

Studi Karakteristik Tanah Kohesif Terhadap Uji Fisis Dan Mekanis Serta Implementasinya Untuk Perancangan Geoteknik Pada Kawasan Tanjung Jaya Kota Bengkulu

M. Afra Junasiq¹⁾, Rena Misliniyati²⁾, Lindung Zalbuin Mase³⁾, Hardiansyah⁴⁾, Fepy Supriani⁵⁾

^{1, 2, 3, 4, 5)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Email: afrajuna@gmail.com¹⁾, rena_misliniyati@unib.ac.id²⁾, Imase@unib.ac.id³⁾, hardiansyah@unib.ac.id⁴⁾, fsupriani@unib.ac.id⁵⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i1.1214>

(Received: 13 December 2024 / Revised: 22 February 2025 / Accepted: 07 March 2025)

Abstrak

Pembangunan konstruksi di Indonesia terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur. Kota Bengkulu, ibukota Provinsi Bengkulu, juga mengalami pembangunan infrastruktur yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah kohesif di kawasan Tanjung Jaya, Kota Bengkulu, dan penerapannya dalam mendesain fondasi dangkal. Tahap awal penelitian ini meliputi pengambilan sampel, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sifat-sifat fisis tanah, seperti kadar air, berat volume, berat jenis, analisa ukuran butiran, dan Atterberg Limits. Dari hasil pengujian tersebut, tanah di lokasi tersebut diklasifikasikan sebagai lanau elastis (MH). Pengujian sifat mekanis dilakukan melalui uji kuat tekan bebas dan konsolidasi. Pemodelan fondasi berdasarkan sifat fisis dan mekanis tanah, dilakukan dengan menggunakan aplikasi berbasis metode elemen hingga pada satu titik sampel, dengan menggunakan nilai terendah dari kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (S_u) dari dua titik uji pada kedalaman 0,75 m dan 1 m, serta variasi lebar fondasi untuk pendekatan yang lebih konservatif. Faktor keamanan terkecil yang diperoleh adalah 1,440, dan terbesar adalah 4,654, dengan beban vertikal maksimum mencapai 109,30 kN/m² pada kedalaman 1 m dan lebar fondasi 2 m.

Kata kunci: Tanah kohesif, sifat fisis, sifat mekanis, metode elemen hingga, fondasi dangkal

Abstract

Construction development in Indonesia continues to increase in line with the growing demand for infrastructure. The City of Bengkulu, the capital of Bengkulu Province, has also seen significant infrastructure development in recent years. This study aims to identify the characteristics of cohesive soil in the Tanjung Jaya area, Bengkulu City, and its application in designing shallow footing. The initial phase of the study includes sample collection, followed by tests of the soil's physical properties, such as moisture content, volume weight, specific gravity, grain size analysis, and Atterberg Limits. The results classify the soil in this location as elastic silt (MH). Mechanical properties testing was assessed through unconfined compressive strength and consolidation tests. Foundation modeling, based on the soil's physical and mechanical properties, was conducted using a finite element method-based application at one sample point, utilizing the lowest values of unconfined compressive strength (q_u) and shear strength (S_u) from the two test points at depths of 0.75 m and 1 m, as well as Foundation width variations, for a more

conservative approach. The most minor safety factor obtained was 1.440, and the largest was 4.654, with the maximum vertical load reaching 109.30 kN/m² at a depth of 1 m and a foundation width of 2 m.

Keywords: *Cohesive soil, physical properties, mechanical properties, element method, shallow footing*

1. Latar Belakang

Tanah adalah lapisan teratas dari permukaan bumi. Komposisi tanah terdiri dari kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif lepas yang terletak di atas batuan dasar. Berdasarkan letak geografis, jenis, karakteristik, dan sifat tanah dapat berbeda-beda, sehingga tidak semua tanah cocok untuk mendukung kekuatan struktur konstruksi (Fahriana *et al.*, 2019). Tanah merupakan faktor kunci dalam pembangunan, karena konstruksi dilakukan di atasnya. Namun, tidak semua tanah cocok untuk konstruksi, karena jenis tanah dasar yang berbeda dapat menyebabkan masalah terkait daya dukung dan deformasi tanah. Oleh karena itu, perencanaan konstruksi harus mempertimbangkan karakteristik dan kekuatan tanah, terutama struktur tanah, yang mempengaruhi daya dukung tanah saat menahan beban konstruksi (Agung *et al.*, 2014). Dalam istilah teknik umum, tanah adalah material yang terdiri dari agregat mineral padat (butiran) yang tidak terikat secara kimiawi satu sama lain dan bahan organik yang telah terurai dengan partikel-partikel padat. Ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel tersebut biasanya terisi oleh cairan dan gas. Tanah berperan sebagai material konstruksi dalam berbagai proyek teknik sipil dan juga berfungsi sebagai penopang fondasi bangunan (Kusuma and Mina, 2016). Tanah merupakan elemen penting dalam fondasi konstruksi, sehingga harus memiliki daya dukung yang memadai (Aryanto, Suhendra and Amalia, 2021).

Tanah lunak adalah jenis tanah kohesif yang terdiri dari butiran-butiran kecil seperti lempung dan lanau. Tanah ini memiliki kuat geser yang rendah, permeabilitas yang rendah, tingkat pemampatan yang tinggi, dan daya dukung yang rendah, sehingga memerlukan upaya stabilisasi tanah (Onggara, Tjandra and Suwono, 2022). Keberadaan tanah kohesif dapat menimbulkan masalah bagi infrastruktur yang dibangun di atasnya.

Tanah kohesif memiliki nilai Indeks Plastisitas yang tinggi, yang menyebabkan terjadinya pemuaian yang signifikan. Pemuaian ini akan memicu perubahan volume tanah yang berpotensi merusak infrastruktur di atasnya (Sanniyah *et al.*, 2024). Tanah kohesif memiliki daya dukung yang rendah, sehingga ketika diberikan beban, tanah akan mengalami penurunan yang signifikan dengan penurunan yang tidak merata (Saleh and Anggraini, 2019). Perbaikan tanah menjadi topik yang menarik bagi para insinyur, salah satunya dengan menerapkan teknik stabilisasi tanah (Firmansyah *et al.*, 2024).

