

## Uji Karakteristik Tanah Kohesif Pada Kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu dan Implementasinya untuk Desain Pondasi Dangkal Berdasarkan Metode Elemen Hingga

Krisna Ramadani<sup>1</sup>, Rena Misliniyati<sup>1</sup>, Hardiansyah<sup>1</sup>, Lindung Zalbuin Mase<sup>1,\*</sup>, Khairul Amri<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu, Bengkulu<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [lmase@unib.ac.id](mailto:lmase@unib.ac.id)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	19 November 2024	<i>This research identifies the characteristics of cohesive soil in the Dwifa Residence Housing area of Bengkulu City, and its application to the design of shallow pile structures. The research began with testing the physical and mechanical properties of the soil, and classified the soil in this area as elastic silt (MH). Pile modeling was carried out based on the results of the soil physical and mechanical properties tests, using the finite element method at the point with the smallest free compressive strength (<math>q_u</math>), and shear strength (<math>S_u</math>) values from the three points of the research location, for depths of 0 m, 0.5 m, and 1 m along with width variations, for more conservative. The design results showed the largest safety factor value of 8.144, the largest maximum vertical load value of 174 kN/m<sup>2</sup>, and a settlement of 0.144 m for a 1 m depth and 2 m pile width.</i>
Diperbaiki	16 Januari 2025	
Disetujui	28 Februari 2025	
Keywords: Cohesive Soil, Elastic Silt, Finite Element Method, Pile		
Kata kunci: Tanah Kohesif, Lanau Elastis, Metode Elemen Hingga, Pondasi		<b>Abstrak</b> Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah kohesif pada kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu, dan pengaplikasiannya pada desain struktur pondasi dangkal tipe telapak. Penelitian diawali dengan uji sifat fisis dan mekanis tanah, dan diklasifikasikan tanah pada kawasan ini merupakan lanau elastis (MH). Pemodelan pondasi dilakukan berdasarkan hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah, menggunakan metode elemen hingga di titik dengan nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ), dan kuat geser ( $S_u$ ) terkecil dari ketiga titik lokasi penelitian, untuk kedalaman 0 m, 0,5 m, dan 1 m beserta variasi lebarnya, agar lebih konservatif. Hasil desain menunjukkan nilai faktor aman terbesar 8,144, dengan nilai beban vertikal maksimum terbesar 174 kN/m <sup>2</sup> , dan penurunan 0,144 m untuk kedalaman 1 m dan lebar pondasi 2 m.

### 1. Pendahuluan

Tanah dari sudut pandang teknik merupakan kumpulan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat dan bahan-bahan organik yang telah lapuk serta air dan udara yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut [1]. Tanah merupakan bagian penting pada suatu konstruksi, karena berfungsi sebagai pondasi yang akan memikul beban yang ada di atasnya [2]. Tanah diklasifikasikan menjadi dua yaitu tanah kohesif dan non kohesif. Tanah kohesif merupakan jenis tanah lunak, terdiri dari butiran-butiran kecil seperti lempung dan lanau yang memiliki daya lekat. Tanah kohesif memiliki sifat gaya geser rendah, permeabilitas rendah, pemampatan tinggi, dan daya dukung rendah sehingga memerlukan stabilisasi tanah [3]. Sedangkan tanah non kohesif tidak memiliki garis batas antara keadaan plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air contohnya yaitu pasir, kerikil dan sebagainya. Tanah non kohesif

dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai satu cairan kental [4].

Pondasi dangkal adalah jenis pondasi yang biasanya digunakan untuk mendukung struktur bangunan ringan atau bangunan dengan beban yang tidak terlalu berat [5]. Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Pondasi ini umumnya digunakan untuk bangunan rumah, garasi, pagar, atau struktur bangunan kecil lainnya. Pemodelan pondasi yang baik sangat diperlukan untuk menghindari kegagalan konstruksi ataupun sebagainya. Pemodelan pondasi dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik tanah tempat akan dibangunnya konstruksi, oleh karena itu sebelum memodelkan pondasi perlu dilakukan pengujian karakteristik tanah terlebih dahulu.

Kota Bengkulu merupakan ibu kota dari Provinsi Bengkulu yang terus mengalami peningkatan infrastruktur secara signifikan [6]. Adanya penelitian karakteristik sifat

fisis dan mekanis tanah di Kota Bengkulu sangat penting untuk pertimbangan pembangunan infrastruktur. Tanah di Bengkulu cenderung memiliki formasi geologi yang beragam dan kepadatan yang bervariasi [7]. Tanah kohesif umumnya lebih padat, sedangkan tanah berpasir memiliki kepadatan yang lebih rendah. Kepadatan ini mempengaruhi daya dukung tanah untuk struktur bangunan. Hal ini dapat mempengaruhi struktur pondasi dan stabilitas bangunan.

Wilayah perumahan Dwifa Residence Kelurahan Bentiring Permai Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu, menarik untuk diteliti karena lokasi ini merupakan lokasi perumahan yang kian pesat mengalami pembangunan, baik rumah maupun jalan dan infrastruktur lainnya. Tanah pada kawasan ini secara umum memiliki tekstur yang halus, berwarna kuning kecoklatan, dan cenderung lengket ketika basah. Pada kondisi kering, tanah pada kawasan ini dapat mengeras, namun tetap memiliki elastisitas yang memungkinkan perubahan bentuk ringan tanpa retak. Pada musim hujan tanah pada kawasan ini juga sering tergenang oleh air, akibat memiliki kemampuan drainase yang terbatas, sehingga menyebabkan air cenderung terserap lebih lama. Karakteristik tanah merupakan faktor penting yang menjadi pertimbangan dan harus dilakukan sebelum struktur direncanakan dalam pekerjaan pondasi agar tidak terjadi kegagalan konstruksi. Daya dukung tanah yang kurang baik menyebabkan kesulitan dalam melakukan pembangunan konstruksi di atas lapisan tanah dan tentunya membutuhkan perhatian khusus [2].

