

## ANALISIS JENIS TANAH UNTUK DESAIN FONDASI PADA GEDUNG MABES POLRI DI IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

Reni Raafidiani<sup>1</sup>, Algia Ravelo<sup>2</sup>, Aditia Febriansya<sup>3</sup>  
Program Studi Konstruksi Bangunan, Politeknik TEDC<sup>1,2</sup>  
Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung<sup>3</sup>  
Email: reniraaf@poltektedc.ac.id<sup>1</sup>, algiar62@gmail.com<sup>2</sup>, aditiaf8@polban.ac.id<sup>3</sup>

### Abstrak

Pemindahan Ibu Kota Negara (IKN) ke Penajam Paser Utara menuntut perencanaan infrastruktur yang adaptif terhadap kondisi geoteknik lokal, termasuk pembangunan Gedung Mabes Polri. Penelitian ini mengevaluasi karakteristik tanah melalui pengujian laboratorium pada tiga titik bor (BH-01, BH-02, BH-03) untuk menentukan parameter fisik dan mekanik tanah. Berdasarkan hasil uji di Laboratorium CND Geoteknika yang mencakup analisis ukuran butir, batas Atterberg, konsolidasi, hingga uji triaxial dan *direct shear*, ditemukan bahwa tanah di lokasi didominasi oleh fraksi lempung (81–89%) dan diklasifikasikan sebagai tanah CH (*fat clay*) dengan plastisitas tinggi. Karakteristik ini ditandai dengan nilai batas cair 61–67% dan indeks plastisitas 40–49%, yang mengindikasikan potensi kembang-susut signifikan serta sifat mudah mampat dengan indeks kompresi 0,20–0,31. Parameter kuat geser menunjukkan nilai kohesi 31–62 kN/m<sup>2</sup> dengan sudut geser yang bervariasi. Implikasinya, kondisi tanah lempung ekspansif ini menimbulkan risiko penurunan (*settlement*) dan ketidakstabilan struktur jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan penggunaan fondasi dalam atau metode perbaikan tanah (*soil improvement*) sebagai strategi mitigasi geoteknik guna menjamin keamanan dan kinerja struktural Gedung Mabes Polri di masa depan.

**Kata Kunci:** IKN, Geoteknik, Daya Dukung Tanah, Tanah Lempung Plastis Tinggi.

### Abstract

*The relocation of the national capital to Penajam Paser Utara requires infrastructure planning that is adaptive to local geotechnical conditions, including the construction of the National Police Headquarters building. This study evaluates soil characteristics through laboratory testing at three borehole points (BH-01, BH-02, BH-03) to determine the physical and mechanical parameters of the soil. Based on the test results at the CND Geoteknika Laboratory, which included grain size analysis, Atterberg limits, consolidation, triaxial and direct shear tests, it was found that the soil at the site was dominated by clay fractions (81–89%) and classified as CH (fat clay) soil with high plasticity. This characteristic is marked by a liquid limit of 61–67% and a plasticity index of 40–49%, which indicates significant swelling and shrinkage potential as well as easily compacted properties with a compression index of 0.20–0.31. Shear strength parameters show a cohesion value of 31–62 kN/m<sup>2</sup> with varying angles of friction. The implication is that the condition of this expansive clay soil poses a risk of settlement and long-term structural instability. Therefore, this study recommends the use of deep foundations or soil improvement methods as geotechnical mitigation strategies to ensure the safety and structural performance of the National Police Headquarters Building in the future.*

**Keywords:** IKN, Geotechnics, Soil Bearing Capacity, High Plasticity Clay.

## I. PENDAHULUAN

Pemindahan Ibu Kota Negara (IKN) Indonesia dari DKI Jakarta ke Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur, merupakan langkah strategis pemerintah dalam upaya pemerataan pembangunan nasional dan penguatan pusat pemerintahan baru. Pembangunan kawasan IKN tidak hanya mencakup gedung-gedung pemerintahan, tetapi juga berbagai infrastruktur pendukung yang harus dirancang secara matang berdasarkan kondisi geoteknik wilayah tersebut. Salah satu proyek penting yang direncanakan di kawasan IKN adalah pembangunan Gedung Markas Besar Kepolisian Republik Indonesia (Mabes Polri) yang berfungsi sebagai pusat kegiatan operasional kepolisian di ibu kota baru.