Pembangunan konstruksi di Indonesia terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur. Hal ini dapat dilihat dari berbagai proyek infrastruktur yang sedang berjalan (Dewi *et al.*, 2022). Kota Bengkulu, ibu kota Provinsi Bengkulu, telah mengalami peningkatan infrastruktur yang signifikan selama beberapa tahun terakhir (Agustina, 2019). Kawasan Tanjung Jaya di Kota Bengkulu merupakan lokasi yang menarik untuk penelitian, karena telah berkembang pesat dengan meningkatnya pembangunan rumah, jalan, dan

infrastruktur lainnya. Penelitian tentang sifat fisis dan mekanis tanah ini bertujuan untuk memahami karakteristik tanah kohesif di daerah Tanjung Jaya dan menerapkan temuan ini dalam desain geoteknik.

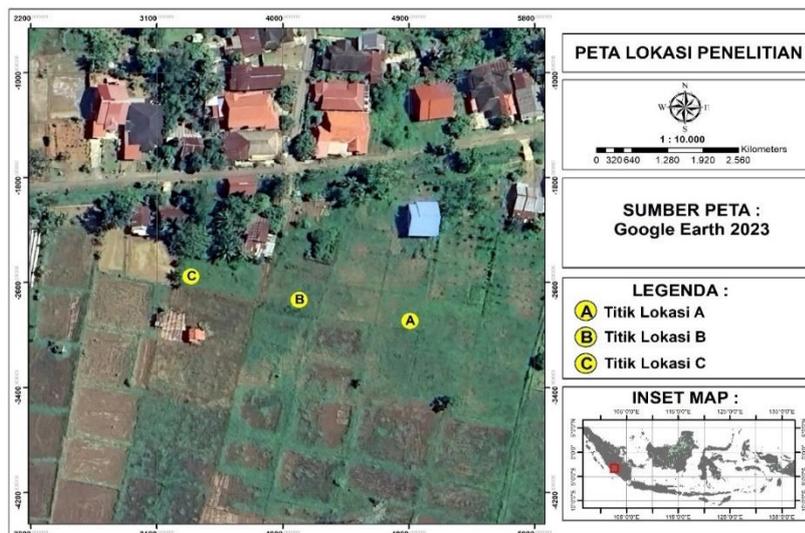
2. Metode Penelitian

Metode penelitian melibatkan beberapa tahap: tahap persiapan, tahap lapangan, tahap laboratorium, dan tahap analisis hasil. Tahap persiapan meliputi pengumpulan bahan, peninjauan literatur yang relevan, survei lokasi, dan mendapatkan peralatan yang diperlukan. Selama kerja lapangan, sampel tanah, terutama tanah yang tidak terganggu, dikumpulkan dari lokasi (Muzaidi *et al.*, 2023). Penelitian ini menggunakan data primer. Data primer diperoleh melalui uji lapangan dan uji laboratorium. Uji lapangan pada penelitian ini meliputi pengambilan sampel tanah dengan menggunakan handbore, sedangkan uji laboratorium meliputi uji fisis dan uji mekanis tanah. Uji fisis meliputi analisa saringan, berat jenis, kadar air, dan *Atterberg Limits*. Uji mekanis meliputi uji konsolidasi, dan UCT. Penelitian ini akan menganalisis parameter-parameter yang berhubungan dengan karakteristik tanah kohesif di Kawasan Tanjung Jaya berdasarkan hasil uji fisis dan uji mekanis. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk proyek pembangunan di masa yang akan datang di daerah Tanjung Jaya, Kota Bengkulu.

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan Tanjung Jaya, Kecamatan Sungai Serut, Kota Bengkulu. Sampel tanah yang digunakan masih utuh atau tidak terganggu sehingga sifat-sifat aslinya tetap terjaga.

Pengambilan sampel dilakukan di tiga titik berbeda dengan kedalaman 1 meter menggunakan alat Handbore. Sampel tanah kemudian diuji di Laboratorium Mekanisasi Tanah Universitas Bengkulu untuk dianalisis lebih lanjut. Lokasi penelitian dan titik pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian

2.2 Sifat Fisis

Sifat fisis tanah terkait dengan unsur penyusun sebagian besar tanah yang ada. Banyak faktor yang dapat menyebabkan kerusakan struktur pada konstruksi. Penyelidikan sifat fisis tanah merupakan salah satu cara untuk mengetahui faktor-faktor tersebut (Kusuma and Mina, 2016). Pengujian sifat fisis tanah ini terdiri dari analisa butiran tanah, berat jenis, kadar air, batas cair, dan berat volume (Fathurrozi, 2016).

Tabel 1 Prosedur pengujian sifat fisis tanah

No	Pengujian	Standar Yang Digunakan
1	Analisa Ukuran Butir	SNI 3423:2008
2	Kadar Air	SNI 1965:2008
3	Berat Jenis	SNI 1964:2008
4	Atterberg Limits	SNI 1966:2008
5	Berat Volume	SNI 1973:2008

Tabel 1 menunjukkan metode yang digunakan untuk menguji sifat fisis tanah. Metode tersebut berisi penjelasan lengkap mengenai setiap langkah pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menentukan sifat fisis tanah. Data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium akan diolah lebih lanjut dan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan mengidentifikasi sifat-sifat fisisnya.

2.3 Sifat Mekanis

Sifat mekanis tanah adalah karakteristik perilaku massa tanah ketika dikenai gaya atau tegangan, yang dijelaskan secara teknis melalui aspek mekanis (Kusuma and Mina, 2016). Pengujian sifat mekanis terdiri dari pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) dan konsolidasi.