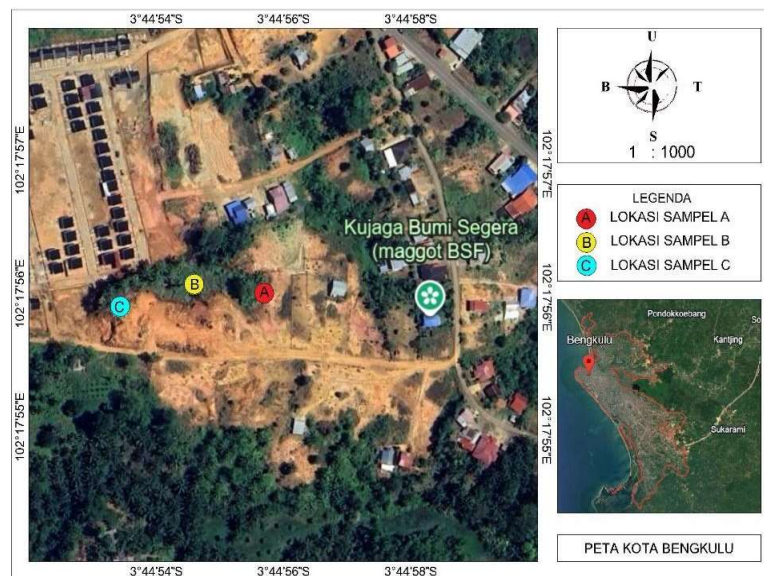
Penyelidikan tanah sangat penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah di suatu daerah [8]. Kawasan Perumahan Dwifa Residence ini sangat perlu dilakukan pengujian karakteristik tanah, untuk mengetahui sifat fisis, sifat mekanis, dan daya dukung tanah pada kawasan ini. Analisis struktur pondasi berdasarkan nilai faktor aman, beban vertikal maksimum yang dapat diterima dan keekonomisan pondasi akan dilakukan berdasarkan metode elemen hingga supaya lebih akurat. Penelitian ini sangat penting dikarenakan kian pesatnya pembangunan pada kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu ini..

## 2. Metode

Metode penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan lapangan, pekerjaan laboratorium, dan analisis hasil penelitian [9]. Kegiatan persiapan meliputi analisa studi literatur penelitian terdahulu [10]. Kemudian mempersiapkan bahan berupa sampel tanah dari lokasi penelitian, serta persiapan alat-alat yang dipakai [9]. Pekerjaan lapangan adalah pengambilan sampel tanah di lokasi berupa sampel tanah tak terganggu [8].

### Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel tanah diambil menggunakan *Handbore* pada lokasi penelitian kawasan perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu. Tanah diambil sebanyak 2 tabung pada tiap titik penelitian dengan kedalaman 1 m, dimana terdapat tiga titik lokasi penelitian. Berikut peta lokasi pengambilan sampel tanah yang akan diteliti.



**Gambar 1.** Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Tanah dasar berfungsi sebagai pemikul beban sehingga diperlukan analisis terkait sifat fisis dan sifat mekanisnya [8].

**Gambar 1** pada halaman sebelumnya merupakan gambar peta lokasi dari titik pengambilan sampel tanah yang akan di

uji. Sampel tanah yang telah diambil, selanjutnya dibawa menuju laboratorium untuk dilakukan pemeriksaan dan pengujian [8]. Pemeriksaan dan pengujian ini bertujuan untuk memeriksa karakteristik sifat fisik dan sifat mekanis tanah yang diambil [9].

### Pengujian di Laboratorim

Pengujian dilaboratorium meliputi uji sifat fisis dan mekanis tanah. Sifat fisis tanah adalah sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah yang ada [11]. Sedangkan, sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis [11]. Berikut metode pengujian sifat fisis dan mekanis tanah yang akan dilakukan:

#### 1. Uji Sifat Fisis

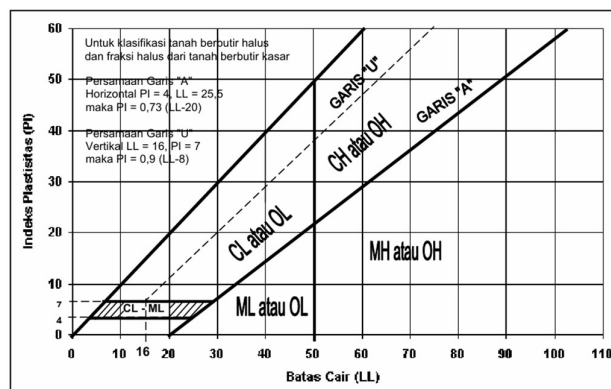
Pengujian sifat fisis tanah yang akan dilakukan meliputi kadar air, berat volume, berat jenis, analisa ukuran butir tanah dan uji *atterberg limits* [12]. Berikut uraian metode dan penjelasan mengenai pengujian uji sifat fisis tanah sebagai berikut :

- a. Kadar air
- b. Berat Volume
- c. Berat Jenis
- d. Analisa Ukuran Butir
- e. *Atterberg Limits*

**Tabel 1.** Metode Pengujian Uji Fisis

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

**Tabel 1** di atas merupakan data metode yang digunakan untuk pegujian sifat fisis tanah. Metode di atas mencakup uraian lengkap mengenai tata cara pengujian yang dilakukan untuk pengujian sifat fisis tanah pada penelitian ini. Data uji sifat fisis tanah yang diperoleh dari pengujian di laboratorium akan diolah untuk mendapatkan parameter seperti kadar air, berat jenis, gradasi ukuran butir, indeks plastisitas, batas cair, dan batas plastis yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan karakteristik fisisnya. Pengklasifikasian jenis tanah pada lokasi penelitian untuk kawasan Perumahan Dwifa Residence ini akan dilakukan berdasarkan metode SNI 6371 : 2015.



**Gambar 2.** Grafik Plastisitas Untuk Pengklasifikasian Jenis Tanah

**Gambar 2** merupakan grafik yang akan digunakan untuk pengklasifikasian jenis tanah, berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian sifat fisis tanah.

#### 2. Uji Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis tanah yang dilakukan meliputi, pengujian kuat tekan bebas tanah (*Unconfined Compression Test*), dan konsolidasi. Berikut uraian metode dan penjelasan mengenai pengujian sifat mekanis tanah sebagai berikut :

##### a. Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Uji kuat tekan bebas ini dilakukan untuk mengetahui *unconfined compression strength (UCS)* [13]. Nilai kuat tekan bebas menentukan sejauh mana tanah dapat menahan beban tanpa mengalami kegagalan.

##### b. Uji Konsolidasi

Pengujian konsolidasi adalah proses untuk menentukan sifat konsolidasi tanah, yang berhubungan dengan penurunan volume akibat penerapan beban [14]. Parameter ini termasuk indeks kompresibilitas tanah, koefisien konsolidasi, koefisien kelulusan air, dan koefisien kompresibilitas, serta korelasi antara penurunan kumulatif dan waktu [15].

**Tabel 2.** Metode Pengujian Uji Mekanis

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

**Tabel 2** di atas merupakan data metode yang digunakan untuk uji sifat mekanis tanah. Metode di atas mencakup uraian lengkap mengenai tata cara pengujian yang dilakukan untuk pengujian sifat mekanis tanah pada penelitian ini.

