohesi (6–10 kPa) dan sudut gesek dalam ( $4,85^{\circ}$ – $8,38^{\circ}$ ) yang rendah. Integrasi data menunjukkan potensi longsor tinggi pada lapisan atas akibat kejenuhan air, sehingga diperlukan strategi mitigasi seperti penggunaan fondasi dalam dan sistem drainase yang efektif. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan konstruksi yang aman dan berkelanjutan di wilayah dengan kondisi tanah serupa.

**Kata kunci:** CPT; Uji Laboratorium; Klasifikasi Tanah

**Abstract.** Soil conditions are a critical factor influencing the feasibility and success of construction projects, especially for infrastructure that interacts directly with the ground, such as foundations and slopes. Geotechnical issues like excessive settlement and shallow translational landslides often occur due to insufficient understanding of soil characteristics. Soils with high clay content or low density are prone to volume changes and water saturation, which can threaten structural stability. This study aims to examine soil characteristics at the research site by integrating field tests (Cone Penetration Test/CPT) and laboratory tests to evaluate soil bearing capacity and slope instability potential. The methods included CPT at seven points and laboratory tests on seven soil samples to analyze physical and mechanical properties, such as grain distribution, Atterberg limits, and shear strength parameters. CPT results showed a dominance of silty sand with very loose to loose density in the upper layer (0–2 meters) and medium to dense density in deeper layers (>6 meters). Laboratory tests identified variations in soil classification, including silty sand (SM), silt (ML), and high-plasticity clay (CH), with low cohesion (6–10 kPa) and internal friction angle ( $4.85^{\circ}$ – $8.38^{\circ}$ ). Data integration revealed a high landslide risk in the upper layer due to water saturation, necessitating mitigation strategies such as deep foundations and effective drainage systems. This research provides significant contributions to safe and sustainable construction planning in areas with similar soil conditions.

**Keywords:** CPT; Laboratory Test; Soil Classification

## Pendahuluan

Kondisi tanah merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi kelayakan dan keberhasilan suatu proyek konstruksi, terutama pada pembangunan infrastruktur yang berinteraksi langsung dengan tanah, seperti fondasi dan lereng. Berbagai permasalahan seperti penurunan tanah, swelling dan scouring dapat menjadi permasalahan yang akan timbul tanpa adanya pemahaman karakteristik tanah yang baik [1]–[4]. Permasalahan geoteknik seperti penurunan berlebih (*settlement*) dan longsor lereng dangkal (*shallow translational slide*) sering kali terjadi akibat pengabaian terhadap sifat dan perilaku tanah. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan, meningkatnya biaya pemeliharaan, dan bahkan membahayakan keselamatan jiwa. Penurunan tanah yang berlebihan biasanya disebabkan oleh konsolidasi tanah yang tidak terkendali, terutama di daerah dengan kandungan lempung tinggi yang bersifat ekspansif.

Tanah jenis ini memiliki sifat fisik yang bervariasi dan dapat memengaruhi stabilitas secara signifikan. Misalnya, perubahan kadar air tanah akibat curah hujan atau keberadaan sumber air di sekitarnya dapat menyebabkan volume lempung ekspansif meningkat atau menurun, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan penurunan (*settlement*) atau pengangkatan (*heaving*) pada struktur di atasnya [5], [6]. Penelitian menunjukkan bahwa penurunan yang tidak tertangani dengan baik dapat menyebabkan kerusakan progresif pada infrastruktur sipil serta secara signifikan meningkatkan biaya pemeliharaan seiring waktu [7], [8]. Oleh karena itu, pemahaman terhadap tingkat kompresibilitas dan daya dukung tanah menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko tersebut. Penilaian geoteknik yang menyeluruh sebelum pelaksanaan konstruksi merupakan langkah yang tidak dapat diabaikan [9].

Selain permasalahan penurunan, gerakan tanah seperti longsoran translasi dangkal juga menjadi ancaman serius di daerah dengan kemiringan lereng curam dan kondisi tanah yang jenuh air. Longsoran ini terjadi ketika gaya dorong akibat gravitasi melebihi gaya tahan dalam massa tanah tertentu, dan biasanya diperburuk oleh curah hujan tinggi (Jiang et al., 2022). Berbagai studi menunjukkan bahwa jenis longsoran dangkal seperti *active-layer detachment slides* (ALDS) sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, khususnya di wilayah permafrost yang mengalami pencairan akibat perubahan iklim [6], [10]. Di wilayah dengan curah hujan tinggi, kombinasi antara berkurangnya gaya gesek pada bidang longsor dan meningkatnya berat tanah jenuh air dapat menyebabkan kegagalan mendadak yang berisiko terhadap infrastruktur di sekitarnya [11].