Tabel 2 Prosedur pengujian sifat mekanis tanah

No	Pengujian	Standar Yang Digunakan
1	Uji Kuat Tekan Bebas (UCT)	SNI 3638:2012
2	Konsolidasi	SNI 2812:2011

Tabel 2 menunjukkan metode yang digunakan dalam pengujian sifat mekanis tanah. Tabel ini berisi penjelasan yang rinci mengenai prosedur pengujian yang dilakukan untuk mengukur karakteristik mekanis tanah, seperti kuat tekan, kuat geser, dan daya dukung.

2.3.1 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Unconfined Compression Test adalah metode laboratorium yang digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah. Kuat tekan bebas tanah adalah tekanan aksial yang diberikan pada benda uji hingga mencapai titik keruntuhan (Anggraini and Saleh, 2021). Uji ini menilai sejauh mana tanah dapat menerima tekanan yang diberikan hingga butiran tanah terpisah dan mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. (Kusuma, Mina and Tanah, 2015). Dalam menentukan kuat tekan bebas (q_u) maka digunakan persamaan:

$$q_u = \frac{P}{A_c} \quad (1)$$

Untuk menentukan kuat geser (S_u) digunakan rumus sebagai berikut:

$$S_u = \frac{1}{2} \times q_u \quad (2)$$

di mana:

- q_u = Kuat tekan bebas (kN/m^2)
- P = Beban yang diberikan (kN)
- A_c = Luas penampang (m^2)
- S_u = Kuat geser tanah (kN/m^2)

2.3.2 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses penyusutan volume secara bertahap pada tanah yang jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat aliran sebagian air pori. Proses ini terus berlangsung hingga kelebihan tekanan air pori yang timbul akibat peningkatan tegangan efektif benar-benar menghilang (Abdul Jalil Abdul, 2016).

Pengujian konsolidasi dilakukan dengan membaca arloji untuk mengukur penurunan tanah setelah diberi beban secara bertahap. Pada akhir pengukuran, beban dikurangi. Selama pengujian, sampel tanah terendam dalam air, dan air ditambahkan secara berkala saat volumenya berkurang di dalam alat uji (Resmawan A, 2016).

Ketika lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dikenai beban, tekanan air pori di dalam tanah akan segera meningkat. Perubahan tekanan air pori ini menyebabkan penurunan tanah. Karena permeabilitas tanah yang rendah, proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi mengacu pada pengurangan volume atau penurunan ruang pori di dalam tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat pembebanan, di mana proses ini dipengaruhi oleh laju keluarnya air pori dari rongga-rongga tanah (Rostikasari, Surjandari and Djarwanti, 2016). Koefisien konsolidasi dihitung menggunakan persamaan atau rumus:

$$C_v = \frac{0,026 \times H_r^2}{t_{50}} \quad (3)$$

di mana:

- C_v = Koefisien konsolidasi (m^2/tahun)
- H_r = Tinggi benda uji rata-rata (mm) = $(H_1 + H_2)/2$
- t_{50} = Waktu 50% konsolidasi (menit)

Untuk menentukan perhitungan parameter pada setiap akhir pembebanan maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\text{Log}\left(\frac{p_b}{p_a}\right)} \quad (4)$$

$$m_v = \frac{\delta e}{\delta p} \times \frac{1000}{1 + e_1} \quad (5)$$

$$k = C_v \times m_v \times 0,31 \times 10^{-9} \quad (6)$$

di mana:

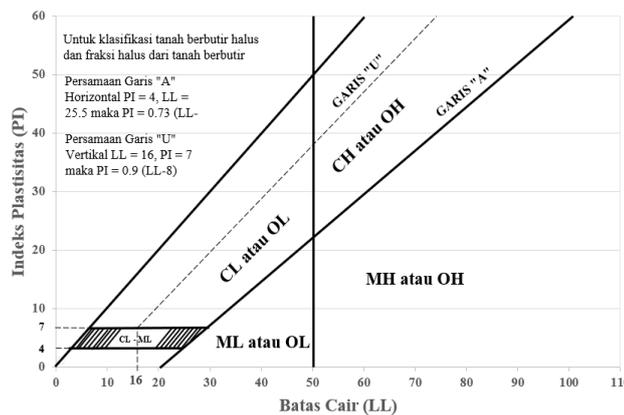
- C_c = Indeks kompresibilitas (tanpa satuan)
- e_a = Nilai banding ruang pada tegangan p_a

- e_b = Nilai banding ruang pada tegangan p_b
- p_a = Nilai banding ruang pada tegangan e_a
- p_b = Nilai banding ruang pada tegangan e_b
- m_v = Koefisien kompresibilitas volume (m^2/MN)
- δe = Perubahan inkremental nilai banding ruang (tanpa satuan)
- δp = Perubahan tekanan yang diterapkan
- e = Nilai banding ruang setelah setiap pembebanan (tanpa satuan)
- k = koefisien permeabilitas (m/detik)

2.4 Klasifikasi Tanah

Sistem Klasifikasi Tanah Terpadu (*Unified Soil Classification System*) biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sifat-sifat indeks dasar seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas (Gunarso *et al.*, 2017).

Klasifikasi tanah bertujuan untuk mengelompokkan tanah-tanah dengan kondisi dan karakteristik yang sama dan memberikan simbol dan nama yang sama. Dua sistem klasifikasi yang paling umum digunakan dalam bidang teknik adalah sistem klasifikasi USCS dan AASHTO (Soehardi, Lubis and Putri, 2017).



Gambar 2 Bagan plastisitas
(Sumber: SNI 6371:2015)

Pengujian laboratorium untuk klasifikasi tanah menggunakan bagan plastisitas yang ditunjukkan pada Gambar 2, yang menentukan karakteristik tanah berdasarkan batas cair dan batas plastis, sehingga memungkinkan identifikasi jenis dan sifat tanah secara akurat

2.5 Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang teknik. Metode ini didasarkan pada pembagian atau mendiskritkan suatu kontinum, seperti struktur atau massa, menjadi elemen-elemen kecil. Pendekatan ini memungkinkan sistem dengan derajat kebebasan tak hingga direpresentasikan sebagai sistem berhingga, sehingga mempermudah analisis. (Nusantar, 2014).