Dalam proses pembangunan suatu infrastruktur, aspek geoteknik memiliki peran yang sangat penting karena kondisi tanah di lokasi pembangunan akan memengaruhi daya dukung, stabilitas, serta keamanan struktur di atasnya. Perencanaan fondasi yang tidak mempertimbangkan karakteristik tanah dengan tepat dapat menimbulkan risiko penurunan diferensial (*differential settlement*) atau bahkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, diperlukan penelitian geoteknik yang komprehensif untuk memahami sifat fisik dan mekanik tanah di lokasi pembangunan.

Penelitian ini difokuskan pada identifikasi karakteristik tanah di lokasi rencana pembangunan Gedung Mabes Polri di kawasan IKN. Kajian dilakukan melalui serangkaian pengujian

laboratorium geoteknik untuk memperoleh parameter-parameter penting tanah yang meliputi sifat fisik seperti kadar air, berat isi, berat jenis, serta sifat mekanik seperti batas Atterberg, konsolidasi, dan kuat geser.

Hasil dari pengujian tersebut nantinya digunakan sebagai dasar dalam menentukan jenis fondasi yang sesuai dan kapasitas daya dukung tanah, sehingga rancangan struktur bangunan dapat direncanakan dengan aman dan efisien sesuai dengan kondisi tanah setempat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan geoteknik proyek pembangunan di kawasan IKN serta menjadi acuan bagi perancangan fondasi bangunan serupa di wilayah dengan karakteristik tanah yang sejenis.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Tanah

Tanah, sebagai kumpulan agregat mineral alami (Isbusandi et al., 2018), mencakup sejumlah komponen yang secara kolektif menciptakan lingkungan yang mendukung kehidupan. Menurut (Hangge et al., 2021) melalui proses pelapukan batuan dan deposisi organik serta anorganik, tanah menjadi habitat bagi berbagai organisme, menyediakan sumber daya alam, dan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan.

Dalam strukturnya, tanah terdiri dari mineral-mineral seperti pasir, debu, dan lumpur yang membentuk matriks bersama dengan bahan organik yang terurai (Dr. Arif Rahman Nugroho & Dr. Nasruddin, 2020). Endapan-endapan ini, yang dihasilkan dari proses-proses geologis dan lingkungan seperti erosi, pengendapan, dan aktivitas biologis, membentuk tekstur dan sifat-sifat khas tanah yang mempengaruhi fungsi dan kegunaannya.

### B. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah memegang peranan sentral dalam perencanaan, perancangan, dan konstruksi struktur bangunan dan infrastruktur (Wayan et al., 2020). Sebagai salah satu faktor fundamental dalam keberhasilan proyek konstruksi, pemahaman yang mendalam tentang daya dukung tanah menjadi krusial bagi para insinyur sipil, arsitek, dan profesional terkait.

Dalam kasus tanah lempung, seperti yang sering dijumpai dalam proyek konstruksi, analisis daya dukung tanah menjadi lebih kompleks (Fauzi et al., 2019). Tanah lempung memiliki sifat plastis yang unik, yang berarti bahwa kemampuannya untuk menahan beban dapat berubah tergantung pada kadar air dan kondisi lingkungan lainnya. Maka analisis geoteknik yang komprehensif diperlukan untuk memahami perilaku tanah lempung dan merencanakan fondasi yang tepat.

Perencanaan struktur juga perlu mempertimbangkan perubahan volume pada tanah lempung, karena kondisi tanah lempung cenderung

mengalami perubahan volume yang signifikan akibat perubahan kadar air atau beban struktural yang diterapkan. Fenomena ini disebut konsolidasi, yaitu proses ketika tanah mengalami pemadatan atau pengembangan akibat perubahan tekanan. Oleh karena itu, dalam perencanaan fondasi perlu diperhitungkan kemungkinan perubahan volume tanah agar dapat mencegah kerusakan pada struktur bangunan.