### Pengaplikasian Data dan Pemodelan

Dari data uji sifat fisis dan mekanis tanah yang telah diperoleh akan dilakukan pemodelan menggunakan metode elemen hingga [16]. Metode elemen hingga merupakan

prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat berbasis aplikasi [17]. Pemodelan yang dilakukan berupa struktur pondasi dangkal tipe telapak untuk perumahan pada lokasi penelitian. Pemodelan dengan aplikasi ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang pondasi telapak dengan lebih akurat dan efisien [18]. Tujuan utama dari pemodelan menggunakan metode ini ialah untuk evaluasi kekuatan dan stabilitas pondasi, analisis perilaku tanah dan struktur, desain pondasi yang efisien, dan pengelolaan risiko [19]. Berikut tahap pemodelan pondasi dengan metode elemen hingga.

#### 1. Input Parameter Data Pemodelan Pondasi

Parameter atau data yang digunakan diambil dari hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah yang telah diolah sebelumnya. Data tanah yang diambil hanya pada salah satu titik penelitian dengan kondisi terlemah, dengan nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ), kuat geser ( $S_u$ ), terkecil dari ketiga titik lokasi penelitian supaya lebih konservatif, dan beban yang akan diinput pada pondasi untuk pemodelan ini ialah beban vertikal sebesar 20 kN/m<sup>2</sup>. Data tersebut akan digunakan dalam pemodelan pondasi dengan menggunakan metode elemen hingga, yang kemudian akan di *input* untuk dilakukan analisis pemodelan untuk pondasi tipe telapak.

#### 2. Design Variasi Dimensi Pemodelan Pondasi

Pemodelan dilakukan dengan variasi kedalaman dan lebar pondasi yang berbeda untuk melihat perbedaan dan perbandingan faktor aman, beban vertikal maksimum yang dapat diterima, dan keekonomisan pondasi yang akan dimodelkan. Pertama untuk kedalaman 0 m dengan variasi lebar pondasi 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m. Kedua kedalaman 0,5 m dengan variasi lebar pondasi 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m. Ketiga untuk kedalaman 1 m dengan variasi lebar pondasi masing-masing 1 m, 1,5 m, dan 2 m, lalu disajikan dalam bentuk tabel dan gambar pemodelan, dan untuk ketebalan pondasi konstan sebesar 0,25 m.

#### 3. Analisis Pemodelan Pondasi dengan Metode Elemen Hingga

Pemodelan pondasi akan dianalisis menggunakan aplikasi berdasarkan metode elemen hingga. Analisis tersebut meliputi perhitungan nilai faktor aman, beban vertikal maksimum yang dapat diterima pondasi, *displacements*, dan keekonomisan pondasi. Analisis akan dilakukan berbasis aplikasi untuk mendapat data yang akurat.

#### 4. Hasil Pemodelan Pondasi

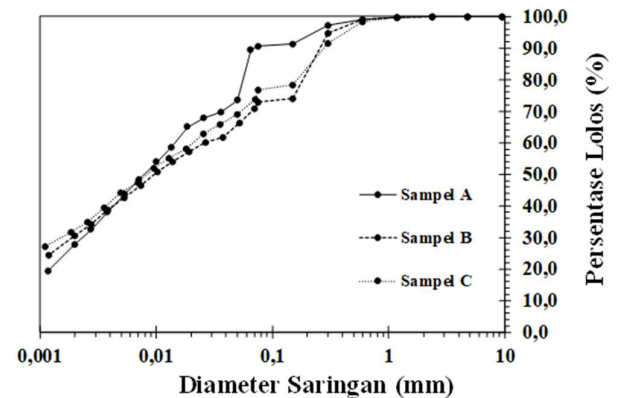
Hasil pemodelan pondasi akan disajikan dalam bentuk tabel, gambar dan grafik pemodelan. Tabel, gambar dan grafik yang disajikan akan memuat data perhitungan nilai faktor aman, beban vertikal maksimum yang dapat diterima

pondasi, model keruntuhan, dan *displacements* yang akan dialami pondasi. Tabel dan gambar tersebut juga akan menunjukkan perbandingan nilai faktor keamanan, beban ultimit, dan *displacements* tiap variasi dimensi dan kedalaman pondasi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Uji Sifat Fisis

Uji sifat fisis ini dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah seperti kadar air, berat volume, berat jenis, batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas. Parameter tersebut akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan sifat fisisnya. Berikut hasil dan pembahasan untuk uji sifat fisis tanah.



**Gambar 3.** Distribusi Ukuran Butir Tanah

**Gambar 3** di atas merupakan hasil uji analisa ukuran butiran tanah pada ketiga titik lokasi pengujian. Tanah pada ketiga titik lokasi penelitian merupakan tanah kohesif atau berbutir halus hal ini dikarenakan  $\geq 50\%$  lolos saringan No.200 (SNI 6371:2015). Tanah kohesif umumnya memiliki sifat gaya geser rendah, permeabilitas rendah, pemampatan tinggi, dan daya dukung rendah sehingga memerlukan stabilisasi tanah.

**Tabel 3.** Hasil Uji Fisis

Pengujian	Titik A	Titik B	Titik C
Kadar Air (%)	60,95	58,93	58,39
Berat Volume (kN/m <sup>3</sup> )	16,73	16,53	16,48
Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	2,65	2,63	2,63
Batas Cair	73,37	77,79	70,44
Batas Plastis	45,11	51,67	46,22
Indeks Plastisitas	28,26	26,13	24,22

**Tabel 3** merupakan data hasil uji sifat fisis tanah untuk pengujian kadar air, berat volume, berat jenis, dan *atterberg*

*limits*. Tabel di atas (**Tabel 3**) menunjukkan bahwa terdapat kemiripan untuk nilai yang diperoleh pada pengujian sifat fisis yang dilakukan di ketiga titik lokasi penelitian di Perumahan Dwifa Residence. Karakteristik tanah pada lokasi ini ialah tanah lanau elastis, hal ini berdasarkan dari data hasil pengolahan uji sifat fisis yang diperoleh. Tanah pada ketiga lokasi penelitian memiliki nilai PI yang terletak di bawah gasis A, batas cair  $\geq 50$ , dan tergolong tanah berbutir halus, berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa tanah pada lokasi ini merupakan lanau elastis (MH) (**Gambar 2**). Tanah lanau elastis adalah jenis tanah yang memiliki sifat elastis dan dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi. Biasanya, tanah ini terdiri dari partikel halus seperti lanau dan memiliki kandungan air yang cukup. Sifat elastisnya membuat tanah ini cukup baik untuk menyokong struktur, tetapi juga bisa menyebabkan masalah stabilitas jika terlalu banyak tertekan atau pada saat kondisi tanah jenuh air.

### Uji Sifat Mekanis

Uji sifat mekanis ini dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah seperti nilai kuat tekan bebas, kuat geser, koefisien konsolidasi, koefisien kompresibilitas volume, dan kadar penurunan tanah. Parameter tersebut akan digunakan untuk mengetahui karakteristik mekanis tanah dan daya dukung tanah. Berikut hasil dan pembahasan untuk uji sifat mekanis tanah.