Pemodelan dilakukan pada struktur fondasi dangkal tipe telapak melalui beberapa tahap, yaitu memasukkan dimensi fondasi dan parameter tanah

berdasarkan hasil uji sifat fisis dan mekanis sebelumnya. Data tanah diambil dari titik penelitian terlemah, dengan memilih nilai kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (S_u) terendah dari tiga lokasi. Beban vertikal yang diterapkan adalah 25 kN/m. Pemodelan dilakukan dalam dua variasi: pertama, kedalaman 0,75 m dengan lebar fondasi 0,75 m, 1 m, dan 1,5 m; kedua, kedalaman 1 m dengan lebar 1 m, 1,5 m, dan 2 m. Fondasi memiliki ketebalan 0,25 m. Analisis pemodelan membandingkan beban vertikal maksimum, faktor keamanan, dan perpindahan fondasi.

Pemodelan akan menggunakan model *soft soil*, kekuatan tanah dimodelkan dengan parameter kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ). Sedangkan untuk kekakuan tanah dimodelkan dengan menggunakan parameter lamda λ^* dan kapa κ^* . Untuk menghitung nilai indeks kompresi termodifikasi lamda λ^* dan indeks muai termodifikasi kapa κ^* , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda^* = \frac{Cc}{2,3 \times (1 + e_0)} \quad (7)$$

$$\kappa^* = \frac{2 \times Cr}{2,3 \times (1 + e_0)} \quad (8)$$

di mana:

λ^* = Indeks kompresi termodifikasi

Cc = Indeks kompresibilitas

e_0 = Angka pori

κ^* = Indeks muai termodifikasi

Cr = Indeks muai tanah

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah

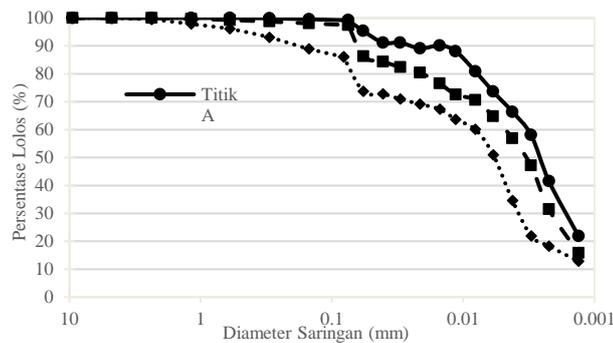
Pengujian sifat fisis tanah di kawasan Tanjung Jaya, Kota Bengkulu, dilakukan untuk mendapatkan parameter kadar air, berat volume, berat jenis, batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bengkulu, diperoleh data sifat fisis tanah dari tiga titik yang berbeda. Parameter-parameter tersebut akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan sifat-sifat fisisnya.

Tabel 3 Hasil pengujian fisis

Pengujian	Titik A	Titik B	Titik C
Kadar Air (%)	67.63	69.93	68.25
Berat Volume (kN/m ³)	19.58	18.23	19.02
Berat Jenis (kg/m ³)	2.65	2.63	2.63
Batas Cair (%)	101.41	96.72	98.25
Batas Plastis (%)	45.36	42.67	43.78
Indeks Plastisitas (%)	56.05	53.85	54.47

Tabel 3 menyajikan hasil pengujian sifat fisis tanah yang dilakukan di tiga titik lokasi di kawasan Tanjung Jaya Kota Bengkulu. Berdasarkan hasil uji distribusi ukuran butir pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa sampel tanah di kawasan Tanjung Jaya Kota Bengkulu yang diambil pada kedalaman 1 m, fraksi tanahnya berbutir halus karena $\geq 50\%$ lolos saringan no. 200 (SNI 6371:2015), yaitu 99,20% pada titik A, 86,10% pada titik B, dan 97,50% pada titik C. Pada uji batas cair, tanah termasuk dalam kategori lempung dan lanau dengan nilai batas cair $\geq 50\%$ yaitu

101,41% pada titik A, 96,72% pada titik B, dan 78,97% pada titik C. Berdasarkan uji berat jenis, tanah termasuk dalam kategori lanau dengan nilai berat jenis berkisar antara 2,63 kg/m³ sampai 2,65 kg/m³. Nilai indeks plastisitas tanah tergolong lempung atau lanau dengan nilai Indeks Plastisitas (PI) sebesar 45,36% di titik A, 36,67% di titik B, dan 41,25% di titik C. Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS), sampel tanah di daerah Tanjung Jaya Kota Bengkulu dinyatakan sebagai lanau elastis dengan indeks plastisitas tinggi (MH).



Gambar 3 Kurva distribusi ukuran butir

3.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Pengujian mekanis tanah adalah serangkaian pengujian yang dilakukan untuk menentukan kekuatan dan stabilitas tanah di bawah beban. Pengujian ini bertujuan untuk memahami reaksi tanah terhadap tekanan atau gaya, yang sangat penting dalam perencanaan dan perancangan struktur seperti fondasi, dinding penahan tanah, dan jalan. Beberapa uji mekanis tanah meliputi uji kuat tekan bebas dan uji konsolidasi.

3.2.1 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Parameter yang diperoleh dari pengujian ini meliputi kuat tekan bebas tanah, kuat geser, tegangan, dan regangan yang terjadi pada tanah saat menerima beban. Uji ini menentukan seberapa besar tanah dapat menahan beban tanpa mengalami keruntuhan.