### C. Klasifikasi Tanah

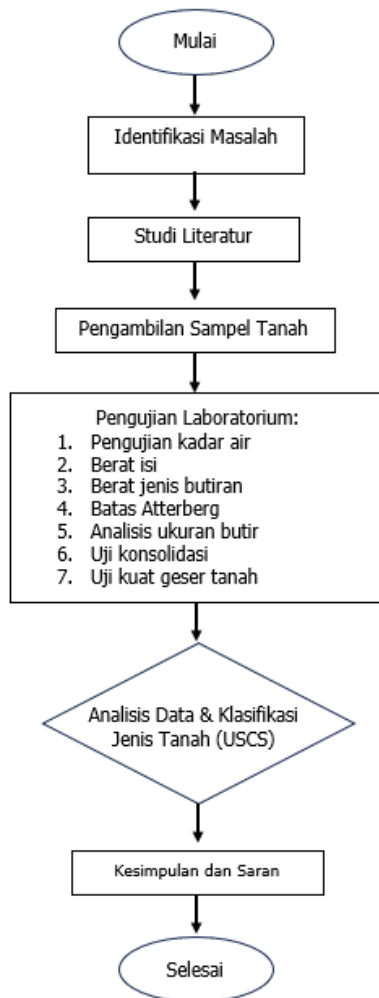
Menurut (Isbusandi et al., 2018) terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan untuk mengelompokkan tanah, yakni Unified Soil Classification System dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Dalam Unified Soil Classification System, tanah dikategorikan sebagai berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% partikelnya lolos saringan nomor 200, sedangkan tanah dikategorikan sebagai berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% partikelnya lolos saringan nomor 200. Setelah itu, tanah dikelompokkan ke dalam sejumlah kategori dan subkelompok.

Sementara itu, dalam sistem klasifikasi AASHTO, tanah dibagi menjadi 8 kelompok, yaitu dari A-1 sampai A-8 beserta sub-sub kelompoknya. Setiap jenis tanah dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung menggunakan rumus empiris. Indeks kelompok (group index) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah dalam kelompoknya, dengan menggunakan rumus yang menggambarkan persentase butiran yang lolos saringan nomor 200, batas cair, dan indeks plastisitas.

## III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Metode ini dipilih untuk memperoleh data empiris mengenai sifat fisik dan mekanik tanah berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium CND Geoteknika. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan jenis tanah secara terukur menggunakan parameter hasil uji tanah, sehingga dapat diketahui karakteristik tanah dominan di lokasi penelitian.

Diagram alir dapat dilihat pada gambar berikut:

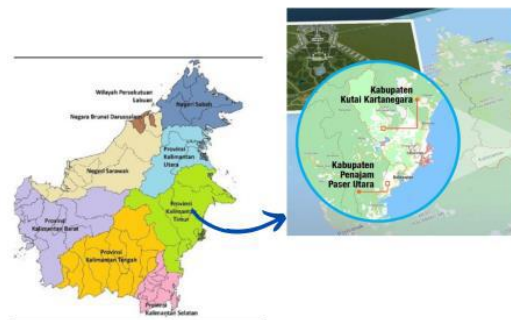


**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah yang berkaitan dengan kebutuhan data geoteknik sebagai dasar perencanaan konstruksi di lokasi penelitian. Tahap ini dilanjutkan dengan studi literatur untuk memperoleh pemahaman teoritis dan referensi terkait sifat tanah lempung serta metode pengujian yang relevan. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel tanah di lapangan yang kemudian diuji di laboratorium melalui serangkaian pengujian meliputi kadar air, berat isi, berat jenis butiran, batas Atterberg, analisis ukuran butir, uji konsolidasi, dan uji kuat geser tanah. Data hasil pengujian tersebut dianalisis untuk menentukan parameter fisik dan mekanik tanah, kemudian diklasifikasikan berdasarkan sistem USCS guna mengidentifikasi jenis dan karakteristik tanah secara menyeluruh. Berdasarkan hasil analisis dan klasifikasi tersebut, ditarik kesimpulan yang mencerminkan kondisi tanah di lokasi penelitian serta disusun saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan teknis dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

**A. Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di kawasan IKN, Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur, tepatnya pada lokasi rencana pembangunan Gedung Markas Besar Kepolisian Republik Indonesia (Mabes Polri). Sampel tanah diambil dari beberapa titik pengeboran dan pada perhitungan ini diambil 3 titik sampel yaitu BH-01, BH-02 dan BH-03 yang mewakili kondisi tanah di sekitar area pembangunan.



**Gambar 2.** Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

**B. Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Data primer, yaitu data hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari tiga titik bor yaitu titik BH-01, BH-02 dan BH-03 di lokasi penelitian.
2. Data sekunder, berupa peta lokasi, data bor tanah, serta literatur pendukung seperti standar SNI, buku referensi geoteknik, dan jurnal ilmiah yang relevan dengan klasifikasi tanah dan daya dukung fondasi.

