

Research Article

Karakteristik Tanah pada Kawasan Sawah Lebar Baru Kota Bengkulu dan Aplikasinya dalam Perancangan Geoteknik

Fianco Fakhri Rifqi¹, Lindung Zalbuin Mase^{1*}, Fepy Supriani¹, Rena Misliniyati¹, Hardiansyah¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

Received: 6 December 2024, Accepted: 15 April 2025, Published: 7 June 2025

Abstract

Soil is an essential and indispensable material in civil engineering and building design, affecting various construction works. The primary function of soil is to support the construction load built on it, so the soil must be able to carry the load. Each type of soil has different characteristics, so it requires special handling, both physically and mechanically. This research aims to determine the soil's physical and mechanical properties and its application using the finite element method in the Sawah Lebar Baru area, Bengkulu City. The Sawah Lebar Baru area is currently developing a new residential area. Based on the tests conducted, the soil in the area is classified as silt with high plasticity (MH). The tests include physical tests such as moisture content, volume weight, specific gravity, grain size analysis, and Atterberg limits, as well as mechanical tests such as free compressive strength test, consolidation test, and direct shear test. The results of this study provide information on the type, characteristics, physical and mechanical properties of soil, as well as its application in geotechnical design. The foundation design test results showed that the maximum vertical load was 32,900 kN/m², and the safety factor value was 3.047 for the 0.5 m depth variation. The maximum vertical load value in the foundation with a depth variation of 0.75 m is 67,500 kN/m², and the most significant safety factor value is 5.909. For the depth variation of 1 m, the maximum vertical load value is 118,050 kN/m², and the safe factor value is 9.864.

© 2025 published by Sriwijaya University

Keywords: Cohesive soil, physical properties, mechanical properties, finite element method.

1. PENDAHULUAN

Tanah adalah material yang terdiri dari butiran mineral, bahan organik, dan sedimen yang berada di atas batuan dasar, dengan cairan dan gas di antara partikelnya [1]. Tanah sangat penting dalam konstruksi, berfungsi sebagai penopang untuk bangunan, jalan, dan beban lalu lintas. Perencanaan konstruksi, harus memperhatikan klasifikasi dan sifat tanah karena dapat mempengaruhi daya dukung tanah terhadap beban. Tanah tidak selalu memiliki sifat yang baik untuk semua jenis konstruksi, sehingga perilakunya perlu dipertimbangkan dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek. Tanah bermanfaat tidak hanya untuk manusia, tetapi juga bagi hewan dan tumbuhan, digunakan sebagai tempat tinggal dan sumber penghidupan. Tanah dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan untuk berbagai struktur. Tanah terdiri dari bagian padat dan rongga yang berisi air dan udara, kadar airnya dapat diukur untuk mengetahui konsistensi dan sifat-sifat tanah. Pengujian kadar air dilakukan sesuai standar yang berlaku untuk memastikan ketepatan hasil.

Dalam ilmu mekanika tanah, istilah “tanah” mencakup berbagai jenis material, mulai dari tanah yang lengket hingga material berukuran kerikil. Secara umum, tanah tersusun atas tiga unsur utama : partikel tanah, air, dan udara yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel tersebut yang disebut pori-pori. Ketika tanah berada dalam kondisi sangat kering, seluruh pori-porinya tidak mengandung air sama sekali, namun kondisi ini jarang ditemui pada tanah yang masih berada dalam keadaan alami di lapangan. Air hanya dapat sepenuhnya dihilangkan dari tanah jika tindakan khusus diambil untuk tujuan tersebut [2].

Sistem klasifikasi tanah merupakan metode pengelompokkan tanah berdasarkan sifat dan karakteristik yang serupa, dimana setiap kelompok diberi nama untuk memudahkan pengenalan dan perbedaan dari jenis tanah yang lain. Tujuan dari klasifikasi ini untuk menilai kesesuaian tanah untuk penggunaan tertentu serta menyediakan informasi informasi tentang kondisi tanah disuatu wilayah lain dalam bentuk data dasar. Proses klasifikasi bertujuan

untuk mengkategorikan tanah menjadi beberapa kategori dengan kondisi dan karakteristik yang mirip, kemudian diberi simbol atau nama seragam [3]. Klasifikasi tanah dilakukan untuk mengidentifikasi jenis tanah dan mendapatkan gambaran mengenai sifat-sifat tanah dan untuk menentukan jenis tanah diperlukan data dari hasil pengujian distribusi butiran dan batas-batas pengujian [4].

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu provinsi di pulau sumatera yang ber ibu kota di kota Bengkulu. Proses pembangunan di Kota Bengkulu hingga saat ini masih belum menunjukkan kemajuan yang berarti. Pembangunan yang dilakukan cenderung bersifat sektoral dan belum terintegrasi secara menyeluruh untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Beberapa permasalahan yang dihadapi antara lain belum tuntasnya pembangunan berbagai sarana dan prasarana, di mana sebagian belum dapat difungsikan secara optimal, kondisi infrastruktur dasar yang mengalami banyak kekurangan serta kerusakan belum maksimalnya pemanfaatan dan pemeliharaan terhadap fasilitas yang telah tersedia.

Kelurahan Sawah Lebar Baru adalah salah satu kelurahan di Kota Bengkulu yang terletak di Kecamatan Ratu Agung, dengan wilayah yang sebagian besar didominasi oleh permukiman penduduk. Kawasan Sawah Lebar Baru memiliki jumlah penduduk sebanyak 9.724 jiwa [5]. Wilayah Sawah Lebar Baru Kota Bengkulu menarik untuk diteliti karena pada saat ini kawasan tersebut sebagai kawasan pengembangan hunian baru dimana pada saat ini semakin sedikit lahan untuk pembangunan infrastruktur di Kota Bengkulu. Pentingnya Penelitian ini Mengenai Karakteristik Tanah di Kawasan Sawah Lebar Baru.

Kawasan Sawah Lebar Baru menghadapi berbagai permasalahan geoteknik yang dapat memengaruhi kestabilan tanah dan keamanan infrastruktur. Salah satu isu utamanya adalah rendahnya daya dukung tanah yang bisa menyebabkan penurunan permukaan (*settlement*) dan kerusakan bangunan jika tidak ditangani dengan tepat. Kondisi geologi dan hidrologi di wilayah ini juga berperan dalam kestabilan lereng, daya serap air tanah, serta potensi longsor dan erosi.

Kurangnya pemahaman tentang karakteristik tanah di daerah ini dapat menimbulkan berbagai kendala pembangunan, seperti retakan pada bangunan, jalan ambles, hingga risiko longsor yang membahayakan

keselamatan warga. Oleh karena itu, penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik tanah sangat penting untuk menyediakan data akurat sebagai dasar perencanaan teknik sipil dan perbaikan tanah yang sesuai.