Untuk mengurangi risiko tersebut, diperlukan investigasi tanah yang komprehensif melalui pendekatan lapangan dan laboratorium. Uji *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan salah satu metode lapangan yang penting dan banyak digunakan dalam rekayasa geoteknik untuk memperoleh profil vertikal kondisi tanah. Uji ini memberikan parameter-parameter penting seperti tahanan ujung konus (*cone resistance / qc*) dan rasio gesek (*friction ratio / Fr*), yang berperan dalam menilai daya dukung tanah serta perilakunya di bawah beban struktural [12], [13]. Namun demikian, meskipun CPT memberikan informasi berharga mengenai kondisi bawah permukaan, hasilnya perlu dilengkapi dengan pengujian laboratorium untuk mengevaluasi sifat fisik dan mekanik tanah secara lebih mendalam.

Pengujian laboratorium berperan penting dalam memahami karakteristik tanah, seperti distribusi ukuran butir, berat jenis, batas Atterberg, serta parameter kekuatan geser seperti kohesi dan sudut geser dalam. Distribusi ukuran butir memengaruhi perilaku hidraulik dan mekanik tanah; tanah dengan gradasi yang baik cenderung lebih stabil dan memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak tergradasi dengan baik, yang lebih rentan terhadap likuifaksi saat terkena beban dinamis [14]–[16]. Berat jenis tanah juga penting dalam klasifikasi dan penilaian kinerja struktural, karena variasi nilai kohesi dan sudut geser dalam dapat memengaruhi respons tanah terhadap beban maupun dalam kondisi bebas tekanan [17], [18]. Batas Atterberg memberikan informasi tentang plastisitas dan kemudahan pengerjaan tanah selama proses konstruksi [19], serta melengkapi data CPT dalam memahami perilaku tanah terhadap variasi kadar air. Selain itu, parameter kekuatan geser yang diperoleh dari uji laboratorium dan data lapangan sangat penting untuk perhitungan stabilitas lereng dan desain fondasi [18].

Integrasi antara hasil CPT dan pengujian laboratorium terhadap sifat-sifat tanah memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai perilaku tanah, yang sangat esensial dalam praktik rekayasa geoteknik. Pendekatan ganda ini memungkinkan perancangan yang lebih andal dan meningkatkan keselamatan serta keandalan proyek konstruksi, sehingga dapat meminimalkan risiko struktural akibat kondisi tanah yang bervariasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik tanah pada lokasi studi dengan mengintegrasikan hasil uji sondir dan uji laboratorium guna memperoleh gambaran menyeluruh mengenai sifat teknis tanah. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap daya dukung tanah serta potensi ketidakstabilan lereng. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa data teknis yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan fondasi dan perlindungan lereng, serta sebagai acuan dalam pengambilan keputusan teknis guna meminimalkan risiko kegagalan geoteknik melalui penerapan strategi perkuatan dan sistem drainase yang tepat.

## Metode

Studi ini menggunakan kombinasi penyelidikan lapangan dan penyelidikan laboratorium sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk mendapatkan informasi geoteknik lokasi. Penyelidikan lapangan yang dilakukan adalah uji sondir (CPT - Cone Penetration Test [20]) sebanyak tujuh titik (S-01 hingga S-07) untuk mengukur nilai cone resistance ( $q_c$ ) dan friction ratio (Fr). Data hasil uji CPT akan digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah, tingkat kepadatan, dan perilaku tanah terhadap beban berdasarkan klasifikasi *Soil Behaviour Type* (SBT) yang diusulkan oleh Robertson (2016) [12] dan korelasi yang diusulkan oleh Look (2017) [21].

Sebagai data pembanding, uji laboratorium dilakukan untuk memperoleh sifat fisik dan sifat mekanik tanah dilokasi. Pengambilan sampel tanah dilakukan sebanyak tujuh titik (HB-01 hingga HB-07) pada kedalaman 2,5 m. Adapun parameter yang diuji terdapat pada Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan hasil uji laboratorium mengacu pada sistem USCS (Unified Soil Classification System) [22].