**C. Prosedur Penelitian**

Beberapa langkah dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi literatur, untuk memahami teori dasar mekanika tanah, klasifikasi tanah (USCS), serta parameter yang memengaruhi karakteristik tanah.
2. Pengambilan sampel tanah, dilakukan dengan metode pengeboran (boring) pada tiga titik (BH-01, BH-02, BH-03) dengan kedalaman tertentu. Sampel yang diambil terdiri dari *disturbed dan undisturbed sample*.
3. Pengujian laboratorium, meliputi:
  - a. Pengujian kadar air (*water content test*),
  - b. Berat isi tanah (*unit weight test*),
  - c. Berat jenis butiran (*specific gravity test*),
  - d. Batas Atterberg (*Atterberg limits test*),
  - e. Analisis ukuran butir (*grain size analysis*),
  - f. Uji konsolidasi (*consolidation test*), dan
  - g. Uji kuat geser tanah (*triaxial CU test dan direct shear test*).
4. Analisis data, yaitu perhitungan parameter tanah seperti indeks plastisitas, kohesi, dan sudut geser dalam, serta klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*).

D. Analisis Data

Data hasil pengujian laboratorium dianalisis dengan metode deskriptif-kuantitatif. Nilai-nilai parameter tanah seperti batas cair (LL), batas plastis (PL), indeks plastisitas (PI), berat jenis, serta distribusi ukuran butir digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah menurut USCS. Selain itu, hasil uji konsolidasi dan kuat geser digunakan untuk mendukung interpretasi sifat mekanik tanah. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan standar SNI dan literatur geoteknik untuk memastikan kesesuaian dan validitas hasil analisis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan informasi geoteknik yang diperlukan dalam merancang bangunan yang aman dan ekonomis. Hasil uji memberikan dasar untuk mengidentifikasi, mengklasifikasi, serta mengevaluasi karakteristik kekuatan dan kompresibilitas lapisan tanah. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian *Index properties*

Sifat-sifat indeks (*index properties*) menunjukkan sifat-sifat fisis tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (*engineering properties*) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang serta permeabilitas tanah. Berikut hasil pengujian *Index Properties*:

a. *Measure content* (kadar air)

Kadar air (*Moisture Content*) adalah perbandingan berat air terkandung dalam contoh tanah atau agregat dengan berat kering tanah / agregat. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Apabila satuan nilai kadar air tidak dinyatakan dalam persen, maka hasil pengujian dikalikan dengan 0.01. Pengujian kadar air bertujuan untuk mencari besarnya kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering (%). Berikut hasil uji kadar air benda uji BH-01, BH-02 dan BH-03:

Tabel 1. Hasil Uji Kadar Air BH-01

MOISTURE CONTENT TEST (ASTM D-2216-19) BH-01		
No. Container	48	41
Wt. Container + Wet Soil (g)	66,01	65,57
Wt. Container + Dry Soil (g)	54,58	53,98
Wt. Container (g)	9,29	9,19
Wt. Water (g)	11,43	11,59
Wt. Dry Soil (g)	45,29	44,79
Moisture Content (w) (%)	25,24	25,88
<b>MOISTURE CONTENT AVERAGE (w %)</b>	<b>25,26</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil uji kadar air pada sampel tanah BH 01, diperoleh nilai kadar air sebesar 25,26%. Nilai ini menunjukkan kondisi tanah dengan kandungan air yang relatif sedang, yang mencerminkan tingkat kejenuhan tanah lempung

pada lokasi tersebut dan berpotensi memengaruhi sifat mekanik tanah seperti kuat geser dan kompresibilitas.

Tabel 2. Hasil Uji Kadar Air BH-02

MOISTURE CONTENT TEST (ASTM D-2216-19) BH-02		
No. Container	22	44
Wt. Container + Wet Soil (g)	56,96	55,72
Wt. Container + Dry Soil (g)	48,05	47,28
Wt. Container (g)	9,33	9,33
Wt. Water (g)	8,91	8,44
Wt. Dry Soil (g)	38,72	37,95
Moisture Content (w) (%)	23,01	22,24
<b>MOISTURE CONTENT AVERAGE (w %)</b>	<b>22,63</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Pada sampel tanah BH 02, hasil pengujian kadar air menunjukkan nilai sebesar 22,63%. Nilai kadar air ini lebih rendah dibandingkan BH 01 dan BH 03, yang mengindikasikan kondisi tanah yang relatif lebih kering. Perbedaan kadar air ini dapat dipengaruhi oleh variasi kedalaman pengambilan sampel, kondisi drainase lokal, maupun karakteristik lapisan tanah setempat.