#### 1. Uji Kuat Tekan Bebas (UCT)

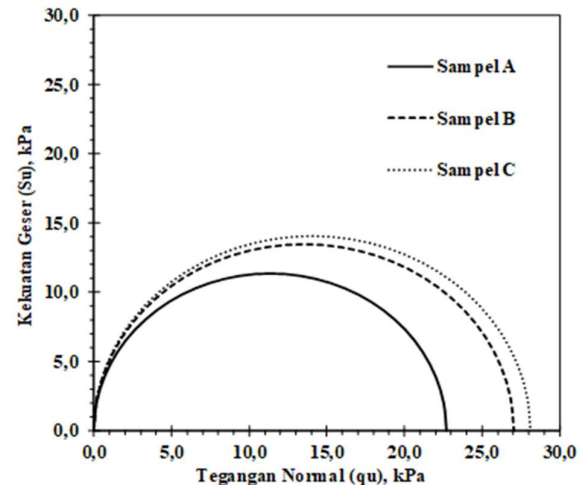
Parameter yang dihasilkan dari pengujian ini meliputi kuat tekan bebas tanah, kuat geser, tegangan, dan regangan yang dialami tanah saat menerima beban. Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana tanah dapat menahan beban tanpa mengalami kegagalan [20]. Berikut hasil uji kuat tekan bebas pada ketiga titik lokasi penelitian.

**Tabel 4.** Hasil Uji Kuat Tekan Bebas

Parameter	Titik A	Titik B	Titik C
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ )	22,71	27,04	28,11
Kuat Geser ( $S_u$ )	11,36	13,52	14,06

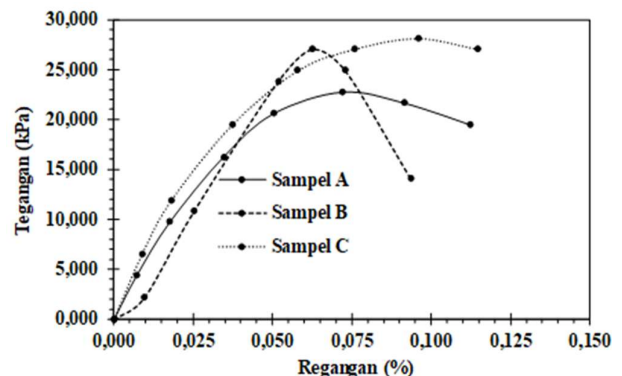
**Tabel 4** di atas merupakan data dari hasil olahan uji kuat tekan bebas untuk ketiga titik lokasi penelitian. Data **Tabel 4** pengolahan data uji kuat tekan bebas menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas tanah di ketiga titik lokasi pengujian termasuk dalam kategori tanah lunak atau kohesif. Nilai kuat tekan bebas dan kuat geser terendah ialah pada lokasi penelitian di titik A, yang artinya memiliki daya dukung tanah terendah dibandingkan dengan kedua titik lokasi

penelitian lainnya di Perumahan Dwifa Residence ini. Tanah dengan kekuatan seperti ini (**Tabel 4**) tergolong memiliki daya dukung yang sedang atau tidak terlalu buruk, dan biasanya perlu diperhatikan untuk perancangan struktur di atasnya misalnya pondasi.



**Gambar 4.** Lingkaran Mohr

**Gambar 4** di atas merupakan perbandingan gambar lingkaran *mohr* untuk ketiga titik lokasi penelitian di kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu. Gambar di atas (**Gambar 4**) memperlihatkan perbandingan untuk nilai tegangan normal dan kuat geser untuk tiap titik lokasi penelitian pada kawasan Perumahan Dwifa Residence. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tanah pada ketiga titik lokasi penelitian tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



**Gambar 5.** Grafik Tegangan Regangan

Pada **Gambar 5** kita dapat melihat perbandingan nilai tegangan regangan untuk ketiga titik lokasi penelitian di

kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu. Tanah pada lokasi sampel A memiliki nilai tegangan maksimum terendah dibandingkan kedua sampel lainnya dengan nilai 22,71 kN/m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa tanah pada lokasi titik A memiliki daya dukung tanah yang paling lemah di antara ketiga titik lokasi penelitian ini, tentunya tanah pada titik ini memerlukan perhatian lebih dibandingkan dengan kedua titik lokasi lainnya misalnya untuk desain pondasi.

2. Konsolidasi

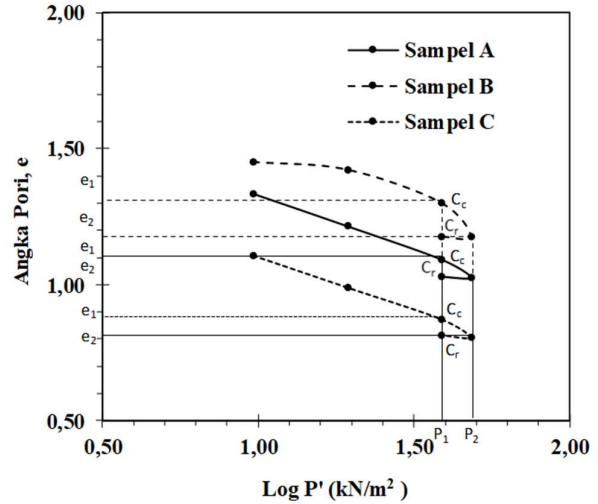
Parameter yang dihasilkan dari pengujian ini meliputi indeks kompresibilitas tanah, koefisien konsolidasi, koefisien kompresibilitas volume, kadar penurunan, tegangan efektif dan angka pori [15]. Uji ini dimaksudkan untuk menentukan sifat konsolidasi tanah, yang berhubungan dengan penurunan volume akibat penerapan beban [14]. Berikut hasil uji konsolidasi pada ketiga titik lokasi penelitian.

Tabel 5. Hasil Uji konsolidasi

P (kN/mm <sup>2</sup> )	S (mm)			m <sub>v</sub> (mm <sup>2</sup> /thn)			C <sub>v</sub> (mm <sup>2</sup> /thn)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9,64	1,3	0,3	2,9	7,4	1,4	18,5	4,0	4,3	3,7
19,29	2,2	0,5	3,9	5,6	1,2	6,1	27,5	30,2	25,1
38,57	3,2	1,4	4,8	3,1	2,7	3,2	13,4	14,8	12,3
48,22	3,7	2,4	5,4	3,4	6,0	3,9	14,1	15,1	12,8
38,57	3,7	2,4	5,3	0,1	0,1	0,5	17,6	18,9	16,1