Analisis data dilakukan dengan mengintegrasikan hasil uji sondir dan laboratorium untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik tanah. Perbedaan klasifikasi tanah antara kedua metode dianalisis dengan mempertimbangkan

faktor-faktor seperti gangguan sampel, dan sensitivitas tanah. Evaluasi daya dukung tanah dilakukan berdasarkan nilai  $q_c$  dari uji sondir serta parameter kuat geser ( $c$ ,  $\phi$ ) dari uji laboratorium, sementara analisis potensi longsor mempertimbangkan kombinasi nilai  $q_c$ , kohesi, sudut gesek dalam, serta kondisi kepadatan tanah, termasuk pengaruh kejenuhan air dan drainase.

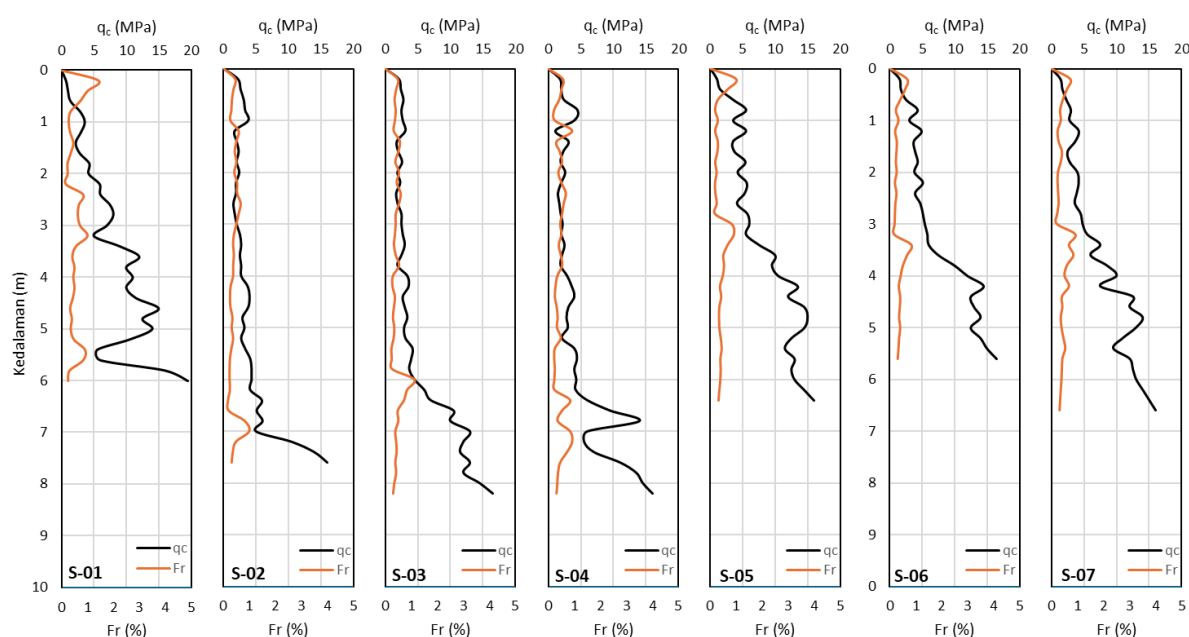
Tabel 1. Tipe uji laboratorium

Jenis Pengujian	Tujuan	Sumber acuan
Analisa ukuran butiran	Menentukan distribusi ukuran partikel untuk klasifikasi tanah, membantu dalam memahami karakteristik drainase tanah dan potensi erosinya	SNI 3423:2008 [23]
Berat Jenis	Mentukan rasio kepadatan tanah dengan air, yang sangat penting untuk menghitung rasio rongga dan porositas	SNI 1964:2008 [24]
Batas-batas Atterberg	Mentukan tingkat kadar air kritis di mana tanah bertransisi antara negara bagian yang berbeda.	SNI 1966:2008 [25] SNI 1967:2008 [26]
Uji geser langsung	Mentukan parameter kekuatan geser tanah, termasuk kohesi dan sudut gesekan internal, yang merupakan faktor kunci dalam mengevaluasi daya dukung dan stabilitas lereng	SNI 3420:2016 [27]

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Uji Sondir

Hasil uji sondir dari semua titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian sondir pada tujuh titik (S-01 hingga S-07) menunjukkan bahwa jenis tanah yang dominan di lokasi penelitian adalah *silty sand* atau pasir lanauan, berdasarkan klasifikasi Soil Behaviour Type (SBT) menurut Robertson. Berdasarkan kriteria kepadatan tanah menurut Look (2007), tanah ini memiliki variasi tingkat kepadatan dari sangat lepas (*very loose*), lepas (*loose*), kepadatan menengah (*medium dense*), hingga padat (*dense*), tergantung pada kedalaman masing-masing lapisan.