Tabel 3. Hasil Uji Kadar Air BH-03

MOISTURE CONTENT TEST (ASTM D-2216-19) BH-03		
No. Container	9	52
Wt. Container + Wet Soil (g)	55,65	54,35
Wt. Container + Dry Soil (g)	45,69	44,3
Wt. Container (g)	9,54	9,18
Wt. Water (g)	9,96	10,05
Wt. Dry Soil (g)	36,15	35,12
Moisture Content (w) (%)	27,55	28,62
<b>MOISTURE CONTENT AVERAGE (w %)</b>	<b>28,08</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Sementara itu, hasil uji kadar air pada sampel tanah BH 03 menunjukkan nilai sebesar 28,08%, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga sampel. Kadar air yang lebih tinggi ini menunjukkan tanah berada pada kondisi lebih jenuh, yang berpotensi meningkatkan sifat mudah mampat dan menurunkan kekuatan geser tanah. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kadar air dari ketiga sampel sebesar 25,32%, yang dapat merepresentasikan kondisi kadar air tanah secara umum pada lokasi penelitian.

B. Pengujian *Atterberg Limit*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis (*specific gravity*) tanah. Berat jenis tanah merupakan perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air pada suhu 4°C dan tekanan 1 atmosfer. Pengujian dilakukan menggunakan botol Erlenmeyer sebagai alat utama.

Nilai berat jenis tanah berperan penting dalam menentukan hubungan antara fase udara, air, dan butiran padat dalam tanah, serta menjadi parameter dasar dalam perhitungan berbagai indeks sifat tanah (*index properties*). Berikut hasil uji berat jenis benda uji BH-01, BH-02 dan BH-03:

**Tabel 4.** Hasil Uji Berat Jenis BH-01

SPECIFIC GRAVITY TEST (ASTM D854-14) BH-01		
Pycnometer No.	LA	LB
Wt. Of dry Soil (A) (g)	35	35
Temperature (T) (°C)	23	23
Wt. Pycnometer + Water + Soil (B) (g)	397,94	400,06
Wt. Pycnometer + Water at T °C (C) (g)	375,97	378,14
A + (C - B) (g)	13,03	13,06
Specific Gravity (Gs)	2,68	2,67
<b>SPECIFIC GRAVITY AVERAGE (Gs)</b>	<b>2,68</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil uji berat jenis butiran tanah pada sampel BH 01, diperoleh nilai berat jenis sebesar 2,68. Nilai ini menunjukkan bahwa mineral penyusun tanah pada lokasi BH 01 masih berada pada kisaran umum tanah lempung, yang umumnya didominasi oleh mineral silikat dan berpengaruh terhadap karakteristik fisik tanah seperti berat volume, porositas, dan perilaku pemampatan.

**Tabel 5.** Hasil Uji Berat Jenis BH-02

SPECIFIC GRAVITY TEST (ASTM D854-14) BH-02		
Pycnometer No.	LC	LD
Wt. Of dry Soil (A) (g)	35	35
Temperature (T) (°C)	23	23
Wt. Pycnometer + Water + Soil (B) (g)	397,14	403,18
Wt. Pycnometer + Water at T °C (C) (g)	375,07	381,14
A + (C - B) (g)	12,93	12,96
Specific Gravity (Gs)	2,70	2,70
<b>SPECIFIC GRAVITY AVERAGE (Gs)</b>	<b>2,70</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Pada sampel BH 02, hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai sebesar 2,70. Nilai ini sedikit lebih tinggi dibandingkan BH 01, yang mengindikasikan adanya perbedaan komposisi mineral atau tingkat kepadatan butiran tanah. Variasi nilai berat jenis ini mencerminkan heterogenitas kondisi tanah di lokasi penelitian meskipun masih dalam satuan tanah yang relatif sama.

**Tabel 6.** Hasil Uji Berat Jenis BH-03

SPECIFIC GRAVITY TEST (ASTM D854-14) BH-03		
Pycnometer No.	LE	LF
Wt. Of dry Soil (A) (g)	35	35
Temperature (T) (°C)	23	23
Wt. Pycnometer + Water + Soil (B) (g)	407,64	400,43
Wt. Pycnometer + Water at T °C (C) (g)	385,37	377,93
A + (C - B) (g)	12,73	12,50
Specific Gravity (Gs)	2,75	2,80
<b>SPECIFIC GRAVITY AVERAGE (Gs)</b>	<b>2,77</b>	

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Sementara itu, pada sampel BH 03, diperoleh nilai berat jenis sebesar 2,77, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga sampel. Nilai ini menunjukkan kemungkinan kandungan mineral berat yang lebih tinggi atau tingkat pelapukan yang berbeda, sehingga memberikan kontribusi terhadap peningkatan berat jenis butiran tanah. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata berat jenis dari ketiga sampel sebesar 2,71,

yang dapat digunakan sebagai parameter representatif dalam analisis dan perencanaan geoteknik di lokasi penelitian.