Data Tabel 5 di atas merupakan hasil pengolahan data dari uji konsolidasi pada tiap titik penelitian pada kawasan Perumahan Dwifa Residence. Dari hasil uji konsolidasi ini didapatkan data kadar penurunan, koefisien kompresibilitas volume, dan koefisien konsolidasi yang tersaji di dalam Tabel 5 di atas. Berdasarkan data hasil pengujian konsolidasi di ketiga titik lokasi penelitian diketahui bahwa, kadar penurunan tanah untuk sampel tanah B terjadi lebih cepat untuk penerimaan beban yang sama di antara kedua sampel lainnya, hal ini menunjukkan bahwa tanah pada lokasi sampel B memiliki kepadatan yang lebih dibandingkan ke dua lokasi lainnya. Nilai koefisiensi konsolidasi terbesar didapatkan pada pengujian konsolidasi untuk sampel B, yang menunjukkan bahwa laju konsolidasi tanah sampel B berlangsung lebih cepat dari kedua sampel lainnya, dan dapat mencapai kondisi stabilnya dalam waktu yang lebih singkat, hal ini disebabkan tanah sampel B dapat mengeluarkan air dari porinya ketika diberi beban lebih cepat, yang mempengaruhi perubahan volume dan stabilitas tanah. Berdasarkan data Tabel 5 dapat diketahui bahwa tanah untuk lokasi sampel B lebih mudah terkompresi atau lebih mudah

dipadatkan dibandingkan kedua sampel lainnya untuk penerimaan beban yang sama, yang berarti tanah pada lokasi sampel B memiliki tingkat penurunan yang lebih sedikit dibanding kedua lokasi lainnya.



Gambar 6. Kurva e vs log P Hasil Uji Konsolidasi

Gambar 6 di atas merupakan gambar hasil olahan uji konsolidasi, yang menunjukkan hubungan tegangan efektif dan angka pori. Data Gambar 6 menampilkan perbandingan untuk kurva e log P pada ketiga sampel tanah hasil olahan uji konsolidasi. Kurva e log P di atas menunjukkan bahwa tanah sampel C akan mengalami proses konsolidasi yang lebih lama dibandingkan kedua sampel lainnya, dan untuk sampel B memiliki waktu konsolidasi yang paling cepat di antara kedua sampel lainnya. Dari Gambar 6 kurva e log P di atas dapat diketahui nilai di bawah ini.

Tabel 6. Parameter Olahan Kurva e log P

Sampel	$\alpha_v$	$m_v$	C <sub>c</sub>	C <sub>r</sub>
	(m <sup>2</sup> /kN)	(m <sup>2</sup> /kN)		
A	0,0070	0,0033	0,6943	0,0303
B	0,0131	0,0057	1,3009	0,0157
C	0,0070	0,0037	0,6995	0,0876

Tabel 6 didapatkan dari hasil olahan pada Gambar 6. Tabel 6 di atas menyajikan perbandingan nilai koefisien pemampatan, koefisien perubahan volume, indeks pemampatan, dan indeks pemampatan kembali. Berdasarkan data Tabel 6 dapat diketahui bahwa tanah sampel B memiliki kecepatan pemampatan yang paling tinggi di antara kedua sampel lainnya, hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien pemampatan dan indeks pemampatan. Lokasi sampel B memiliki rongga pori yang lebih kecil dan kecepatan

meloloskan air dari rongga pori tanah tinggi sehingga menyebabkan proses pemampatan yang lebih cepat dibanding kedua lokasi lainnya. Tanah pada lokasi sampel B memiliki tingkat penurunan yang lebih sedikit dibanding kedua lokasi lainnya, artinya tanah pada lokasi sampel B lebih stabil dibandingkan dengan tanah pada ke dua lokasi lainnya pada kawasan Perumahan Dwifa Residence Kota Bengkulu.

### Pengaplikasian Data dan Pemodelan Pondasi

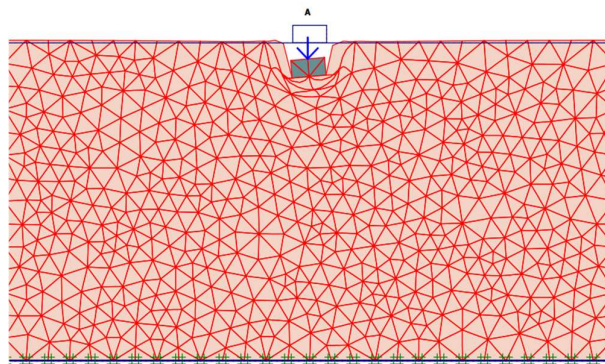
Pengaplikasian data dan pemodelan pondasi dilakukan dengan metode elemen hingga berbasis aplikasi. Pemodelan akan dilakukan dengan variasi kedalaman dan lebar pondasi yang berbeda. Supaya lebih konservatif data tanah yang dipakai untuk pemodelan ini ialah data tanah pada lokasi penelitian di titik A yang memiliki daya dukung yang paling kecil di antara kedua sampel lainnya yang dapat dilihat dari nilai  $q_u$  dan  $S_u$  dari data uji kuat tekan bebas. Data yang digunakan dalam pemodelan ini diambil dari hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah pada sampel A, seperti  $\gamma_{unsat}$ ,  $\gamma_{sat}$ ,  $S_u$ , modulus young, poition ratio, angka pori,  $C_c$ ,  $C_r$ ,  $\lambda^*$ ,  $\kappa^*$ , dan beberapa asumsi data yang diambil dari penelitian sebelumnya. Beban yang akan diinput pada pondasi untuk pemodelan ini ialah beban vertikal sebesar  $20 \text{ kN/m}^2$ , berikut data tanah sampel A yang digunakan untuk pemodelan pondasi tipe telapak dapat dilihat di bawah ini.

**Tabel 7.** Data Pemodelan Pondasi

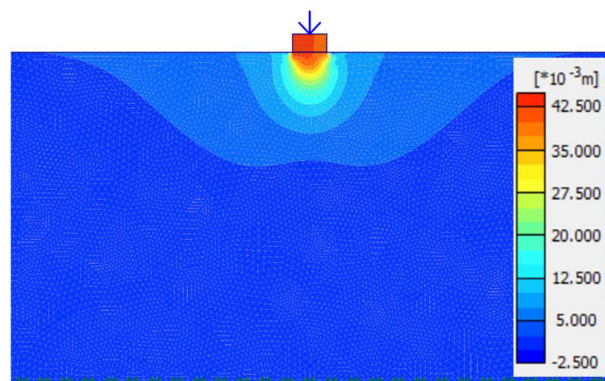
Parameter	Elastic Silt	Concrete	Unit
Model	Soft Soil Model	Linear Elastic	-
Type	Undrained	Non-Porous	-
$\gamma_{unsat}$	10,399	24	$\text{kN/m}^3$
$\gamma_{sat}$	16,285	24	$\text{kN/m}^3$
$S_u$	11,36	-	$\text{kN/m}^2$
$\phi$	25	-	$^\circ$
$\psi$	0	-	$^\circ$
$E_{ref}$	10138,4	$2 \times 10^7$	$\text{kN/m}^3$
$\nu$	0,27	0,15	-
$e_0$	1,50	-	-
$C_c$	0,6943	-	-
$C_r$	0,0303	-	-
$\lambda^*$	0,1206	-	-
$\kappa^*$	0,0105	-	-