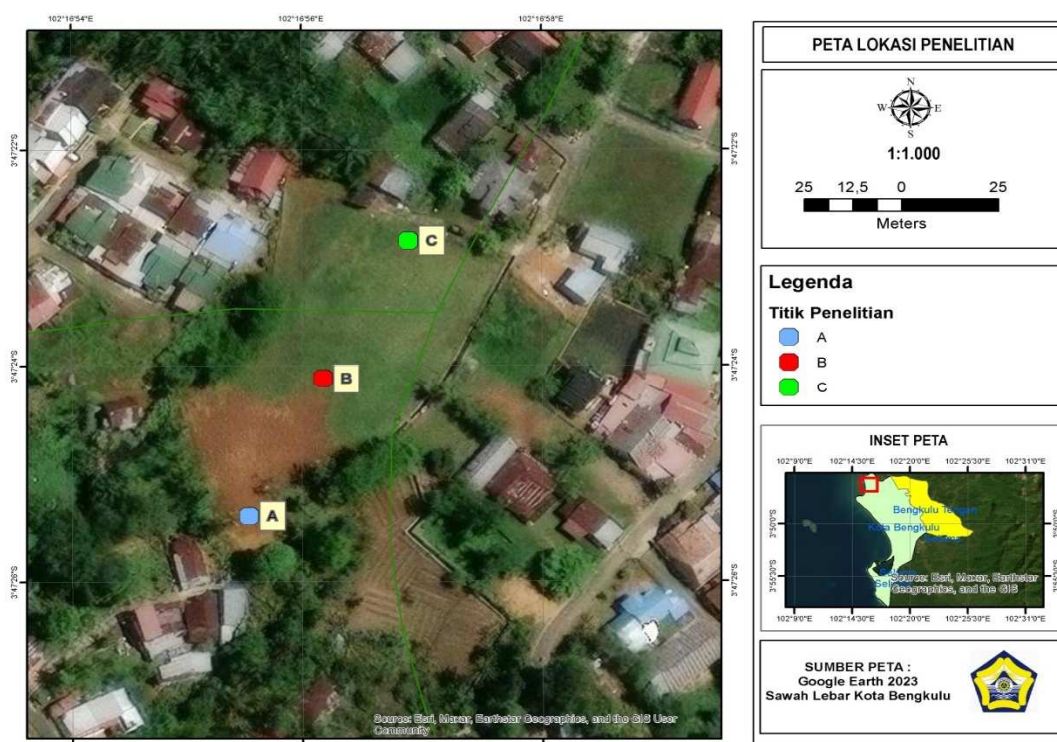
Melalui penelitian ini, diharapkan pemerintah, pengembang, dan masyarakat dapat lebih memahami kondisi geoteknik di kawasan tersebut, sehingga keputusan pembangunan dapat dilakukan secara lebih bijak, aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah yang dilakukan dalam beberapa pengujian tanah dan bagaimana mengimplementasikan ke dalam perancangan geoteknik.

2. METODE

Metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah di daerah Sawah Lebar Baru Kota Bengkulu adalah dengan menguji sifat fisis dan mekanis kemudian diimplementasikan pada perancangan geoteknik. Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yakni pengambilan sampel di lapangan pada kedalaman 1 m, pengujian laboratorium, serta analisis terhadap hasil yang diperoleh. Tahap persiapan mencakup pengumpulan contoh tanah dari lokasi penelitian dan penyiapan peralatan yang dibutuhkan. Kegiatan lapangan dilakukan dengan mengambil sampel tanah yang utuh (tidak terganggu) dari kedalaman 1m.

Setelah sampel tanah berhasil dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan dan pengujian di laboratorium. Tujuan dari tanah ini adalah untuk mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis tanah. Pengujian sifat fisis meliputi penentuan kadar air, berat volume, berat jenis, analisa distribusi, serta batas-batas *Atterberg*. Sementara itu untuk pengujian sifat mekanis dilakukan uji kuat tekan bebas dan konsolidasi. Data yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium kemudian dianalisa lebih lanjut guna menarik kesimpulan dari penelitian.

Untuk lokasi pengambilan sampel tanah di lakukan di lokasi Sawah lebar Kota Bengkulu. Terdapat 3 titik lokasi pengujian di tempat yang sama masing-masing jarak antara satu titik dengan titik lainnya yaitu 10 meter per titik lokasi seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di Sawah Lebar Kota Bengkulu.

Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium mencakup pengujian sifat fisis dan mekanis tanah. Sifat fisis tanah berkaitan dengan karakteristik yang mempengaruhi ekosistem serta penggunaannya dalam bidang pertanian, konstruksi, dan sektor lainnya. Sementara itu, sifat mekanis tanah menggambarkan kekuatan tanah dalam mendukung kestabilan serta kemampuan menahan beban, baik yang bersifat statis maupun dinamis. Beberapa sifat fisis tanah antara lain tekstur, tingkat kepadatan, kohesi, kadar air, warna, dan tingkat porositas.

Metode yang diterapkan dalam perbaikan tanah lunak melibatkan pengujian sifat-sifat tanah. Pengujian ini dilakukan di laboratorium untuk memperoleh karakteristik tanah [6]. Uji fisis yang dilakukan meliputi :

1) Kadar Air

Kadar air adalah rasio antara berat air yang ada dalam tanah dengan berat tanah kering. Kadar air ini dapat digunakan untuk menghitung berbagai parameter sifat tanah [2].

2) Berat Volume Tanah

Berat volume tanah adalah ukuran-ukuran yang menunjukkan berat tanah per satuan volume. Hal ini penting untuk memahami kepadatan tanah dan berpengaruh pada berbagai sifat fisis tanah, seperti stabilitas, drainase, dan kemampuan tanah untuk mendukung beban. Berat volume menunjukkan kepadatan tanah.

Semakin tinggi kepadatan suatu tanah, semakin besar berat volume tanah tersebut [7].

3) Berat jenis

Berat jenis tanah adalah rasio antara berat butir tanah dengan berat air suling pada volume dan suhu yang sama. Mengetahui berat jenis tanah sangat penting untuk berbagai perhitungan dalam mekanika tanah [8]. Selain mencari kadar air berat jenis tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume partikel padat tanah dengan berat volume air.

4) Analisa Ukuran Butir

Analisa ukuran butir tanah adalah proses untuk menentukan distribusi ukuran partikel-partikel dalam tanah. Termasuk salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengukur persentase ukuran butir tanah dalam sampel yang tertahan pada saringan no. 200. Pada proses analisa saringan, digunakan beberapa saringan dengan ukuran bukaan yang bervariasi, yang disusun dari ukuran terbesar di bagian atas hingga ukuran yang terkecil di bagian bawah (saringan no. 200, no. 100, no. 60, no. 40, no. 20, no. 8, dan no.4) [2]. Dari hasil pengujian ini, diperoleh berat untuk setiap diameter saringan yang selanjutnya dihitung untuk mendapatkan persentase butir yang lolos saringan [9].