**C. Density (Berat Isi)**

Pengujian berat isi tanah bertujuan untuk menentukan perbandingan antara berat tanah dengan volumenya dan dinyatakan dalam satuan ton per meter kubik (t/m<sup>3</sup>). Sementara itu, pengujian berat isi kering dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara berat tanah dalam kondisi kering dengan volumenya, juga dinyatakan dalam t/m<sup>3</sup>. Kedua pengujian ini penting untuk mengetahui kepadatan tanah, yang selanjutnya berpengaruh terhadap kekuatan dan daya dukung tanah pada konstruksi bangunan. Berikut hasil uji berat isi benda uji BH-01, BH-02 dan BH-03:

**Tabel 7.** Hasil Uji Berat Isi BH-01

DENSITY TEST (ASTM D7263-21) BH-01	
No. Ring	26
Wt. Ring + Wet Soil (g)	107,03
Wt. Ring (g)	31,8
Vol. Wet Soil (=Vol. Ring) (cm <sup>3</sup> )	38,81
BULK DENSITY (γ <sub>m</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	19,01
DRY DENSITY (γ <sub>d</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	15,14
VOID RATIO (e)	0,74
POROSITY (n)	0,42
<b>DEGREE OF SATURATION (Sr) (%)</b>	<b>93,09</b>

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil uji berat isi pada sampel tanah BH 01, diperoleh nilai sebesar 93,09%. Nilai berat isi yang relatif tinggi ini menunjukkan kondisi tanah yang lebih padat atau memiliki tingkat kejenuhan yang tinggi, sehingga dapat berpengaruh terhadap besarnya beban sendiri tanah serta respons tanah terhadap pembebanan struktur di atasnya.

**Tabel 8.** Hasil Uji Berat Isi BH-02

DENSITY TEST (ASTM D7263-21) BH-02	
No. Ring	35
Wt. Ring + Wet Soil (g)	93,96
Wt. Ring (g)	32,3
Vol. Wet Soil (=Vol. Ring) (cm <sup>3</sup> )	38,81
BULK DENSITY (γ <sub>m</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	15,58
DRY DENSITY (γ <sub>d</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	12,7
VOID RATIO (e)	1,09
POROSITY (n)	0,52
<b>DEGREE OF SATURATION (Sr) (%)</b>	<b>56,31</b>

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Pada sampel tanah BH 02, hasil pengujian berat isi menunjukkan nilai sebesar 56,31%. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan BH 01 dan BH 03, yang mengindikasikan kondisi tanah yang lebih lepas atau memiliki kandungan air dan kepadatan yang lebih rendah. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi kedalaman, struktur lapisan tanah, atau kondisi geologi lokal pada titik BH 02.

**Tabel 9.** Hasil Uji Berat Isi BH-03

DENSITY TEST (ASTM D7263-21) BH-03	
No. Ring	27

DENSITY TEST (ASTM D7263-21) BH-03	
No. Ring	27
Wt. Ring + Wet Soil (g)	110,45
Wt. Ring (g)	35,27
Vol. Wet Soil (=Vol. Ring) (cm <sup>3</sup> )	39,84
BULK DENSITY (γ <sub>m</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	18,51
DRY DENSITY (γ <sub>d</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	14,45
VOID RATIO (e)	0,88
POROSITY (n)	0,47
<b>DEGREE OF SATURATION (Sr) (%)</b>	<b>56,31</b>

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Sementara itu, hasil uji berat isi pada sampel tanah BH 03 menunjukkan nilai sebesar 88,31%. Nilai ini menggambarkan kondisi tanah yang cukup padat dan relatif mendekati BH 01. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian terhadap ketiga sampel, diperoleh nilai rata-rata berat isi sebesar 79,23%, yang dapat merepresentasikan kondisi berat isi tanah secara umum pada lokasi penelitian dan digunakan sebagai parameter pendukung dalam analisis geoteknik.