Gambar 1. Hasil uji sondir

Secara umum, lapisan tanah bagian atas (0–2 meter) terdiri dari *silty sand* dengan kondisi sangat lepas hingga lepas. Hal ini dapat dilihat secara konsisten dari nilai *cone resistance* ( $q_c$ ) yang relatif rendah, berkisar antara 1 hingga 5 MPa, serta nilai *friction ratio* ( $Fr$ ) yang cukup tinggi (di atas 1%). Kondisi ini menunjukkan tanah yang belum terkonsolidasi, dengan struktur butiran yang longgar dan sangat rentan terhadap penurunan kekuatan bila jenuh air. Titik S-02, S-04, dan S-06 secara khusus memperlihatkan karakteristik ini, yang mengindikasikan adanya potensi permasalahan geoteknik seperti daya dukung rendah dan kestabilan lereng yang buruk.

Seiring bertambahnya kedalaman (2-6 meter), sebagian besar titik pengujian menunjukkan adanya perbaikan kondisi tanah. Tanah *silty sand* pada lapisan ini umumnya tergolong dalam klasifikasi kepadatan menengah (*medium dense*), ditandai dengan peningkatan nilai  $q_c$  (5–10 MPa) dan penurunan  $Fr$ . Sementara itu, pada lapisan tanah bagian bawah (>6 meter), sebagian besar titik seperti S-01, S-03, S-04, dan S-05 menunjukkan klasifikasi padat (*dense*), dengan nilai  $q_c > 10$  MPa dan  $Fr < 1\%$ . Lapisan ini dianggap lebih stabil dan layak untuk menopang struktur.

Dari aspek daya dukung tanah, lapisan atas dengan kondisi sangat lepas hingga lepas menunjukkan nilai daya dukung yang rendah [28]. Tanah dalam kondisi ini bersifat sangat kompresibel dan tidak mampu menahan beban struktur secara efektif, sehingga berisiko menyebabkan penurunan berlebih (*excessive settlement*) jika digunakan sebagai tumpuan pondasi tanpa perbaikan tanah [29]. Sebaliknya, pada kedalaman di atas 6 meter yang memiliki kepadatan lebih tinggi dan nilai  $q_c$  yang meningkat, kapasitas dukung tanah cenderung lebih memadai, sehingga direkomendasikan sebagai kedalaman minimum untuk pondasi tiang atau perkuatan lainnya.

Dari aspek kestabilan lereng, potensi longsor di area ini cukup signifikan, terutama pada lokasi yang memiliki tanah *silty sand* dengan kepadatan sangat lepas di permukaan [30]. Jenis tanah ini memiliki sifat yang mudah berubah perilaku menjadi cair (*liquefied*) saat jenuh air, khususnya jika nilai  $Fr$  tinggi (>1%) sebagaimana teramati pada beberapa titik [31]. Hal ini meningkatkan risiko terjadinya *flow slide* atau longsor aliran, yang sangat berbahaya pada lereng-lereng alam maupun timbunan buatan. Risiko ini lebih tinggi jika drainase permukaan dan bawah tanah tidak dirancang dengan baik, sehingga memungkinkan infiltrasi air hujan menjenuhkan lapisan atas yang longgar tersebut.

Dengan memperhatikan kondisi tersebut, maka diperlukan strategi perencanaan dan mitigasi yang sesuai untuk mengantisipasi masalah daya dukung dan potensi longsor. Salah satu rekomendasi teknis penerapan sistem fondasi dalam seperti *tiang pancang* yang menembus hingga ke lapisan tanah padat di bawahnya. Selain itu, sistem drainase yang baik mutlak diperlukan untuk menjaga agar lapisan tanah atas tidak mudah terjenuhkan air, terutama saat musim hujan. Pemantauan kondisi lereng juga penting dilakukan, khususnya di area dengan nilai  $q_c$  rendah dan  $Fr$  tinggi yang konsisten, karena area seperti ini rawan terhadap ketidakstabilan tanah. Strategi pemantauan dan pengelolaan yang efektif dapat membantu mengurangi risiko tanah longsor dan memastikan keamanan infrastruktur di wilayah yang rentan [32].