5) Atterberg Limits

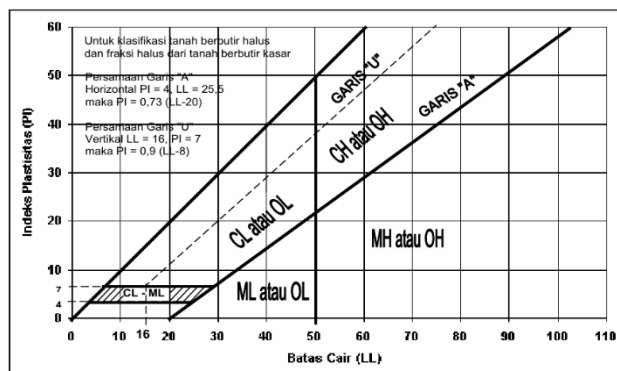
Salah satu aspek penting dari tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya yang dihasilkan oleh keberadaan partikel mineral lempung.

Plastisitas merujuk pada kemampuan tanah untuk beradaptasi dengan perubahan bentuk tanpa retak atau hancur, meskipun volumenya tetap konstan. Tanah berbutir halus lebih banyak ditentukan oleh sifat plastisitasnya, sehingga pengelompokkan dilakukan berdasarkan ukuran butir dan sifat plastisitas [10].

Tanah dengan plastisitas tinggi cenderung memiliki daya dukung yang kurang baik dan sangat peka terhadap perubahan yang terjadi.

Atterberg Limits merupakan cara untuk mengklasifikasi jenis tanah berbutir halus untuk mengetahui *engineering properties* dan *engineering behavior* dari tanah tersebut. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat sifat fisis dan tingkat plastisitas tanah.

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai nilai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika tanah mempunyai nilai PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering [11].



Gambar 2. Grafik Plastisitas digunakan sebagai acuan pengklasifikasian jenis-jenis tanah (Sumber : SNI 6371 : 2015)

Gambar 2 menyajikan grafik yang digunakan sebagai acuan untuk mengklasifikasikan jenis tanah. Berdasarkan hasil data dari pengujian sifat fisis tanah, tanah pada lokasi penelitian ini tergolong lanau dengan tingkat plastisitas tinggi (MH). Maka dari itu perlunya metode perbaikan tanah *Preloading* atau timbunan tanah. *Preloading* adalah metode perbaikan tanah untuk mempercepat pemadatan tanah dasar karena dengan adanya beban tambahan rongga pada tanah dasar akan memadat. Maka demikian untuk konstruksi yang akan dibangun dengan kondisi tanah jenis ini akan mengurangi penurunan [12].

Dapat dilihat pada Tabel 1 memuat informasi mengenai metode yang digunakan dalam pengujian sifat fisis tanah. Metode tersebut mencakup penjelasan lengkap mengenai prosedur pengujian

yang diterapkan dalam penelitian ini untuk mengkaji sifat fisis tanah.

Tabel 1. Standar pengujian sifat fisis tanah

Pengujian	Metode
Kadar Air	SNI 1965:2008
Berat Volume	SNI 1973:2008
Berat Jenis	SNI 1964:2008
Analisa Ukuran Butir	SNI 3423:2008
<i>Atterberg Limits</i>	SNI 1966:2008

Uji mekanis yang dilakukan meliputi :

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

Kuat tekan bebas merupakan besarnya tekanan aksial yang diterima oleh sampel tanah saat mengalami keruntuhan atau ketika regangan aksialnya mencapai 20% [13]. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mengetahui besarnya kuat tekan bebas pada sampel tanah yang memiliki sifat kohesif, baik itu sampel yang terganggu, telah dicetak ulang, maupun yang dipadatkan. Standar ini berfungsi sebagai acuan bagi teknisi laboratorium dalam melaksanakan pengujian kuat tekan bebas pada jenis tanah kohesif [14].

Uji kuat tekan bebas bertujuan untuk mengukur kekuatan tekan tanah secara cepat tanpa adanya tekanan lateral dari lingkungan sekitarnya. Nilai yang dihasilkan dari pengujian ini mencerminkan seberapa besar kemampuan tanah dalam menahan beban tanpa mengalami kegagalan atau keruntuhan struktur. Dalam karakteristik tanah, salah satu parameter penting yang perlu diperhatikan adalah kekuatan geser, karena pemahaman terhadap parameter ini sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan yang berkaitan dengan kestabilan tanah. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah adalah pengujian kuat tekan bebas. Kekuatan tekan bebas sendiri diartikan sebagai tekanan aksial per satuan luas yang diterima sampel saat terjadi keruntuhan atau saat regangan aksial mencapai 20%. Pengujian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah dalam kondisi alami maupun sampel buatan [13]. Dengan kata lain, pemadatan tanah merupakan proses peningkatan kerapatan partikel tanah melalui pengurangan jarak antarpartikel, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan volume tanah [14].

2) Uji konsolidasi

Uji konsolidasi adalah prosedur untuk mengetahui sifat konsolidasi tanah yang berkaitan dengan penurunan volume tanah akibat pemberian beban. Pengujian ini sangat penting untuk mempelajari bagaimana tanah akan berperilaku di bawah beban dalam periode waktu tertentu. Tujuan dari pengujian konsolidasi adalah untuk memperoleh perubahan nilai angka pori, koefisien pemampatan, indeks pemampatan, dan indeks ekspansi pada sampel tanah asli serta pada sampel tanah yang diberi tambahan bahan stabilator [15]. Proses ini disebut sebagai konsolidasi primer secara total [16].

Berikut adalah acuan untuk pengujian mekanis tanah:

Tabel 2. Metode uji mekanis

Pengujian	Metode
Kuat Tekan	SNI 3638:2012
Konsolidasi	SNI 2812:2011

Tabel 2 menyajikan informasi mengenai metode yang diterapkan untuk pengujian sifat mekanik tanah. Metode tersebut mencakup penjelasan rinci tentang prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menganalisis sifat mekanik tanah.

Pemodelan dan Pengaplikasian

Metode elemen hingga memiliki kemampuan untuk menganalisis berbagai aspek, seperti kestabilan struktur, faktor keamanan, deformasi, serta analisis terhadap konstruksi. Metode ini umumnya diterapkan dalam proyek-proyek konstruksi, seperti pembangunan timbunan, dinding penahan tanah, dan terowongan [16]. Penerapan metode perhitungan matematis untuk memperoleh nilai yang mendekati sering digunakan dalam bidang rekayasa geoteknik [17]. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang menghasilkan analisis lebih akurat dibandingkan dengan metode konvensional dalam menghitung tegangan dan deformasi pada massa tanah. Secara umum, metode ini mampu memodelkan perilaku tegangan-regangan nonlinier, kondisi nonhomogen, serta perubahan geometri yang terjadi selama proses konstruksi timbunan [18].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak dari data input metode elemen hingga terhadap kapasitas dukung dan penurunan pondasi, berdasarkan perencanaan analitis serta hasil pengujian yang dilakukan melalui pemantauan di lapangan [19].