**D. Atterberg Limit**

Pengujian Batas-batas *Atterberg* bertujuan untuk mencari nilai perbandingan berat air yang mengisi ruang pori dengan berat tanah kering pada kondisi batas cair/plastis. Penentuan batas-batas *Atterberg* meliputi batas susut (*shrinkage limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas cair (*liquid limit*) serta indeks plastisitas (*plasticity index*).

Dari hasil pengujian ini dapat ditetapkan klasifikasi tanah berbutir halus. Klasifikasi yang umum digunakan adalah USCS (*Unified Soil Classification System*). Berdasarkan kadar airnya, konsistensi atau fase campuran tanah-air dinyatakan sebagai cair, plastis, semi-padat atau padat. Transisi dari satu keadaan ke lainnya sifatnya bertahap dan batas antara fase telah ditentukan sebagai: batas cair (LL) adalah kadar air batas antara keadaan cair dan plastis dan batas plastis (PL) adalah kadar air batas antara keadaan plastis dan semi-padat. Indeks plastisitas (PI) adalah perbedaan angka sebagai LL dan PL. Di laboratorium, pengujian LL dan PL dilakukan pada bagian tanah yang lolos saringan No. 40. Berikut hasil pengujian *Atterberg limit*:

**Tabel 10. Hasil Uji Atterberg Limit BH-01**

Atterberg Limits BH-01						
No. of Blows	Liquid Limit				Plastic Limit	
	38	28	21	13	C4	C30
Container No.	226	230	238	228		
Wt. Container + Wet Soil (g)	27,92	27,71	27,43	27,14	20,52	20,42
Wt. Container + Dry Soil (g)	20,05	19,85	19,48	18,94	19,65	19,58
Wt. Water (g)	7,87	7,86	7,95	8,2	0,87	0,84
Wt. Container (g)	7,76	7,75	7,74	7,73	14,85	14,72
Wt. Dry Soil (Ws) (g)	12,29	12,1	11,74	11,21	4,8	4,86
Water Content (w) (%)	64,04	64,96	67,72	73,15	18,13	17,28

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil pengujian Atterberg Limits pada sampel tanah BH 01, diperoleh nilai kadar air

batas cair dari beberapa jumlah tumbukan yang berada pada kisaran 64,04% hingga 73,15%. Nilai tersebut menunjukkan kecenderungan kadar air yang tinggi pada kondisi batas cair. Sementara itu, hasil pengujian batas plastis menghasilkan nilai kadar air sebesar 18,13% hingga 17,28%. Perbedaan yang cukup besar antara batas cair dan batas plastis ini mengindikasikan indeks plastisitas yang tinggi, sehingga tanah pada BH 01 tergolong sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi dan berpotensi mengalami perubahan volume yang signifikan akibat variasi kadar air.

**Tabel 11. Hasil Uji Atterberg Limit BH-02**

Atterberg Limits BH-02						
No. of Blows	Liquid Limit				Plastic Limit	
	39	30	21	13	C27	C33
Container No.	211	190	243	173		
Wt. Container + Wet Soil (g)	28,95	28,67	28,36	28,08	20,78	20,8
Wt. Container + Dry Soil (g)	21,18	20,83	20,47	20,11	19,67	19,82
Wt. Water (g)	7,77	7,84	7,89	7,97	1,11	0,98
Wt. Container (g)	7,73	7,72	7,71	7,7	14,62	14,72
Wt. Dry Soil (Ws) (g)	13,45	13,11	12,76	12,41	5,05	5,1
Water Content (w) (%)	57,77	59,8	61,83	64,22	21,98	19,22

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Hasil pengujian Atterberg Limits pada sampel tanah BH 02 menunjukkan nilai kadar air batas cair yang berkisar antara 57,77% hingga 64,22% pada variasi jumlah tumbukan. Nilai tersebut masih menunjukkan karakteristik tanah dengan batas cair yang relatif tinggi. Pada pengujian batas plastis, diperoleh kadar air sebesar 21,98% hingga 19,22%. Selisih antara nilai batas cair dan batas plastis menandakan tanah memiliki tingkat plastisitas yang cukup tinggi, yang mencerminkan perilaku tanah lempung dengan kemampuan deformasi yang besar ketika berada pada kondisi basah.