### Hasil Uji Laboratorium

Hasil uji laboratorium terhadap 7 sampel tanah yang diambil pada lokasi studi serta hasil klasifikasinya terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Hasil Uji Laboratorium

Parameter tanah	Satuan	Lokasi Sampel						
		HB-1	HB-2	HB-3	HB-4	HB-5	HB-6	HB-7
Berat Jenis	-	2,64	2,66	2,62	2,67	2,67	2,65	2,67
Tertahan #200	%	63,17	51,64	46,89	41,15	40,49	47,54	42,13
Lolos #200	%	36,83	48,36	53,11	58,85	59,51	52,46	57,87
LL	%	31,07	32,49	29,10	52,61	38,51	34,19	27,01
PL	%	27,52	28,76	25,71	42,26	29,95	22,73	23,04
PI	%	3,55	3,73	3,39	10,35	8,56	11,47	3,97
c	kg/cm <sup>2</sup>	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,06	0,10
$\phi$	...°	8,38	4,86	8,38	8,13	5,88	7,14	4,85

Tabel 3 Hasil Uji Laboratorium

Lokasi	Klasifikasi	Keterangan
HB-1	SM	Pasir berlanau
HB-2	SM	Pasir berlanau
HB-3	ML	Lanau tak organik
HB-4	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi
HB-5	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi
HB-6	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi
HB-7	ML	Lanau tak organik

Hasil uji laboratorium terhadap tujuh sampel tanah menunjukkan variasi sifat fisik yang signifikan. Nilai berat jenis tanah berkisar antara 2,62–2,67, menunjukkan komposisi mineral yang relatif seragam. Persentase partikel halus (lolos saringan #200) berkisar antara 36,83% hingga 59,51%. Sampel dengan persentase tinggi (HB-4, HB-5, HB-7) didominasi oleh lanau atau lempung, sementara sampel dengan persentase rendah (HB-1, HB-2) mengandung lebih banyak pasir berlanau.

Uji batas Atterberg menunjukkan bahwa HB-4 memiliki liquid limit (LL) tertinggi (52,61%), mengindikasikan kandungan lempung plastis tinggi. Sementara itu, HB-1, HB-2, HB-3, dan HB-7 memiliki indeks plastisitas (PI) rendah (<4%), menandakan sifat non-plastis atau plastisitas rendah. Klasifikasi tanah berkisar dari SM (pasir berlanau), ML (lanau tak organik), hingga CH (lempung plastis tinggi), masing-masing dengan perilaku berbeda terhadap air dan beban.

Nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang rendah memberikan indikasi kuat bahwa **kapasitas dukung tanah di kedalaman 2.5–3.0 m sangat terbatas**. Ini memperkuat hasil uji sondir, yang pada kedalaman serupa menunjukkan nilai **qc** berkisar rendah hingga sedang, mengindikasikan tanah lepas hingga kepadatan sedang [21]. Dalam konteks daya dukung, kondisi ini berisiko menyebabkan **penurunan lokal** jika struktur didirikan langsung di atasnya tanpa perkuatan atau pondasi yang memadai.

Kondisi ini juga berimplikasi langsung terhadap **stabilitas lereng**, terutama pada daerah yang memiliki kemiringan topografi. Tanah dengan nilai  $\phi < 10^\circ$  sangat rentan terhadap kegagalan geser ketika terjadi kenaikan kadar air, misalnya akibat hujan lebat [33]. Hal ini meningkatkan risiko terjadinya longsor translasi dangkal (shallow translational slides), terlebih jika sistem drainase tidak tersedia atau tidak efektif.

Data uji laboratorium dan uji sondir memberikan gambaran yang **saling menguatkan**. Pada titik-titik sondir, nilai **qc** yang rendah pada kedalaman hingga 3 meter menunjukkan tanah dalam kondisi sangat lepas hingga lepas, sesuai dengan **nilai kohesi rendah dan sudut gesek dalam yang kecil** dari hasil laboratorium. Kedua jenis data ini mendukung kesimpulan bahwa tanah pada kedalaman tersebut memiliki **sifat mekanik yang buruk**, baik dalam hal daya dukung maupun stabilitas geser. Sebaliknya, peningkatan nilai qc pada kedalaman >4 meter (hingga >10 MPa) menunjukkan adanya perbaikan kepadatan dan kekuatan geser. Meski uji geser langsung hanya dilakukan hingga 3 meter, indikasi dari sondir cukup kuat untuk merekomendasikan kedalaman >4 meter sebagai zona pondasi.