Berikut ini tahap pemodelan pondasi dengan metode elemen hingga

1. Parameter Input Data Pemodelan Pondasi

Parameter atau data yang digunakan diperoleh dari hasil uji fisis dan mekanis tanah yang telah diproses sebelumnya. Data tanah yang diambil hanya berasal dari titik penelitian dengan konsolidasi terlemah, yaitu berdasarkan nilai kuat tekan bebas dan kuat tekan geser terkecil di antara tiga titik lokasi penelitian untuk menghasilkan hasil yang lebih konservatif. Data ini akan digunakan dalam pemodelan pondasi dengan metode elemen hingga, yang selanjutnya akan dianalisis untuk pondasi telapak

2. Pemodelan dilakukan dengan variasi kedalaman dan lebar pondasi yang berbeda untuk menganalisis perbedaan serta membandingkan faktor keamanan, beban vertikal maksimum yang dapat diterima, dan efisiensi ekonomi dari pondasi yang dimodelkan. Pada desain pertama, pondasi dirancang dengan kedalaman 0,5 m, dengan variasi lebar pondasi 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m. Desain kedua menggunakan pondasi dengan kedalaman 0,75 m, dengan variasi lebar pondasi 0,75 m, 1 m, dan 1,5 m. Desain ketiga menggunakan pondasi dengan kedalaman 1 m, dengan variasi lebar 1 m, 1,5 m, dan 2 m. Hasil pemodelan pondasi ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar, dengan ketebalan 0,25 m.

3. Pemodelan pondasi akan dianalisis dengan menggunakan aplikasi yang menerapkan metode elemen hingga. Analisis ini meliputi perhitungan faktor keamanan, beban vertikal maksimum yang dapat diterima oleh pondasi, perpindahan, dan efisiensi ekonomi pondasi. Proses analisis akan dilakukan melalui aplikasi untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

4. Hasil pemodelan pondasi akan dipresentasikan dalam bentuk tabel, gambar, dan grafik. Data yang disajikan akan mencakup faktor keamanan, beban vertikal maksimum yang dapat ditanggung oleh pondasi, model keruntuhan, serta perpindahan yang terjadi pada pondasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

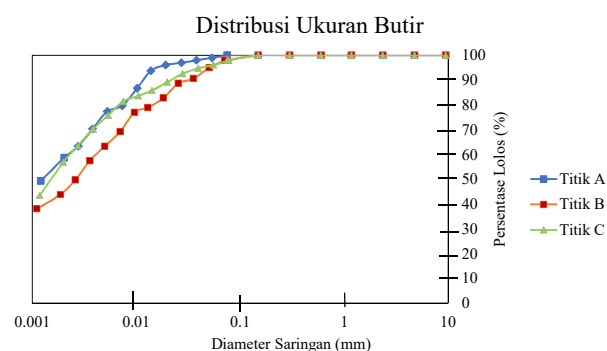
Uji Sifat Fisis Tanah

Uji sifat fisis tanah merupakan langkah awal yang penting dalam analisis dan perancangan proyek geoteknik, mencakup karakteristik seperti tekstur, kepadatan, plastisitas dan kadar air. Sifat-sifat ini berpengaruh langsung terhadap perilaku tanah di bawah beban dan interaksinya dengan lingkungan, sehingga penting untuk menentukan kemampuan tanah dalam mendukung struktur seperti pondasi dan infrastruktur lainnya. Pada pengujian sifat fisis tanah didapatkan hasil dari uji laboratorium yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji fisis

Pengujian	Titik A	Titik B	Titik C
Kadar Air (%)	89,11	87,27	87,58
Berat Volume (KN/m ³)	17,94	17,94	17,94
Berat Jenis (kg/m ³)	2,65	2,63	2,63
Batas Cair (%)	92,97	90,02	99,65
Batas Plastis (%)	58,45	55,22	52,08
Indeks Plastisitas (%)	44,52	46,80	47,57

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa persentase kadar air tertinggi berada di titik A sebesar 89,11%. Terdapat perbandingan yang tidak begitu besar dikarenakan untuk lokasi pengambilan tanah sedalam 1 m dan jarak antara titik sejauh 10 m. Hal ini dapat berpengaruh karena kedalam pengambilan sampel tanah juga berpengaruh terhadap kadar air tanah. Berat jenis tanah (G_s) merupakan metode untuk menentukan nilai berat jenis tanah, yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah berdasarkan nilai tersebut (tanah yang diuji termasuk tanah lanau organik karena nilainya di antara 2,62-2,68). Pada penelitian yang dilakukan Haryadi (2019), tanah yang tergolong lempung berkisar antara rentang 2,58-2,68. Selain itu, hasil uji batas cair mengindikasikan bahwa tanah pada kawasan tersebut tergolong dalam klasifikasi (OH) yaitu lempung organik [20], sedangkan untuk batas cair, batas plastis dan *Atterberg Limits* yaitu mencakup nilai Indeks Plastisitas (PI) adalah rentang kadar air di mana tanah masih menunjukkan sifat plastis.



Gambar 3. Distribusi ukuran butir di titik A, B, C.

Dapat dilihat pada Gambar 3, analisa ukuran butir di titik A, B, C lolos saringan No. 200 dengan presentase diatas $\geq 50\%$ yaitu 100%. Untuk menguji analisa distribusi ukuran butir diperlukan satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Sejumlah saringan dengan ukuran lubang yang berbeda diatur dari yang terbesar di atas hingga yang terkecil di bawah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sari (2016) hasil gradasi yang lolos sebanyak 94,01 % dari saringan 200 berdasarkan sistem klasifikasi USCS tanah tersebut dikategorikan sebagai tanah (CH) yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Sementara itu menurut klasifikasi AASHTO tanah tersebut tergolong kelompok A-7-5 [21].

Uji Sifat Mekanis Tanah

Uji sifat mekanis tanah adalah serangkaian pengujian yang dilakukan untuk menentukan karakteristik fisis dan mekanis tanah.