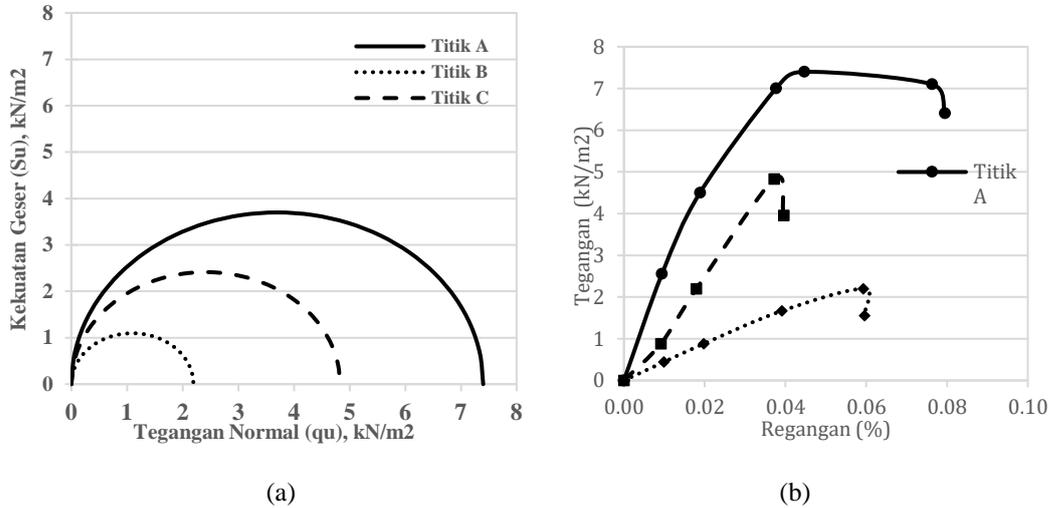
Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan bebas

Parameter	Titik A	Titik B	Titik C
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
Kuat Tekan Bebas (q_u)	7.40	2.19	4.83
Kuat Geser (S_u)	3.70	1.10	2.41

Pada tinjauan mekanis yang disajikan pada Tabel 4, pengujian kuat tekan bebas yang dilakukan pada tiga sampel menggunakan tanah asli diperoleh nilai kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (S_u) pada titik a sebesar 7,40 kN/m² dan 3,70 kN/m², pada titik b sebesar 2,19 kN/m² dan 1,10 kN/m², pada titik c sebesar 4,83 kN/m² dan 2,41 kN/m².

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah dengan kuat tekan tinggi mampu menahan beban lebih lama sebelum runtuh, sedangkan tanah dengan kuat tekan rendah cenderung runtuh segera setelah mencapai beban maksimum (Darmawandi

et al., 2020). Berdasarkan nilai $(S_u) \leq 25 \text{ kN/m}^2$, tanah dikategorikan sebagai lempung atau lanau dengan daya dukung rendah, ketiga sampel tersebut termasuk dalam kategori tanah sangat lunak.



Gambar 4 (a) Lingkaran mohr (b) Hubungan tegangan dan regangan

Gambar 4 Bagian A membandingkan nilai tegangan normal dan kekuatan geser. Sebaliknya, Gambar 4 Bagian B membandingkan nilai tegangan dan regangan di tiga lokasi penelitian di daerah Tanjung Jaya, Kota Bengkulu. Nilai kuat tekan bebas (q_u) terendah ditemukan di titik B, yaitu sebesar $2,19 \text{ kN/m}^2$. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah pada titik B memiliki daya dukung yang paling lemah dibandingkan dengan dua titik lainnya, sehingga tanah pada lokasi ini memerlukan perhatian lebih dalam perancangan fondasi.

3.2.2 Konsolidasi

Hasil uji konsolidasi tanah umumnya mencakup beberapa parameter penting yang digunakan untuk menilai kemampuan tanah dalam mendukung beban dan memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi dari waktu ke waktu. Beberapa parameter utama dari pengujian konsolidasi antara lain Koefisien Konsolidasi (C_v), Koefisien Kompresibilitas (a_v), Indeks Konsolidasi (C_c), Penurunan (S), dan Indeks Pengembangan (C_r) (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

Tabel 5 Hasil pengujian konsolidasi

P (kN/mm ²)	S (mm)			mv (mm ² /the)			Cv (mm ² /thn)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9.64	0.64	1.99	2.80	3.50	11.72	17.28	4.16	3.88	3.71
19.29	1.11	2.66	3.60	2.63	4.10	5.15	29.23	26.90	25.54
38.57	1.75	3.47	5.22	1.86	2.61	5.85	14.54	13.24	11.98
57.86	2.18	3.97	5.58	1.28	1.65	1.34	15.35	13.90	12.66
38.57	2.13	3.92	5.51	0.15	0.16	0.26	19.24	17.42	15.89

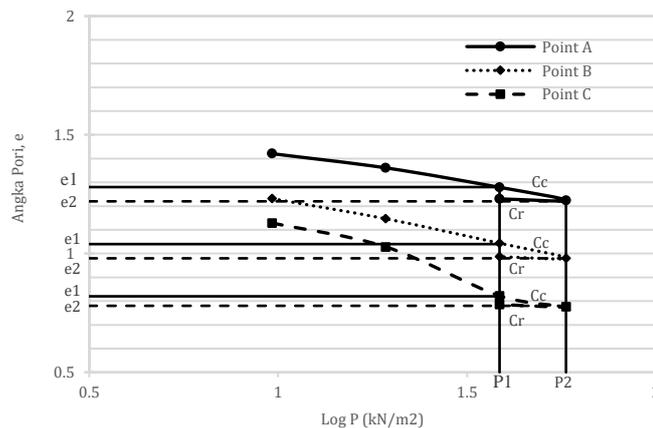
Berdasarkan hasil uji konsolidasi pada Tabel 5, tanah pada titik A mengalami penurunan (S) lebih cepat, yang mengindikasikan bahwa tanah pada titik A memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dua titik lainnya. Nilai

koefisien konsolidasi (C_v) tertinggi juga terdapat pada titik A, hal ini menunjukkan bahwa laju konsolidasi tanah pada titik ini lebih cepat, sehingga tanah dapat mencapai kondisi stabil dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini disebabkan oleh kemampuan tanah di titik A untuk mengeluarkan air dari pori-porinya lebih cepat di bawah beban, yang mempengaruhi perubahan volume dan kestabilan tanah.