Berdasarkan integrasi data dari uji sondir dan uji laboratorium, potensi longsor di lokasi penelitian tergolong **tinggi**, terutama pada lapisan tanah bagian atas (0–3 meter). Lapisan ini secara umum diklasifikasikan sebagai **silty sand** dan **sandy silt** dengan kondisi sangat lepas hingga lepas, yang ditunjukkan oleh nilai cone resistance (qc) rendah (di bawah 5 MPa) pada uji sondir, serta nilai **kohesi (c)** dan **sudut gesek dalam ( $\phi$ )** yang sangat rendah dari hasil uji geser langsung ( $c = 6\text{--}10$  kPa dan  $\phi = 4.85^\circ\text{--}8.38^\circ$ ). Kombinasi dari sifat mekanik yang lemah ini menjadi indikator bahwa lapisan tanah tersebut **rentan terhadap pelemahan kekuatan geser**, khususnya ketika terjadi kejenuhan akibat infiltrasi air hujan.

Berdasarkan integrasi data, potensi longsor tergolong tinggi, khususnya pada kedalaman 0–3 meter. Tanah pada zona ini diklasifikasikan sebagai silty sand atau sandy silt yang sangat lepas hingga lepas, dengan nilai qc <5 MPa, nilai kohesi 6–10 kPa, dan  $\phi$  4,85°–8,38° [34]. Karakteristik ini menunjukkan bahwa lapisan tersebut sangat rentan terhadap pelemahan geser akibat kejenuhan air. Jenis longsor yang paling mungkin terjadi adalah longsor translasi dangkal, umum terjadi pada tanah residu atau timbunan dengan fraksi halus. Bidang gelincir terbentuk sejajar permukaan tanah, biasanya pada kedalaman 2–3 meter, yaitu pada transisi antara lapisan lepas di atas dan lapisan padat di bawah, sebagaimana ditunjukkan oleh perubahan nilai qc dan data uji geser.

Terdapat perbedaan hasil klasifikasi tanah berdasarkan uji lab dimana didapati jenisnya adalah lempung dan lanau sementara pada klasifikasi sondir pada kedalaman tersebut tanahnya berperilaku sebagai tanah pasir berlanau. Perbedaan hasil klasifikasi ini karena kedua metode tersebut memiliki pendekatan yang berbeda. Uji laboratorium, seperti analisis butiran dan batas Atterberg, mengklasifikasikan tanah berdasarkan komposisi fisik dan plastisitasnya. Misalnya, jika lebih dari 50% butiran lolos saringan No. 200 dan menunjukkan plastisitas, tanah akan diklasifikasikan sebagai lempung (CL/CH) atau lanau (ML/MH). Sementara itu, uji sondir (CPT) menginterpretasikan jenis tanah berdasarkan resistansi mekanik terhadap penetrasi (qc dan fs), sehingga klasifikasi Soil Behaviour Type (SBT) lebih menekankan pada perilaku tanah terhadap beban, bukan hanya komposisinya.

Salah satu penyebab perbedaan ini adalah sifat tanah kohesif dengan kadar air tinggi yang dapat berperilaku seperti tanah non-kohesif (misalnya pasir) dalam uji sondir akibat resistansi tip dan gesekan selimut yang rendah. Selain itu, tanah lanauan yang tidak plastis dan agak kering sering kali menunjukkan perilaku seperti pasir berlanau (silty sand) dalam CPT karena fraksi pasir yang dominan masih mampu menahan beban. Faktor lain yang berpengaruh adalah gangguan selama pengambilan sampel untuk uji laboratorium, di mana tanah dengan struktur granular dapat berubah menjadi lebih

kohesif akibat remolding. Sensitivitas tanah juga berperan, di mana tanah yang tampak kohesif di laboratorium mungkin kehilangan kekuatannya ketika terganggu, sehingga menunjukkan resistansi rendah dalam CPT [35].

Meskipun CPT mengindikasikan perilaku tanah sebagai silty sand, nilai kuat geser rendah dari uji laboratorium ( $\phi = 4-8^\circ$ ) menunjukkan bahwa tanah di lapangan mungkin berada dalam keadaan lepas dan jenuh, sehingga kekuatan geser aktualnya sangat terbatas. Hal ini mengindikasikan bahwa resistansi penetrasi pada CPT mungkin berasal dari densitas lokal atau friksi sementara, bukan kekuatan geser jangka panjang. Oleh karena itu, untuk desain yang konservatif, parameter kuat geser dari uji laboratorium tetap dijadikan acuan utama, sedangkan data CPT digunakan untuk mengidentifikasi zona transisi dan kecenderungan perilaku tanah di lapangan. Dengan demikian, integrasi kedua metode pengujian ini penting untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik tanah.