1) Uji Kuat Tekan Bebas (UCT)

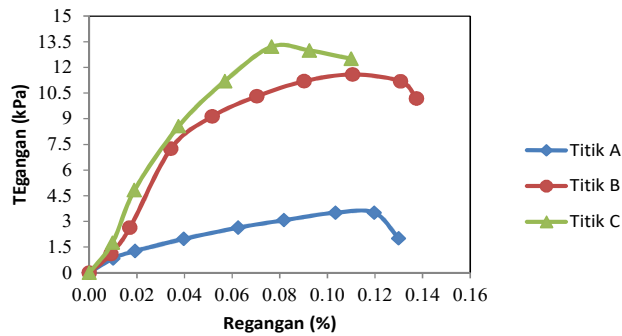
Tabel 4. Hasil uji kuat tekan bebas

Parameter	Titik A	Titik B	Titik C
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
Kuat Tekan Bebas (q_u)	3,51	11,58	13,21
Kuat Geser (S_u) (°)	1,75	5,79	6,60

Pada Tabel 4 didapatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) dan nilai kuat geser (S_u). Nilai tersebut didapat dengan menguji sampel tanah yang diberikan tekanan vertikal. Uji kuat tekan bebas (UCT) adalah metode penting untuk menganalisis sifat mekanis tanah, terutama terhadap tanah lunak. Uji ini bertujuan menentukan kemampuan tanah menahan beban tanpa keruntuhan yang krusial dalam perancangan pondasi dan struktur.

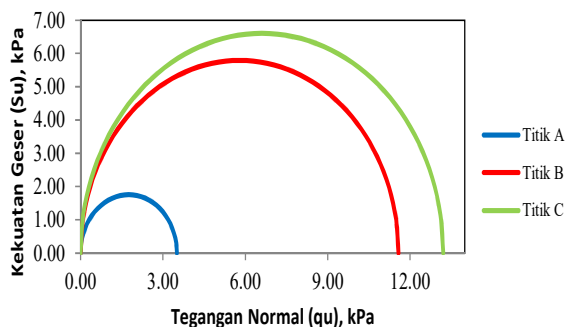
Dalam material tanah, salah satu parameter yang perlu diperhatikan adalah kekuatan geser tanah.

Pemahaman mengenai kekuatan geser sangat krusial untuk mengatasi permasalahan terkait stabilitas tanah. Salah satu metode pengujian untuk menentukan parameter kekuatan tanah adalah uji kuat tekan bebas, yang dilakukan pada tanah baik dalam kondisi asli maupun yang telah terganggu.



Gambar 4. Hubungan tegangan dan regangan

Berdasarkan pada Gambar 4. Grafik hubungan regangan dan tegangan beda kuat tekan bebas pada 3 sampel di atas yang menggunakan tanah asli didapatkan hasil kuat tekan bebas (q_u) pada titik A yaitu sebesar 3.51 kN/m², titik B 11,58 kN/m², titik C 13.21 kN/m², sedangkan nilai kuat geser (S_u) pada titik A sebesar 1.75 kN/m², titik B 5.79 kN/m², titik C 6.60 kN/m². Kondisi kekuatan seperti ini mengindikasikan bahwa tanah pada lokasi tersebut termasuk tanah lunak sehingga diperlukan perbaikan tanah, seperti pemadatan agar tanah yang akan dibangun sebuah struktur bangunan menjadi kuat untuk menopang struktur yang berat. Untuk membangun struktur yang berat diperlukan kepadatan tanah yang memiliki jarak antar partikel yang kecil.



Gambar 5. Lingkaran Mohr

Gambar 5 menunjukkan perbandingan diagram lingkaran Mohr yang menggambarkan perbedaan nilai tegangan normal dan kekuatan geser pada tiga titik lokasi penelitian di wilayah Sawah Lebar.

2) Pengujian Konsolidasi

Konsolidasi merupakan proses berkurangnya volume tanah secara bertahap pada tanah yang jenuh sempurna dan memiliki tingkat permeabilitas rendah,

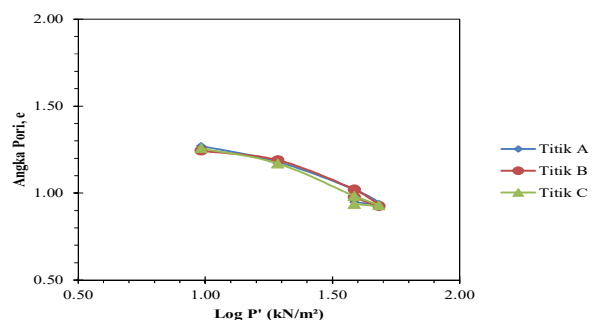
akibat keluarnya sebagian air dari pori-pori tanah. Ketika beban diberikan pada lapisan tanah lempung yang jenuh dengan ketebalan awal tertentu, maka akan terjadi tambahan tegangan vertikal yang mengakibatkan perubahan volume tanah seiring dengan perubahan nilai angka pori.

Gambar 4 dan 5 merupakan hasil pengolahan data pada uji konsolidasi pada 3 titik pengujian yang terlihat tidak ada perbedaan yang signifikan. Terlihat kurva menurun setiap ditambahkan beban. Hal tersebut dikarenakan perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori tanah yang awalnya merupakan tanah kohesif dan berbutir halus menjadi lebih berbutir.

Tabel 5. Hasil uji konsolidasi

P (kN/mm ²)	S (mm)			Mv (mm ² /thn)			Cv (mm ² /thn)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9,64	1,27	1,24	2,26	10,55	11,06	10,36	3,91	3,90	3,92
19,29	1,18	1,19	2,17	4,31	2,59	4,18	27,10	27,40	27,18
38,57	1,02	1,02	1,98	4,09	4,32	4,90	13,02	13,11	12,89
48,22	0,94	0,92	1,93	4,30	5,12	2,86	13,56	13,56	13,59
38,57	0,95	0,97	1,94	0,41	2,66	0,41	17,01	17,35	17,04

Tabel 5 hasil pengolahan data uji konsolidasi pada tiga titik penelitian. Dari uji konsolidasi ini didapatkan data keefisien konsolidasi, kadar penurunan, koefisien kompresibilitas volume. Berdasarkan hasil pengujian konsolidasi pada tiga titik lokasi, tanah pada titik B mengalami penerimaan yang lebih cepat, dikarenakan pada titik B mempunyai kepadatan yang lebih besar dibanding sampel lainnya. Tanah pada titik B lebih cepat mendapatkan kondisi stabilnya dalam waktu lebih singkat, hal ini disebabkan karena pada tanah sampel B dapat mengeluarkan air di porinya ketika diberi beban dan berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 5, diketahui bahwa tanah di titik B lebih mudah mengalami kompresi atau pemadatan dibandingkan sampel lainnya pada beban yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di titik B memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel lainnya.