Tabel 6 Parameter kurva $e \log P$

Titik	α_v	m_v	C_c	C_r
	(m^2/kN)	(m^2/kN)		
A	0.0028	0.0012	0.3118	0.0355
B	0.0033	0.0016	0.3569	0.0338
C	0.0024	0.0013	0.2605	0.0504

Tabel 6 menunjukkan bahwa kecepatan pemampatan tertinggi terjadi pada titik B. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah pada titik B memiliki rongga pori yang lebih kecil dan permeabilitas air yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan pemampatan yang lebih cepat dibandingkan dengan titik-titik lainnya. Semakin tinggi nilai C_c , semakin besar pemampatan tanah, dan semakin besar nilai α_v , semakin besar pula perubahan volume tanah.



Gambar 5 Kurva $e \log P$

Gambar 5 menampilkan hasil uji konsolidasi pada tiga titik uji dan membandingkan angka pori dan tegangan efektif. Kurva $e \log P$ menunjukkan bahwa tanah pada titik A mengalami konsolidasi lebih cepat daripada titik-titik lainnya, sedangkan titik C memiliki waktu konsolidasi yang paling lambat di antara ketiga sampel.

3.3 Metode Elemen Hingga (FEM)

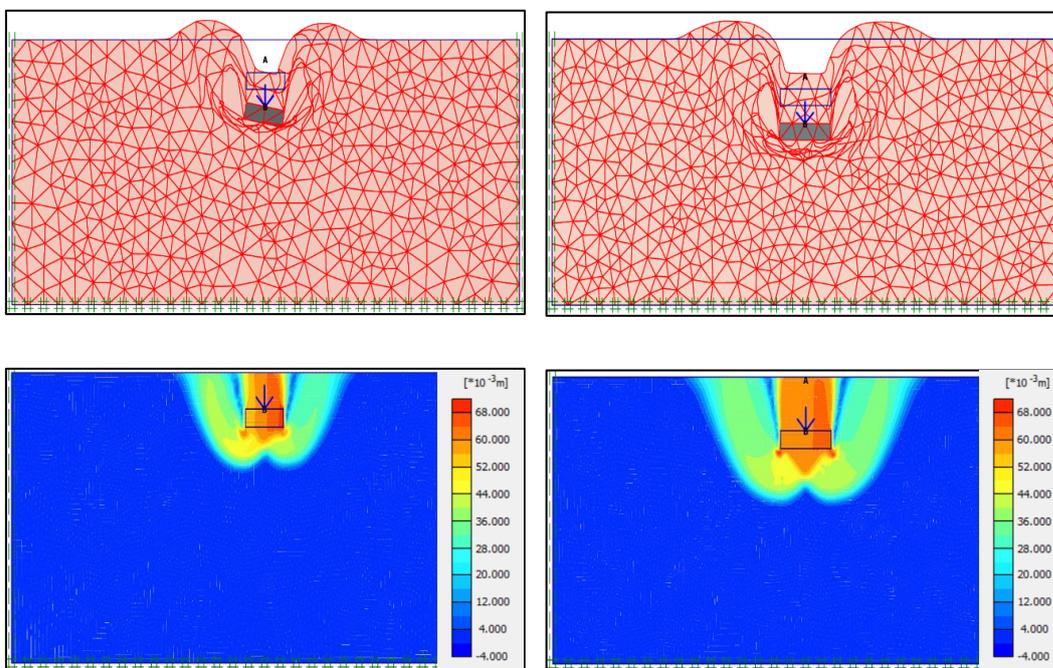
Berdasarkan data uji sifat fisis dan mekanis tanah, pemodelan akan dilakukan dengan menggunakan Plaxis. Pemodelan tersebut berupa struktur fondasi dangkal. Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisa dan mendesain fondasi dangkal dengan lebih akurat dan efisien. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain penentuan geometri model, pemilihan material model, penentuan parameter model, dan perhitungan model (Purwana, Pramugani and Setiawan, 2022).

Tujuan utama dari metode pemodelan ini adalah untuk menilai kekuatan dan

stabilitas fondasi, mengevaluasi perilaku tanah dan struktur, mengoptimalkan desain fondasi, dan mengelola risiko secara efektif. Pemodelan hanya dilakukan pada kondisi tanah yang paling buruk, dengan menggunakan nilai terendah dari kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (S_u). Oleh karena itu, pemodelan fondasi dilakukan pada titik B. Tabel 7 menyajikan data pemodelan fondasi dari pengujian sifat fisis dan mekanis tanah. Tanah di lokasi penelitian pada titik B diklasifikasikan sebagai tanah lanau elastis (MH) berdasarkan hasil uji sifat fisis tanah. Karena uji triaxial tidak dilakukan, nilai sudut geser yang digunakan diasumsikan sebesar 25° (dalam rentang 25° - 30°) sebagai kondisi terburuk untuk jenis tanah lanau elastis (MH) (Hardiyatmo, 1992).

Tabel 7 Parameter pemodelan fondasi dangkal

Parameter	Silt	Concrete	Unit
.Model	Soft Soil Model	Linear ELastic	-
Type	Undrained	Non-Porous	-
γ_{unsat}	18.235	24	kN/m ³
γ_{sat}	18.371	24	kN/m ³
E_{ref}	1140.63	2×10^7	kN/m ³
ν	0.27	0.15	-
c	1.10	-	kN/m ³
ϕ	25	-	°
ψ	0	-	°
e_0	1.48	-	-
C_c	0.3569	-	-
C_r	0.0338	-	-
λ^*	0.0625	-	-
κ^*	0.0118	-	-