**Tabel 7** di atas merupakan data pemodelan untuk pondasi telapak yang diperoleh dari hasil uji fisis dan mekanis sebelumnya. Tanah pada lokasi penelitian di titik A diklasifikaikan sebagai tanah lanau elastis (MH) berdasarkan hasil uji sifat fisis tanah, karena tidak dilakukan uji *triaxial*

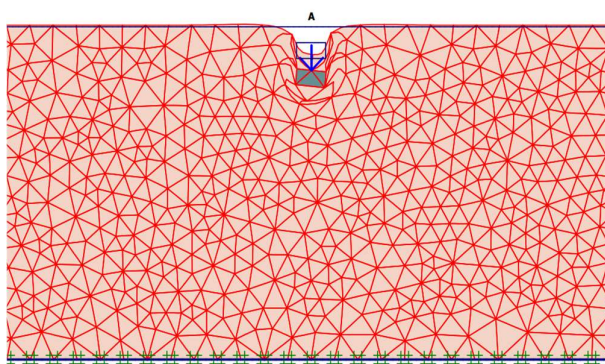
smaka untuk nilai sudut geser yang digunakan diasumsikan sebesar  $25^\circ$  ( $25^\circ$ - $30^\circ$ ) kondisi terburuk untuk klasifikasi jenis tanah lanau elastis (MH) [21]. Berikut hasil pemodelan pondasi dangkal pada lokasi penelitian di titik A dengan menggunakan aplikasi berdasarkan motode elemen hingga.



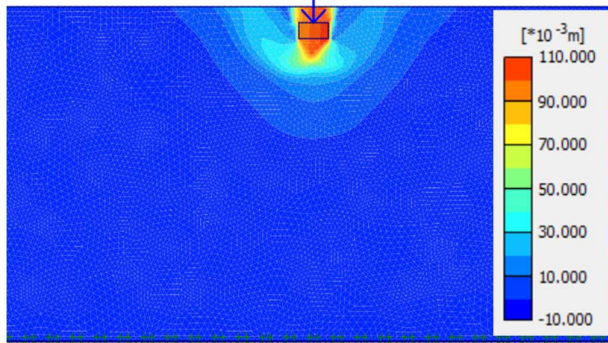
**Gambar 7.** Deformed Mesh Pondasi untuk Kedalaman 0 m, Lebar 0,5 m, dan Tebal 0,25 m



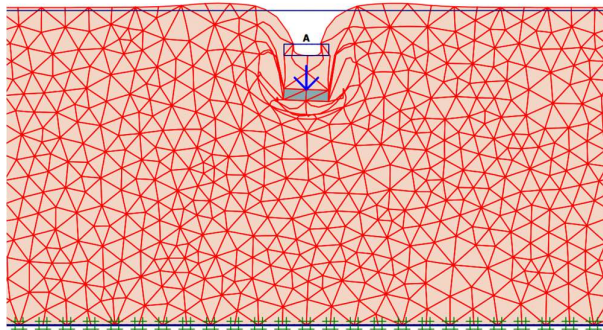
**Gambar 8.** Penurunan Pondasi untuk Kedalaman 0 m, Lebar 0,5 m, dan Tebal 0,25 m



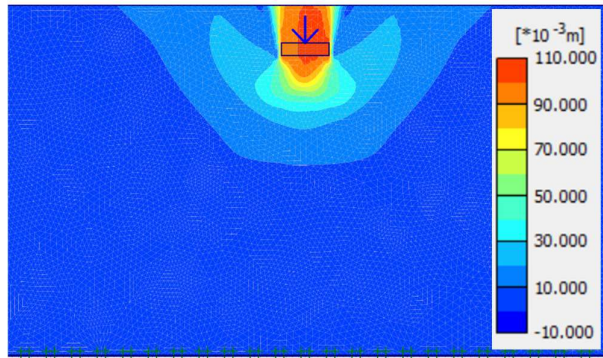
**Gambar 13.** Deformed Mesh Pondasi untuk Kedalaman 0,5 m, Lebar 0,5 m, dan Tebal 0,25 m



**Gambar 9.** Penurunan Pondasi untuk Kedalaman 0,5 m, Lebar 0,5 m, dan Tebal 0,25 m



**Gambar 10.** Deformed Mesh Pondasi untuk Kedalaman 1 m, Lebar 1 m, dan Tebal 0,25 m



**Gambar 11.** Penurunan Pondasi untuk Kedalaman 1 m, Lebar 1 m, dan Tebal 0,25 m

Gambar 7 sampai dengan Gambar 11 merupakan hasil desain pondasi dangkal menggunakan aplikasi berbasis metode elemen hingga yang menunjukkan gambaran model keruntuhan dan *displacement* yang dialami pondasi. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan atau perbandingan model keruntuhan dan penurunan atau *displacement* yang dialami pondasi untuk beberapa variasi kedalaman dan lebar. Berikut hasil rekapitulasi hasil analisis pondasi berbasis aplikasi berdasarkan metode elemen hingga.

**Tabel 8.** *Displacement* Pondasi untuk Beban Rencana 20 kN/m<sup>2</sup>

Variasi Kedalaman (m)	Variasi Lebar (m)	<i>Displacements</i> (m)
0	0,5	0,0146
0	0,75	0,0076
0	1	0,0063
0,5	0,5	0,0062
0,5	0,75	0,0052
0,5	1	0,0046
1	1	0,0038
1	1,5	0,0034
1	2	0,0028

Data pada **Tabel 8** di atas merupakan data *displacements* atau penurunan pondasi pada tiap variasi lebar dan kedalaman pondasi, untuk beban rencana rumah hunian 1-2 lantai pada umumnya yang berada di kisaran 20 kN/m<sup>2</sup>. **Tabel 8** di atas menunjukkan bahwa semakin dalam dan lebar pondasi dengan penerimaan beban yang sama, maka penurunan yang akan dialami pondasi akan semakin kecil. Berdasarkan data **Tabel 8** di atas juga dapat diketahui bahwa semakin dalam dan lebar pondasi maka daya dukung pondasi akan semakin baik.