Gambar 6. Kurva e vs $\log P$ hasil uji konsolidasi

Dari Gambar 6 dapat dilihat hasil olahan uji konsolidasi yang menunjukkan hubungan tegangan

efektif dan angka pori data. Gambar 6 menyajikan perbandingan kurva e-log P dari ketiga sampel tanah berdasarkan hasil uji konsolidasi. Kurva tersebut menggambarkan bahwa tanah pada sampel A, B, dan C mengalami proses konsolidasi yang relatif serupa dengan waktu konsolidasi yang hampir sama. Nilai-nilai yang ditunjukkan oleh kurva e-log P pada Gambar 6 dapat dilihat secara rinci pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Parameter Olahan Kurva e log P

Sampel	α_v (m ² /kN)	m_v (m ² /k/N)	Cc	Cr
A	0,0083	0,0027	0,8299	0,0790
B	0,0098	0,0032	0,9806	0,5229
C	0,0097	0,0039	0,6229	0,0784

Tabel 6 di atas menyajikan perbandingan nilai koefisien pemampatan, koefisien perubahan volume, indeks pemampatan dan indeks pemampatan kembali. Pada Tabel 6 dapat dilihat sampel B memiliki kecepatan pemampatan yang paling tinggi. Hal ini tercermin dari nilai koefisien dan indeks pemampatannya, yang menunjukkan bahwa tanah pada sampel B memiliki pori-pori yang lebih besar serta laju aliran air yang lebih lambat. Akibatnya, tanah di lokasi B cenderung mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan dua sampel lainnya.

Pemodelan dan Pengaplikasian Data

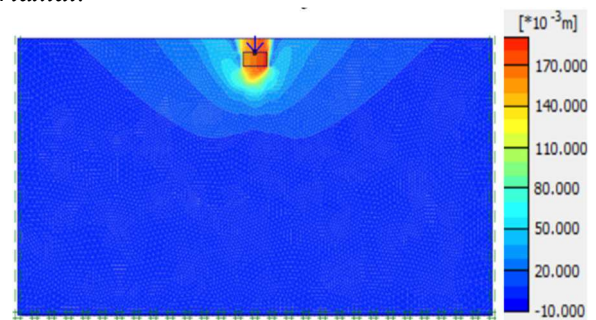
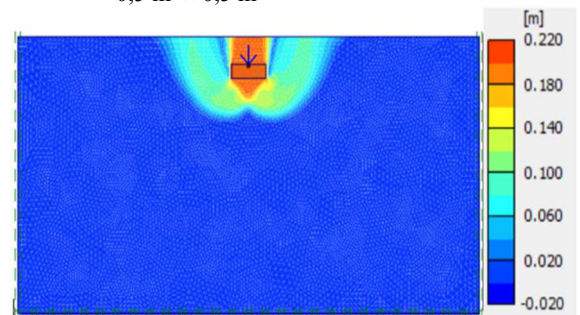
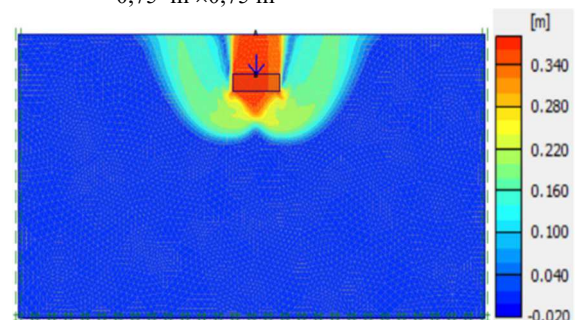
Dalam penelitian ini, pendekatan metode elemen hingga digunakan untuk memodelkan serta menghitung penurunan dan kapasitas dukung pada pondasi dangkal..

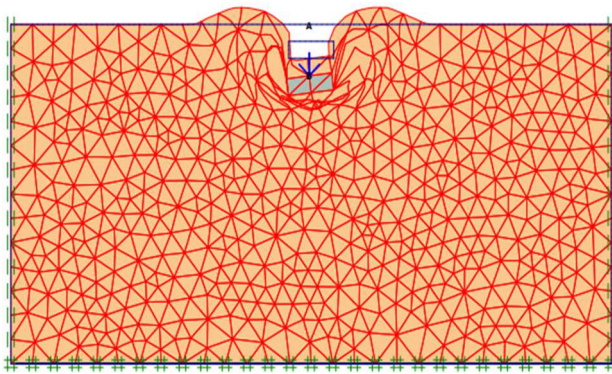
Berikut adalah pemodelan dan pengaplikasian data dengan menggunakan elemen hingga. Pemodelan dilakukan hanya pada kondisi terburuk tanah, berdasarkan nilai kuat tekan bebas (q_u), kuat geser (S_u), kohesi (c), dan sudut geser (ϕ) terkecil dari ketiga titik lokasi pengujian. Oleh karena itu, pemodelan pondasi hanya dilakukan pada lokasi titik A saja dengan data sebagai berikut.

Tabel 7. Data tanah untuk pemodelan pondasi

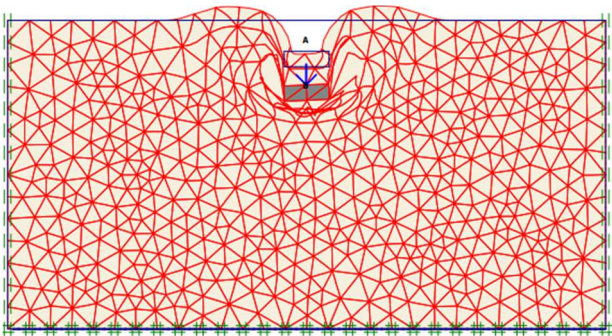
Parameter	Silt	Concrete	Unit
Model	Tanah	Elastis	-
	Lunak	Linier	
Tipe	Tidak	Tidak	-
	Terdrainase	Berpori	
γ_{unsat}	18,84	24	kN/m ³
γ_{sat}	18,86	24	kN/m ³
E_{ref}	585,938	2×10^7	kN/m ³
ν	0,35	0,15	-
c	1,75		kN/m ²
ϕ	25		°
ϕ	0		°

Tabel 7 memuat data hasil pengujian sifat fisis dan mekanis tanah yang digunakan sebagai dasar dalam pemodelan pondasi menggunakan metode elemen hingga. Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam proses analisis pemodelan. Nilai kohesi (c) diperoleh melalui uji tekan bebas (UCT) dengan mengambil nilai kohesi terendah. Gamma unsat adalah berat satuan tanah pada kondisi tidak jenuh, sedangkan gamma sat adalah berat tanah untuk satuan jenuh. Gama itu sendiri adalah berat volume tanah, yaitu berat per satuan volume, dengan mengambil nilai kohesi terendah. Karena pengujian triaxial tidak dilakukan pada uji fisis tanah, maka sudut geser dalam yang digunakan diasumsikan sebesar 25° untuk jenis tanah dengan plastisitas tinggi. Berikut adalah data hasil pemodelan pondasi menggunakan metode elemen hingga. Dari hasil uji sifat fisis tanah didapatkan tanah di lokasi Sawah Lebar adalah lanau elastis karena tidak dilakukan uji *triaxial*.