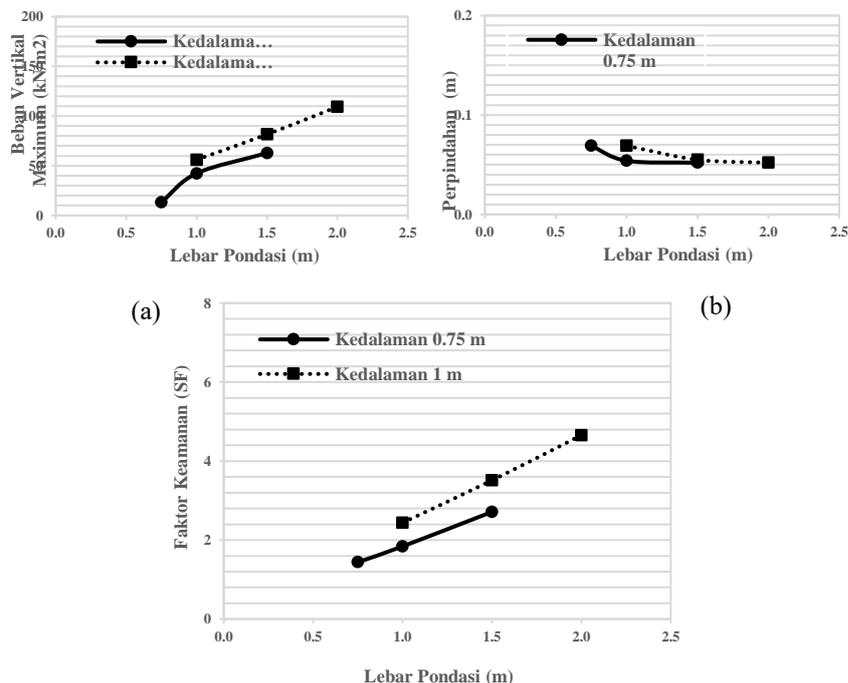
Gambar 6 Total perpindahan (a) dimensi 0.75 m x 0.75 m, (b) dimensi 1 m x 1 m, (c) dimensi 0.75 m x 0.75 m, and (d) dimensi 1 m x 1 m

Gambar 6 menampilkan hasil desain fondasi dangkal dengan menggunakan metode elemen hingga. Gambar ini menunjukkan model keruntuhan dan perpindahan fondasi serta membandingkan model keruntuhan dan perpindahan untuk beberapa variasi fondasi.

Tabel 8 Hasil parameter fondasi dangkal

Kedalaman (m)	Lebar (m)	Faktor Keamanan (SF)	Beban Vertikal Maximum (kN/m ²)	Displacement (m)
0.75	0.75	1.440	13.40	0.069
	1	1.839	42.35	0.054
	1.5	2.713	62.78	0.052
1	1	2.438	56.05	0.069
	1.5	3.511	81.55	0.055
	2	4.654	109.30	0.052

Tabel 8 menunjukkan hasil dari parameter fondasi dangkal yang diuji. Nilai beban vertikal maksimum rata-rata berkisar antara 13,40 kN/m² hingga 109,30 kN/m², dengan faktor keamanan antara 1,440 dan 4,654 dan nilai perpindahan antara 0,052 m dan 0,069 m. Kedalaman dan lebar fondasi secara signifikan mempengaruhi faktor keamanan, beban vertikal maksimum, dan perpindahan, semakin dalam dan lebar fondasi, semakin besar daya dukungnya.



Gambar 7 (a) Hubungan antara kedalaman fondasi dangkal dan beban vertikal, (b) Hubungan antara kedalaman fondasi dangkal dan perpindahan, dan (c) Hubungan antara kedalaman fondasi dangkal dan faktor keamanan

Gambar 7 menunjukkan perbandingan faktor keamanan, beban vertikal maksimum, dan perpindahan yang diterima fondasi untuk setiap variasi kedalaman dan lebar. Grafik tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa kedalaman dan lebar fondasi secara signifikan mempengaruhi daya dukungnya. Semakin besar kedalaman dan lebar fondasi, semakin tinggi daya dukungnya.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian tentang sifat fisis dan mekanis tanah ini bertujuan untuk memahami karakteristik tanah kohesif di kawasan Tanjung Jaya, Kota Bengkulu, serta menerapkan hasilnya dalam desain geoteknik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah di kawasan ini memiliki karakteristik berbutir halus dengan $\geq 50\%$ lolos saringan No. 200, yaitu 99,20% di titik A, 86,10% di titik B, dan 97,50% di titik C. Pengujian batas cair menunjukkan bahwa tanah tergolong dalam kategori lanau dan lempung dengan nilai batas cair $\geq 50\%$. Tanah ini memiliki kadar air yang tinggi, berat jenis berkisar antara 2,63–2,65 kg/m^3 , serta indeks plastisitas yang cukup tinggi, yaitu 53,85% hingga 56,05%. Berdasarkan Sistem Klasifikasi Tanah Terpadu (USCS), tanah ini dikategorikan sebagai lanau elastis dengan indeks plastisitas tinggi (MH). Dari hasil uji mekanis, diketahui bahwa tanah memiliki nilai kohesi yang tinggi sehingga mampu menahan gaya geser, namun daya dukungnya tergolong rendah berdasarkan nilai kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (S_u). Hasil uji konsolidasi juga menunjukkan bahwa tanah di titik B memiliki laju konsolidasi tertinggi, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam desain geoteknik. Hasil implementasi karakteristik tanah kohesif Kawasan Tanjung Jaya pada perancangan fondasi dangkal menunjukkan bahwa semakin dalam dan lebar dimensi fondasi, maka nilai faktor keamanan (SF) meningkat, kapasitas beban vertikal maksimum yang dapat ditopang semakin besar, serta perpindahan yang terjadi semakin kecil

4.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, disarankan agar dalam perencanaan dan konstruksi di daerah Tanjung Jaya, Kota Bengkulu, dilakukan analisis lebih lanjut terkait stabilitas tanah, terutama dalam kondisi beban dinamis atau perubahan kadar air yang dapat mempengaruhi sifat mekanis tanah. Selain itu, pemilihan jenis fondasi perlu disesuaikan dengan karakteristik tanah lanau elastis yang memiliki kohesi tinggi dan sudut geser besar, guna memastikan keamanan dan ketahanan struktur bangunan. Penggunaan fondasi dengan dimensi yang lebih dalam dan lebar dapat menjadi solusi untuk meningkatkan faktor keamanan serta mengurangi perpindahan yang terjadi. Studi tambahan mengenai daya dukung tanah dalam jangka panjang dan pengaruh faktor lingkungan, seperti curah hujan dan drainase, juga perlu dilakukan untuk mengoptimalkan desain geoteknik dan menghindari potensi penurunan tanah yang berlebihan.