## Kesimpulan

Penelitian ini mengintegrasikan hasil uji sondir (CPT) dan uji laboratorium untuk menganalisis karakteristik tanah di lokasi studi. Hasil uji sondir menunjukkan bahwa tanah dominan berupa silty sand dengan kepadatan sangat lepas hingga lepas di lapisan atas (0-2 meter) dan kepadatan menengah hingga padat di lapisan lebih dalam (>6 meter). Sementara itu, uji laboratorium mengklasifikasikan tanah sebagai pasir berlanau (SM), lanau (ML), dan lempung plastis tinggi (CH), dengan nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang rendah. Perbedaan klasifikasi antara kedua metode disebabkan oleh pendekatan yang berbeda, di mana CPT lebih menekankan perilaku tanah terhadap beban, sedangkan uji laboratorium berfokus pada komposisi fisik dan plastisitas. Integrasi data mengungkapkan potensi longsor tinggi pada lapisan atas, terutama akibat kejenuhan air, yang dapat memicu longsor translasi dangkal. Untuk mitigasi risiko, direkomendasikan penggunaan fondasi dalam seperti tiang pancang yang menembus lapisan padat, serta penerapan sistem drainase yang efektif. Penelitian ini menekankan pentingnya pendekatan komprehensif dalam investigasi tanah untuk memastikan stabilitas dan keamanan infrastruktur di wilayah dengan kondisi tanah serupa.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Sundary, Munirwansyah, Azmeri, and H. Yunita, "Physical properties and compression index of embankment soil as construction material," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2916, no. 1, p. 012027, Dec. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2916/1/012027.
- [2] M. Peng and J. Sun, "Neural Network Prediction of Dynamic Characteristics of Soft Soil Disturbance," 2023. doi: 10.3233/FAIA230211.
- [3] N. Tiwari, N. Satyam, and M. Sharma, "Micro-mechanical performance evaluation of expansive soil biotreated with indigenous bacteria using MICP method," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 10324, May 2021, doi: 10.1038/s41598-021-89687-2.
- [4] S. S. Alisha, D. Venkateswarlu, and V. Sreenivas, "Strength and Stiffness Forecasting of mechanically altered Black Cotton Soil and Red Soil using ANN Principles." Oct. 23, 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-3455436/v1.
- [5] M. Banjan *et al.*, "Did the Younger Dryas to Holocene Climate Transition Favour High Seismicity Rates in the North-western Alps?," *Sedimentology*, vol. 70, no. 2, pp. 538-568, 2022, doi: 10.1111/sed.13050.

- [6] A. I. Patton, S. L. Rathburn, D. M. Capps, D. McGrath, and R. A. Brown, "Ongoing Landslide Deformation in Thawing Permafrost," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 48, no. 16, 2021, doi: 10.1029/2021gl092959.
- [7] S. Lainas, N. Depountis, and N. Sabatakakis, "Preliminary Forecasting of Rainfall-Induced Shallow Landslides in the Wildfire Burned Areas of Western Greece," *Land*, vol. 10, no. 8, p. 877, 2021, doi: 10.3390/land10080877.
- [8] J. Palacio, M. Mergili, and É. Aristizábal, "Probabilistic Landslide Susceptibility Analysis in Tropical Mountainous Terrain Using the Physically Based r.slope.stability Model," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 815–829, 2020, doi: 10.5194/nhess-20-815-2020.
- [9] R. J. Marín, Á. J. Mattos, and C. J. Fernández-Escobar, "Understanding the Sensitivity to the Soil Properties and Rainfall Conditions of Two Physically-Based Slope Stability Models," *Boletín Geol.*, vol. 44, no. 1, 2022, doi: 10.18273/revbol.v44n1-2022004.
- [10] G. Jiang, S. Gao, A. G. Lewkowicz, H. Zhao, S. Pang, and Q. Wu, "Development of a Rapid Active Layer Detachment Slide in the Fenghuoshan Mountains, Qinghai-Tibet Plateau," *Permafr. Periglac. Process.*, vol. 33, no. 3, pp. 298–309, 2022, doi: 10.1002/ppp.2151.
- [11] J. Brock, P. Schratz, H. Petschko, J. Muenchow, M. Micu, and A. Brenning, "The Performance of Landslide Susceptibility Models Critically Depends on the Quality of Digital Elevation Models," *Geomatics Nat. Hazards Risk*, vol. 11, no. 1, pp. 1075–1092, 2020, doi: 10.1080/19475705.2020.1776403.
- [12] P. K. Robertson, "Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — an update," *Can. Geotech. J.*, vol. 53, no. 12, pp. 1910–1927, Dec. 2016, doi: 10.1139/cgj-2016-0044.
- [13] E. Ngii, A. Minmahddun, and F. N. R. Kudus, "Rainfall Infiltration Impact on Road Embankment Stability," *Brill. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–4, 2023, doi: 10.36937/ben.2023.4832.
- [14] D. R. Septiadi, H. C. Hardiyatmo, and F. Faris, "Study of Soil Liquefaction Potential at Anutapura General Hospital, Palu City, Central Sulawesi Province," *Iop Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1244, no. 1, p. 12026, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1244/1/012026.
- [15] D. P. Prayitno and H. K. Artati, "Analysis of Liquefaction Potential Based on the Grain Size Distribution of Soils and Cone Penetration Test (CPT) Data," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 27, no. 2, pp. 242–249, 2021, doi: 10.14710/mkts.v27i2.40276.
- [16] S. E. Satilah, H. C. Hardiyatmo, and I. Satyarno, "Liquefaction Potential in the Governor's Office of West Sulawesi After the 2021 Mamuju-Majene Earthquake," *E3s Web Conf.*, vol. 429, p. 4007, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202342904007.
- [17] S. A. Nugroho, A. Ongko, F. Fatnanta, and A. I. Putra, "The Effect of WHA and Lime for Shear Strength of Clay Stabilized by Cement," *J. Tek. Sipil Dan Perenc.*, vol. 24, no. 1, pp. 19–26, 2022, doi: 10.15294/jtsp.v24i1.34380.
- [18] J. A. Richard, N. M. Sa'don, and A. R. A. Karim, "Artificial Neural Network (ANN) Model for Shear Strength of Soil Prediction," *Defect Diffus. Forum*, vol. 411, pp. 157–