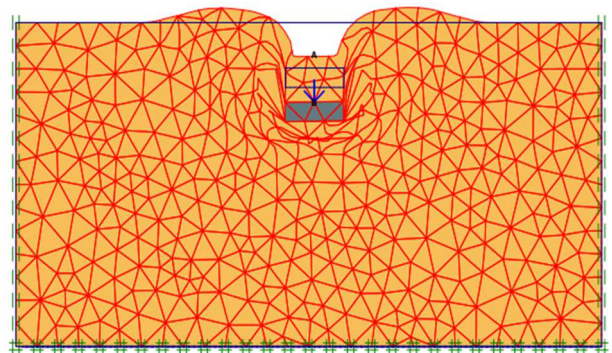
Gambar 7. Total *displacement* pondasi dengan diameter 0,5 m × 0,5 mGambar 8. Total *displacement* pondasi dengan diameter 0,75 m × 0,75 mGambar 9. Total *displacement* pondasi dengan diameter 1 m × 1 m



Gambar 10. Model keruntuhan pondasi dengan diameter 0,5 m x 0,5 m



Gambar 11. Model keruntuhan pondasi dengan diameter 0,75 m x 0,75 m



Gambar 12. Model keruntuhan pondasi dengan diameter 1 m x 1 m

Gambar 7-12 menampilkan hubungan antara kedalaman pondasi dengan beban vertikal maksimum berdasarkan hasil analisis menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi kedalaman dan lebar pondasi secara signifikan memengaruhi nilai faktor keamanan serta beban vertikal maksimum yang mampu ditahan oleh pondasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain pondasi yang digunakan berada dalam kategori aman, merujuk pada besarnya nilai faktor keamanan dan kapasitas beban vertikal maksimum. Meskipun demikian, desain ini cenderung tidak efisien karena faktor keamanan pondasi dangkal idealnya berada di atas 1, dengan nilai optimal sekitar 1,5. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa rancangan pondasi ini terbilang

kurang ekonomis, mengingat tanah di lokasi tersebut sudah memiliki daya dukung yang cukup memadai untuk menopang struktur bangunan di atasnya.

Gambar 7, 8, dan 9 menunjukkan total *displacement* pondasi dangkal. Total *displacement* tanah merujuk pada pergeseran dan perubahan posisi tanah akibat adanya beban tekanan vertikal dan horizontal. Pada bidang geoteknik, istilah ini digunakan untuk menggambarkan sejauh mana tanah mengalami deformasi yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti beban bangunan, perubahan kadar air atau aktifitas seismik.

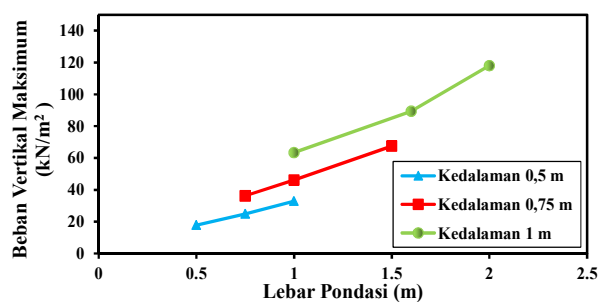
Dapat dilihat pada Gambar 10 - 12 model keruntuhan pondasi dengan kedalaman dan lebar yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa lebar dan kedalaman pondasi sangat mempengaruhi daya dukung tanah untuk perancangan pondasi tapak.

Tabel 8 di bawah ini menyajikan perbandingan nilai faktor keamanan, beban vertikal maksimum, dan perpindahan (*displacement*) untuk setiap variasi kedalaman serta lebar pondasi. Dari data tersebut, terlihat bahwa kedalaman dan lebar pondasi sangat memengaruhi besar kecilnya nilai faktor keamanan, kapasitas beban vertikal maksimum, serta besarnya pergeseran. Secara umum, semakin besar kedalaman dan lebar pondasi, maka nilai faktor keamanan cenderung meningkat dan beban vertikal maksimum yang dapat ditopangpun bertambah. Hal ini menunjukkan peningkatan daya dukung pondasi. Selain itu, bertambahnya dimensi pondasi juga menyebabkan penurunan pondasi menjadi lebih kecil, sehingga daya dukungnya menjadi lebih baik.

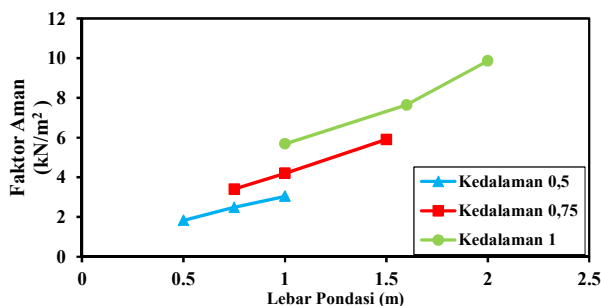
Maka dari itu, pada tanah dengan kondisi tersebut dibutuhkan teknik penguatan tanah seperti *preloading* atau penimbunan tanah sebelum konstruksi utama dibangun.

Tabel 8. Hasil desain pondasi

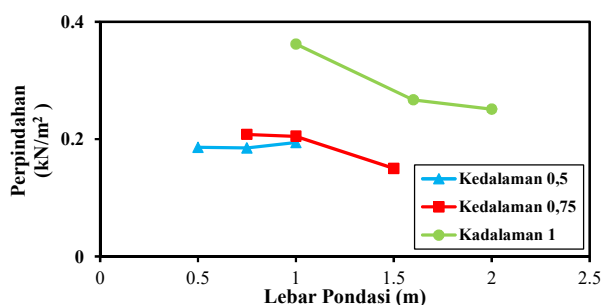
Variasi Kedalaman (m)	Variasi Lebar (m)	Faktor Aman (<i>SF</i>)	Beban Vertikal Maksimum (kN/m ²)	Deformasi (m)
0,5	0,5	1,829	17,880	0,186
0,5	0,75	2,477	24,930	0,185
0,5	1	3,047	32,900	0,194
0,75	0,75	3,403	36,180	0,208
0,75	1	4,197	46,200	0,205
0,75	1,5	5,909	67,500	0,150
1	1	5,685	63,350	0,362
1	1,5	7,644	89,410	0,267
1	2	9,864	118,050	0,251



Gambar 13. Grafik hubungan kedalaman pondasi dan beban maksimum



Gambar 14. grafik hubungan kedalaman pondasi dan beban maksimum



Gambar 15. Grafik hubungan kedalaman pondasi dan beban maksimum

Gambar 13-15 memperlihatkan grafik perbandingan antara nilai faktor keamanan, beban vertikal maksimum dan perpindahan (*displacement*) yang diterima oleh pondasi pada setiap variasi kedalaman dan lebar pondasi. Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kedalaman dan lebar pondasi memiliki pengaruh besar terhadap daya dukungnya. Semakin dalam dan lebar pondasi, semakin tinggi pula daya dukung yang dapat diterimanya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian ini dan analisis data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah di kawasan ini memiliki karakteristik berbutir

halus dengan $\geq 50\%$ lolos saringan No. 200 yaitu 100%. Jenis tanah pada tiga titik lokasi di kawasan Sawah lebar, Kecamatan Ratu Agung Kota Bengkulu dapat dikategorikan sebagai tanah lanau elastis dengan tingkat plastisitas yang tinggi (MH).