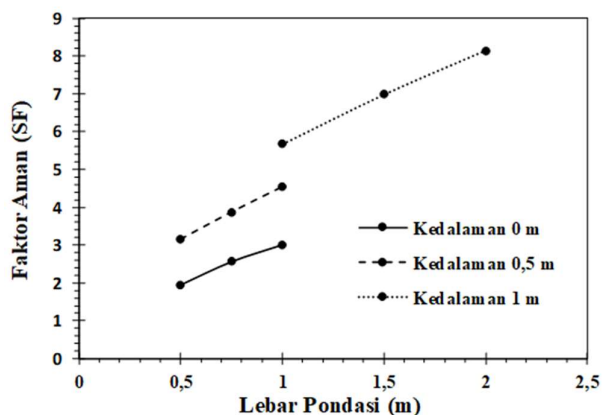
**Tabel 9.** Hasil Design Pondasi

Variasi Kedalaman (m)	Variasi Lebar (m)	Faktor Keamanan ( <i>SF</i> )	Beban Vertikal Maksimum (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Displacements</i> (m)
0	0,5	1,946	23,28	0,044
0	0,75	2,566	34,38	0,046
0	1	3,016	44,48	0,055
0,5	0,5	3,152	44,96	0,100
0,5	0,75	3,871	59,00	0,103
0,5	1	4,539	73,62	0,123
1	1	5,676	100,54	0,102
1	1,5	6,984	136,88	0,124
1	2	8,144	174,08	0,144

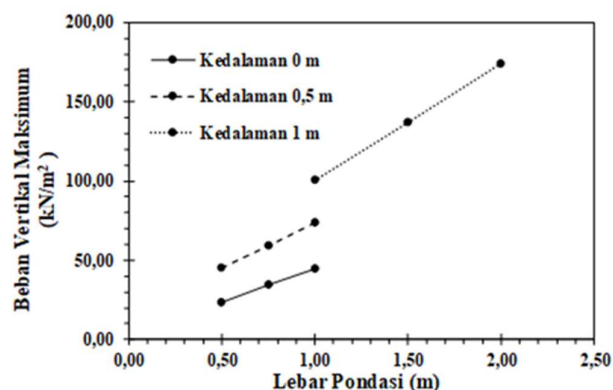
Hasil design pondasi pada **Tabel 9** tersebut menunjukkan perbandingan data yang diperoleh untuk nilai faktor aman, beban vertikal maksimum, dan *displacement* atau perpindahan untuk masing-masing variasi kedalaman dan lebar pondasi. Dari data **Tabel 9** dapat kita lihat bahwa kedalaman tanah dan lebar pondasi sangat mempengaruhi nilai faktor aman, beban vertikal maksimum dan *displacement* atau perpindahan. Berdasarkan data hasil desain pondasi pada **Tabel 9** tersebut dapat diketahui bahwa semakin dalam dan lebar pondasi maka akan membuat



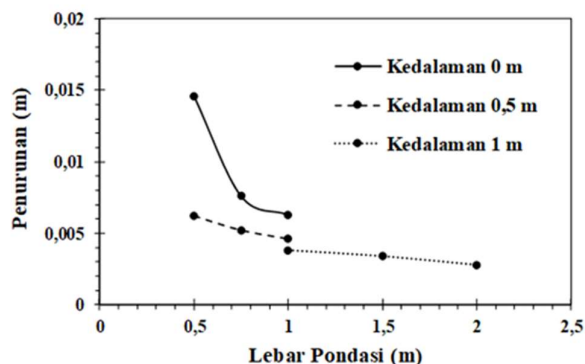
semakin meningkatnya faktor keamanan pondasi dan beban vertikal maksimum yang dapat diterima pondasi, artinya semakin kuat daya dukung pondasi tersebut, sejalan dengan penelitian sebelumnya tentang pengaruh bentuk dan dimensi terhadap daya dukung pondasi, yang dilakukan oleh Mochammad Nouval, dkk [22]. Data *displacements* atau penurunan pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** di atas menunjukkan penurunan yang akan dialami pondasi pada saat pondasi menerima beban bangunan yang ada di atasnya. Penurunan izin pondasi menurut SNI 8460 : 2017 yaitu  $< 15 \text{ cm} + b/600$  (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi. Berdasarkan data **Tabel 8** di atas, terlihat bahwa untuk tiap variasi desain pondasi memenuhi syarat untuk penurunan izin pondasi berdasarkan SNI 8460 : 2017. Berdasarkan data **Tabel 8** dan **Tabel 9** di atas dapat diketahui bahwa untuk tiap variasi pemodelan pondasi sudah memenuhi standar keamanan.



**Gambar 12.** Grafik Hubungan Kedalaman dan Lebar Pondasi terhadap Faktor Keamanan



**Gambar 13.** Grafik Hubungan Kedalaman dan Lebar Pondasi terhadap Beban Vertikal Maksimum



**Gambar 14.** Grafik Hubungan Kedalaman dan Lebar Pondasi terhadap Penurunan Pondasi untuk Beban Rencana

**Gambar 12** sampai dengan **Gambar 14** di atas merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan antara nilai faktor keamanan, beban vertikal maksimum, dan *displacement* yang diterima pondasi untuk tiap variasi kedalaman dan lebarnya. Dari gambar-gambar tersebut sangat terlihat jelas bahwa kedalaman dan lebar pondasi sangat mempengaruhi daya dukung pondasi. Semakin dalam dan lebar pondasi maka akan semakin besar pula daya dukungnya untuk bangunan yang ada di atasnya [22].

Hasil analisis yang telah diperoleh dengan metode elemen hingga kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan metode Terzaghi. Formulasi daya dukung *ultimate* ( $Q_{ult}$ ) yang digunakan adalah untuk tipe keruntuhan umum [19]. **Tabel 10** menyajikan hasil analisis daya dukung pondasi dengan menggunakan metode Terzaghi.

**Tabel 10.** Hasil Analisis Daya Dukung Pondasi dengan Metode Terzaghi

Variasi Kedalaman (m)	Variasi Lebar (m)	$Q_{ult}$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0,5	310,35
0	0,75	322,96
0	1	335,57
0,5	0,5	376,38
0,5	0,75	388,99
0,5	1	401,60
1	1	467,64
1	1,5	492,85
1	2	518,07

Hasil yang tersaji pada **Tabel 10** menunjukkan bahwa beban maksimum yang dapat diterima oleh pondasi tidak menyebabkan kerusakan atau kegagalan struktur. Hal ini terlihat dari hasil perhitungan beban *ultimate* yang mampu

diterima oleh pondasi jauh lebih besar daripada beban rencana pondasi sebesar 20 kN/m<sup>2</sup>.