- 168, 2021, doi: 10.4028/www.scientific.net/ddf.411.157.
- [19] X. Liu, S. Shen, Y. Xu, and A. Zhou, "A Diffusion Model for Backfill Grout Behind Shield Tunnel Lining," *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, vol. 45, no. 4, pp. 457–477, 2020, doi: 10.1002/nag.3164.
- [20] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2878:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [21] B. G. Look, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: CRC Press, 2017. doi: 10.1201/b16520.
- [22] American Society For Testing and Materials, *ASTM D 2487-06 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, Pa, 2007.
- [23] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 3423:2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2018.
- [24] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1964:2008 Cara uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [25] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1966:2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [26] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [27] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 3420:2016 Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [28] D. Barbero and A. Maroni, "A Methodology for the Determination of Bearing Capacity of Granular Soils with Plate Loading Tests," *Artic. J. Geotech. Eng.*, no. February, 2020, doi: <https://doi.org/10.37591/joge.v7i1.3558>.
- [29] Q. Tang, J. Tong, N. Jia, and S. Zhou, "Experiment and Engineering Application Study on the Compression Properties of Foundation Soil in the Process of Reinforcing Existing Buildings with Composite Piled Foundation," 2023, pp. 303–309. doi: 10.1007/978-981-99-1748-8\_26.
- [30] F. Luino *et al.*, "The Role of Soil Type in Triggering Shallow Landslides in the Alps (Lombardy, Northern Italy)," *Land*, vol. 11, no. 8, p. 1125, Jul. 2022, doi: 10.3390/land11081125.
- [31] F. Reece, R. Sanjana, R. Nalini, and M. Jasim, "Analysis of Soil Liquefaction using Numerical Modeling," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, pp. 70–72, Oct. 2017, doi: 10.22214/ijraset.2017.10011.
- [32] R. Moore and R. McInnes, "Ground instability and landslide management: Raising awareness and increasing capacity for change within affected societies," in *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*, CRC Press, 2016, pp. 1469–1476. doi: 10.1201/b21520-181.
- [33] Y. Chen, K. R. Withanage, T. Uchimura, W. Mao, and W. Nie, "Shear deformation and failure of unsaturated sandy soils in surface layers of slopes during rainwater infiltration," *Measurement*, vol. 149, p. 107001, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2019.107001.

- [34] B.-G. Chae, J.-H. Lee, H.-J. Park, and J. Choi, "A method for predicting the factor of safety of an infinite slope based on the depth ratio of the wetting front induced by rainfall infiltration," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 15, no. 8, pp. 1835–1849, Aug. 2015, doi: 10.5194/nhess-15-1835-2015.
- [35] S. Ravindran and I. Gratchev, "Effect of Water Content on Apparent Cohesion of Soils from Landslide Sites," *Geotechnics*, vol. 2, no. 2, pp. 385–394, Apr. 2022, doi: 10.3390/geotechnics2020017.