- 2) Berdasarkan hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah pada ketiga titik lokasi pengujian, tanah di daerah ini menunjukkan kemampuan daya dukung yang mampu menahan gaya geser dan daya dukungnya tergolong rendah. Hal ini tercermin dari nilai kuat tekan bebas (q_u), kuat geser (S_u), kohesi (c), serta sudut geser yang tinggi.
- 3) Berdasarkan analisa data dan hasil pemodelan pondasi, ditemukan bahwa kedalaman dan lebar pondasi memiliki pengaruh signifikan terhadap faktor keamanan dan beban vertikal maksimum yang dapat diterima oleh pondasi maka dari itu perlu dilakukan *preloading* atau penimbunan tanah.

REFERENSI

- [1] A. Junior, K. Oktovian, B. A. Sompie, and S. Balamba, "Pengaruh Bahan Campuran Arang Tempurung Terhadap Konsolidasi Sekunder Pada Lempung Ekspansif," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 8, pp. 543–553, 2015.
- [2] U. Sultan, and A. Tirtayasa, "Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah (Studi Kasus Jalan Carenang KabupatenSerang)," vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] Y. Amran and R. Sadiya, "Analisis Peningkatan Sifat Mekanis Tanah Dasar menggunakan Campuran Abu Limbah Ampas Tebu dan Semen," *Teknol. Apl. Konstr.*, vol. 9, no. 1, pp. 74–83, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.ummmetro.ac.id/index.php/tapak/article/view/1046>
- [4] E. E. Hangge, D. W. Karels, and A. O. Kapitan, "Pengaruh Karakteristik Tanah Dasar Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan," *J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 155–168, 2022.
- [5] K. JASMINE, "Penambahan Natrium Benzoat Dan Kalium Sorbat Dan Kecepatan Pengadukan Sebagai Upaya Penghambatan Reaksi Inversi Pada Nira Tebu", pp. 1–19, 2014.
- [6] A. Saleh and M. Anggraini, "Metoda Perbaikan Tanah Lunak Dengan Penambahan Pasir," *Pros. Semin. Nas. Pakar*, pp. 2–5, 2019, doi: 10.25105/pakar.v0i0.4141.
- [7] K. D. Jayanti and I. Mowidu, "Hubungan antara kadar fraksi pasir, fraksi klei, bahan organik dan berat volume terhadap kadar air tersedia pada tanah sawah di kabupaten poso," *J. AgroPet*, vol. 12, no. 1, pp. 6–10, 2019.
- [8] Astrid Fadhilah, Muhammad Abdul Ghony, and Roihan Akmal, "Analisis Pengujian Berat Jenis Tanah Sampel Batu Lempung dan Batu Pasir Pada Nomor Titik Bor RA04 PT. Bukit Asam, Tbk," *J. Ilm. Tek. dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 19–23, 2023, doi: 10.62278/jits.v1i1.4.
- [9] A. Dzunnurain dan H. K. Artati, "Hubungan kandungan butiran halus tanah dan analisa distribusi butiran tanah terhadap potensi likuefaksi," vol. 2, no. 2, pp. 417–425, 2023.
- [10] M. Faridlah, A. Tohari, and M. Iryanti, "Hubungan Parameter Sifat Magnetik Dan Sifat Keteknikan Tanah Pada Tanah Residual Vulkanik," *Wahana Fis.*, vol. 1, no. 1, p. 54, 2016, doi: 10.17509/wafi.v1i1.4532.

- [11] H. N. Siska and Y. A. Yakin, "Karakterisasi sifat fisis dan mekanis tanah lunak di Gedebage," *J. Tek. Sipil Itenas*, vol. 2, no. 4, pp. 44–55, 2016, [Online]. Available: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1143>
- [12] A. Al Hanif, "Perencanaan Timbunan dan Perbaikan Tanah dengan Menggunakan Metode Preloading dan Geotextile Encased Stone Column Pada Tanah Organik di Jalan Tol Trans Sumatera Pematang Panggang - Kayu Agung," pp. 1–93, 2020.
- [13] R. I. Kusuma and E. Mina, "Stabilitas Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang)," *Fondasi J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, 2017, doi: 10.36055/jft.v5i1.1251.
- [14] A. Putra Pratama Situmorang, O. Hendri, and M. Ikhwan Yani, "Korelasi Nilai Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Dengan Nilai California Bearing Ratio (Cbr) Tanah Lempung," *J. Ilm. Tek. Sipil TRANSUKMA*, vol. 4, no. 1, pp. 53–60, 2021, doi: 10.36277/transukma.v4i1.91.
- [15] D. P. Kusumastuti and I. S. Sepriyanna, "Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Dan Abu Sekam Pada Tanah Lunak Berdasarkan Uji Konsolidasi," *Forum Mek.*, vol. 8, no. 2, pp. 63–70, 2019, doi: 10.33322/forummekanika.v8i2.882.
- [16] M. A. Nusantara, "Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah," *Analisa Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Menggunakan Perkuatan Anyaman Bambu Dan Grid Bambu Dengan Bantu. Progr. Plaxis*, vol. 2, no. 3, pp. 1–302, 2014.
- [17] Y.W.B. Tarigan, R.Roesyanto, G.C.R Hasibuan, R.Subakti "Analisis Pasang Surut Air Dan Konsolidasi Belawan Phase I Dengan Plaxis 2D Dan 3D" vol. 3, no. 9, pp. 1–23, 2016.
- [18] A. Waruwu and T. H. Nasution, "Analisis Penurunan Tanah Dengan Timbunan yang Diperkuat Grid Bambu dan Tiang Beton (Analysis Of Settlement Of Peat Soil With Embankment Reinforced Of Bamboo Grid And Concrete Pile)," *J. Jalan Jemb.*, vol. 37, no. 1, pp. 15–27, 2020.
- [19] G. Tampubolon, R. Roesyanto, and G. C. R. Hasibuan, "Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga," *J. Syntax Admiration*, vol. 5, no. 4, pp. 1249–1266, 2024, doi: 10.46799/jsa.v5i4.1102.
- [20] D. Haryadi, M. Mawardi, and M. R. Razali, "Analisis Lereng Terasering Dalam Upaya Penanggulangan Longsor Metode Fellenius Dengan Program Geostudio Slope," *Inersia, J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 53–60, 2019, doi: 10.33369/ijts.10.2.53-60.
- [21] P.Sari, "Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Desa Nambuhan Kecamatan Purwodadi Kabupaten Grobongan" vol. 4, no. 1, pp. 1–23, 2016.