Berdasarkan nilai daya dukung pondasi yang disajikan, terdapat kesesuaian hasil antara metode elemen hingga dan metode Terzaghi. Kedua metode menunjukkan bahwa kedalaman dan lebar pondasi sangat mempengaruhi daya dukung pondasi. Semakin dalam dan lebar pondasi maka daya dukung pondasi akan semakin meningkat.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang penulis lakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanah pada ketiga titik lokasi pengujian di kawasan perumahan Dwifa Residence Kelurahan Bentiring Permai Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu, merupakan tanah lanau elastis (MH).
2. Berdasarkan uji sifat fisis dan mekanis tanah pada ketiga titik lokasi pengujian, tanah pada lokasi ini memiliki daya dukung tanah yang cukup baik. Hal ini terlihat dari kombinasi nilai  $q_u$  dan  $S_u$  yang tinggi. Oleh karena itu tanah pada lokasi perumahan ini memiliki daya dukung tanah yang cukup baik atau tidak terlalu buruk.
3. Dari data hasil pemodelan pondasi dapat diketahui bahwa kedalaman dan lebar pondasi sangat mempengaruhi nilai faktor keamanan, beban vertikal maksimum yang dapat diterima oleh pondasi, dan penurunan atau *displacement*. Semakin dalam dan semakin lebar pondasi membuat semakin meningkatnya faktor keamanan pondasi, beban vertikal maksimum yang dapat diterima pondasi, dan semakin kecil penurunan yang dialami pondasi.
4. Berdasarkan data yang didapatkan dapat diketahui bahwa desain pondasi diatas tergolong aman berdasarkan nilai faktor aman dan beban vertikal maksimum yang dapat diterima pondasi. Namun desain tersebut cenderung boros dikarenakan faktor aman umumnya untuk pondasi dangkal yaitu faktor aman  $> 1$ , dan bagusnya di kisaran 1,5. Maka berdasarkan design diatas dapat disimpulkan bahwa design pondasinya cukup boros, hal ini juga dikarenakan daya dukung tanah yang sedari awal sudah cukup baik untuk konstruksi di atasnya.

#### Daftar Pustaka

- [1] E. E. Hangge, R. A. Bella, and M. C. Ullu, "Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif," *J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 89–102, 2021.
- [2] M. Anggraini, V. T. Haris, and A. Saleh, "Penentuan Klasifikasi Tanah Metode Unified Soil Classification System (USCS) Institution/affiliation," *J. Karya Ilm. Multidisiplin*, vol. 4, no. 2, 2024.
- [3] Y. F. Onggara, D. Tjandra, and J. I. Suwono, "Analisa Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Campuran Portland Cement Dan Fly Ash Untuk Diaplikasikan Pada Bangunan Rumah Tinggal 2 Lantai," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 230–237, 2022.
- [4] X. D. Crystallography, "Kemajuan Ilmu Pengetahuan Clay; Direct Shear Test; Liquid Limit; Plasticity Index; Sand," *J. Deform.*, vol. 7, pp. 1–23, 2018.
- [5] E. Aisah and F. Dhiniati, "Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal dengan Teori Terzaghi dan Mayerhof," *Konstruksia*, vol. 15, no. 1, p. 127, 2023.
- [6] Agustina, "Analisis Respon Seismik Area Sentral Di Kota Bengkulu," *6th ACE Conf.*, no. April 2020, pp. 891–901, 2019.
- [7] E. Y. Sari, L. Z. Mase, H. Hardiansyah, R. Misliniyati, and K. Amri, "Implementasi Metode Linier Ekuivalen Dan Nonlinier Dalam Memprediksi Respons Seismik Area Kampung Melayu, Kota Bengkulu," *J. Geosaintek*, vol. 10, no. 2, pp. 159–172, 2024.
- [8] Safrawati and B. Siregar, "Analysis Of The Physical And Mechanical Properties Of The Soil In Lolomatua Subdistrict South Nias," *J. Penelit.*, vol. 2, no. 4, pp. 50–56, 2022.
- [9] I. Muzaidi, M. Fitriansyah, E. Anggarini, and D. Pradhitya, "Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Laterit yang Distabilisasi Menggunakan Beberapa Jenis Pasir Kalimantan," vol. 6, no. 1, pp. 38–43, 2023.
- [10] I. R. Hardiana, R. A. A. Soemitro, . I., and T. R. Satrya, "Pengaruh Soil Water Characteristic Curve (SWCC) Pada Pemodelan Tanggul Yang Menggunakan Material Campuran Lumpur Sidoarjo (LuSi) Dan Tanah Lempung," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 2, p. 141, 2021.
- [11] R. Rochmawati and Irianto, "Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Untuk Menentukan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Jalan Baru Kayu Batu Base-G Jayapura Sta 0+200)," *INTAN J. Penelit. Tambang*, vol. 3, no. 1, pp. 50–58, 2022.
- [12] U. Pambudi, Renaningsih, and R. Teknika, "Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Jalan Raya Wonogiri-Ponorogo Desa Tanggulangin Kecamatan Jatisrono Kabupaten Wonogiri," T. Sipil and U. M. Surakarta, "Issn: 2459-9727," pp. 209–216, 2024.
- [13] R. D. Susanti, D. Endriani, and H. Thamrin, "Pemanfaatan Abu Cangkang Sawit Dan Semen Terhadap Tanah Lempung Di Uji Dengan Unconfined Compression Test," *Juripol*, vol. 5, no. 2, pp. 134–144,

- 2022.
- [14] A. P. Sari, M. I. Yani, and S. Gandi, "Pengaruh Kadar Air Terhadap Besarnya Penurunan Pada Uji Konsolidasi," *Info-Teknik*, vol. 22, no. 1, p. 41, 2021.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2812 Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi*. 2011.
- [16] I. Artikel, K. Batam, V. Kevin Mauthonic, J. Martin Ginting, and C. Author, "Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil Analisis Komparatif Daya Dukung & Penurunan Pondasi Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Borehole 1 Proyek Apartment Mega Techno City di," vol. 20, no. 2, pp. 135–145, 2023.
- [17] B. Setiawan, R. H. Dananjaya H.I., and M. Fathurrahman, "Pengaruh Perkuatan Tiang Terhadap Stabilitas Timbunan Diatas Tanah Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Ris. Rekayasa Sipil*, vol. 3, no. 2, p. 54, 2020.
- [18] A. K. Djou, I. M. Patuti, J. Teknik, S. Fakultas, U. N. Gotontalo, and C. Author, " Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Berdasarkan *IN SITU TEST* Pada Rehabilitasi Sentral Kota Gorontalo, " *Composite journal*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [19] T. Mindiastiwi and M. A. Mustofa, "Perbandingan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal Menggunakan Metode Terzaghi, Mayerhoff dan Plaxis 2D," *J. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 2, pp. 81–91, 2023.
- [20] Septyanto, "Kuat Tekan Bebas Untuk Tanah Lempung Atau Tanah Lanau," *TAPAK*, vol. 12, no. 2, pp. 38–60, 2016.
- [21] H. C. Hardiyatmo, "Mekanika Tanah I Jilid III," *Gajah Mada Univ. Press*, hal. 1, 2002.
- [22] M. Nouval, D. Ramadhan, D. P. Solin, and M. D. Astawa, "Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Dan Variasi Dimensi Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Kuliah Bersama Dan Laboratorium Feb Upn 'Veteran' Jawa Timur," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 11, no. 2, pp. 245–252, 2022.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**