Daftar Kepustakaan

- Abdul Jalil Abdul, H.F. (2016) 'Studi Campuran Kapur Pada Tanah Lempung Terhadap Permeabilitas Dan Kecepatan Konsolidasi (Studi Kasus Tanah Desa Cot Girek Kandang Kecamatan Muara Dua Kabupaten Aceh Utara)', *Teras Jurnal*, 6(1), pp. 19–28.
- Agung, I.G. and Istri, A.Y.U. (2014) '(Studi Kasus di Desa Tanah Awu , Lombok Tengah) Fakultas Teknik Universitas Islam Al-Azhar Mataram', 8(2), pp. 15–19.
- Agustina (2019) 'Analisis Respon Seismik Area Sentral Di Kota Bengkulu', *6th ACE Conference*, (April 2020), pp. 891–901.
- Anggraini, M. and Saleh, A. (2021) 'Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Semen Terhadap Kuat Tekan Bebas', *Sainstek (e-Journal)*, 9(2), pp. 108–115. Available at: <https://doi.org/10.35583/js.v9i2.182>.
- Aryanto, M., Suhendra, S. and Amalia, K.R. (2021) 'Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kapur Tohor', *Jurnal Talenta Sipil*, 4(1), p. 38. Available at: <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i1.47>.
- Badan Standardisasi Nasional (2011) *SNI 2812 Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi*.
- Darmawandi, A. *et al.* (2020) 'Karakteristik Tanah Lunak Sumatera Utara Berdasarkan Pengujian Kuat Tekan Bebas', *Semnastek UISU*, 1(2002), pp. 16–20.
- Dewi, A. *et al.* (2022) 'Pengaruh Penambahan Polimer Poliakrilamida Terhadap Daya Dukung Tanah Lokal', *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), pp. 207–216.
- Fahriana, N. *et al.* (2019) 'Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode UsCs (Meurandeh Kota Langsa)', *Jurnal Ilmiah Jurutera*, 6(2), pp. 005–013. Available at: <https://ejournalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/1622/1284>.
- Fathurrozi, F.R. (2016) 'Sifat-Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Timbunan Badan Jalan Kuala Kapuas', *Jurnal POROS TEKNIK*, 8(1), pp. 1–54.
- Firmansyah, D.A. *et al.* (2024) 'Mechanical Properties of Soft Clay Soil Improved with Nanomaterials and Chitosan Biopolymer', *Geotechnical Engineering*, 55(2), pp. 31–37. Available at: <https://doi.org/10.14456/seagj.2024.13>.
- Gunarso, A. *et al.* (2017) 'Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan', *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), pp. 238–245.
- Hardiyatmo, H.C. (1992) 'Mekanisa Tanah II'.
- Kusuma, R.I. and Mina, E. (2016) 'Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah (Studi Kasus : Jalan Carenang Kabupaten Serang)', *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(2). Available at: <https://doi.org/10.36055/jft.v5i2.1255>.
- Kusuma, R.I., Mina, E. and Tanah, S. (2015) 'Abu Sawit Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas', 4.
- Muzaidi, I. *et al.* (2023) 'Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Laterit yang Distabilisasi Menggunakan Beberapa Jenis Pasir Kalimantan', *Buletin Profesi Insinyur*, 6(1), pp. 38–43. Available at: <https://doi.org/10.20527/bpi.v6i1.163>.

- Nusantar, M.A. (2014) Analisa Daya Dukung Fondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Menggunakan Perkuatan Anyaman Bambu Dan Grid Bambu Dengan Bantuan Program Plaxis, Analisa Daya Dukung Fondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Menggunakan Perkuatan Anyaman Bambu Dan Grid Bambu Dengan Bantuan Program Plaxis.
- Onggara, Y.F., Tjandra, D. and Suwono, J.I. (no date) ‘Analisa Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Campuran Portland Cement Dan Fly Ash Untuk Diaplikasikan Pada Bangunan Rumah Tinggal 2 Lantai’, pp. 230–237.
- Purwana, Y.M., Pramugani, A. and Setiawan, W. (2022) ‘Metode Keseimbangan Batas Vs Metode Elemen Hingga Untuk Analisis Fondasi Dangkal Menerus’, (January).
- Resmawan A (2016) Pengaruh Campuran Pasir Dan Limbah Karbit Terhadap Parameter Penurunan Tanah Lempung Menggunakan Uji CBR dan Konsolidasi Dengan Pemasangan Laboratorium.
- Rostikasari, A., Surjandari, N.S. and Djarwanti, N. (2016) ‘Korelasi Indeks Kompresi (C C) Dengan Parameter Kadar Air Alamiah (W N) Dan Indeks Plastisitas (Ip)’, 0055, pp. 570–575.
- Saleh, A. and Anggraini, M. (2019) ‘Metoda Perbaikan Tanah Lunak Dengan Penambahan Pasir’, *Prosiding Seminar Nasional Pakar*, pp. 2–5. Available at: <https://doi.org/10.25105/pakar.v0i0.4141>.
- Sanniyah, S.S. *et al.* (2024) ‘Pengaruh Nano-Material Dan Biopolimer Terhadap Karakteristik Tanah Lunak Untuk Desain Perkerasan Jalan’, *Jurnal HPJI*, 10(1), pp. 53–64. Available at: <https://doi.org/10.26593/jhpji.v10i1.7648.53-64>.
- SNI 6371:2015 (2015) ‘Tata Cara Pengklasifikasian Tanah Untuk Keperluan Teknik Dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah’.
- Soehardi, F., Lubis, F. and Putri, L.D. (2017) ‘Stabilisasi Tanah Dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman’, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)*, pp. 54–60.