**Tabel 12. Hasil Uji Atterberg Limit BH-03**

Atterberg Limits BH-03						
No. of Blows	Liquid Limit				Plastic Limit	
	37	30	21	12	C13	C34
Container No.	175	212	188	216		
Wt. Container + Wet Soil (g)	27,97	27,75	27,53	27,32	20,44	20,4
Wt. Container + Dry Soil (g)	20,4	20,13	19,59	18,88	19,48	19,36
Wt. Water (g)	7,57	7,62	7,94	8,44	0,96	1,04
Wt. Container (g)	7,77	7,76	7,75	7,74	14,45	14,3
Wt. Dry Soil (Ws) (g)	12,63	12,37	11,84	11,14	5,03	5,06
Water Content (w) (%)	59,94	61,6	67,06	75,76	19,09	20,55

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil pengujian Atterberg Limits pada sampel tanah BH 03, nilai kadar air batas cair diperoleh pada kisaran 59,94% hingga 75,76%, yang menunjukkan rentang variasi kadar air yang cukup lebar pada kondisi batas cair. Adapun hasil pengujian batas plastis menunjukkan nilai kadar air sebesar 19,09% hingga 20,55%. Nilai batas cair

yang tinggi serta selisih yang besar terhadap batas plastis menunjukkan bahwa tanah pada BH 03 memiliki plastisitas tinggi dan potensi kembang susut yang signifikan, sehingga perlu mendapat perhatian khusus dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi di lokasi tersebut.

**E. Consolidation**

Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat kemampatan tanah serta karakteristik konsolidasinya, yang erat kaitannya dengan permeabilitas tanah. Sifat kemampatan tanah dinyatakan melalui koefisien kemampatan volume (mv) atau indeks kompresi (Cc), sedangkan karakteristik konsolidasi digambarkan oleh koefisien konsolidasi (cv) yang menunjukkan kecepatan tanah mengalami pemampatan seiring waktu. Berikut data hasil pengujian konsolidasi:

**Tabel 13. Hasil Uji Konsolidasi**

No. Bore Hole	Depth (m)	Natural Saturation (%)	Natural Moisture (%)	Dry Density (kN/m <sup>3</sup> )	SG	Cc	Cv	eo	Precons. Pressure (kN/m <sup>2</sup> )
BH-01	0,30 - 0,90	92	26	15	2,68	0,289	5,91E+00	0,744	144,5
BH-02	0,30 - 0,91	51	23	12	2,7	0,3146	6,88E+00	1,02	110,5
BH-03	0,5 - 1,00	84	28	14	2,77	0,2062	3,54E+00	0,9	132,5

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan rekapitulasi parameter tanah pada BH 01, BH 02 dan BH 03, dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah di lokasi penelitian didominasi oleh tanah lempung dengan karakteristik kejenuhan dan kompresibilitas yang relatif tinggi. Nilai derajat kejenuhan alami berada pada kisaran 51 hingga 92 persen, dengan kadar air alami antara 23 hingga 28 persen, yang menunjukkan kondisi tanah umumnya berada pada keadaan cukup jenuh. Nilai berat isi kering berkisar antara 12 hingga 15 kN per m<sup>3</sup>, mengindikasikan tanah dengan tingkat kepadatan rendah hingga sedang. Berat jenis butiran tanah relatif seragam, yaitu antara 2,68 hingga 2,77, yang mencerminkan kesamaan komposisi mineral tanah. Hasil uji konsolidasi menunjukkan nilai indeks kompresi antara 0,2062 hingga 0,3146 dan koefisien konsolidasi antara 3,54E+00 hingga 6,88E+00, yang mengindikasikan tanah bersifat mudah mampat dengan kecepatan penurunan sedang hingga relatif cepat. Nilai angka pori awal berkisar antara 0,744 hingga 1,02 serta tekanan prakonsolidasi antara 110,5 hingga 144,5 kN per m<sup>2</sup> menunjukkan bahwa tanah cenderung berada pada kondisi normally consolidated hingga lightly overconsolidated. Secara keseluruhan, karakteristik tanah tersebut mengindikasikan perlunya perhatian khusus dalam perencanaan fondasi dan pengendalian penurunan pada pembangunan struktur di lokasi penelitian.

**F. Direct Shear**

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan geser tanah, dengan melakukan percobaan geser langsung UU. Dengan mengubah

tegangan axial/normal pada beberapa contoh tanah, maka akan diperoleh besarnya tegangan geser. Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan dalam bidang geoteknik, di antaranya untuk analisis stabilitas lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan tanah, dan lain-lain.

**Tabel 14. Hasil Uji Direct Shear**

Borehole No.	Depth (m)	Specimen	Load (kPa)	Normal Stress (kN/m <sup>2</sup> )	Shear Stress (kN/m <sup>2</sup> )	Shear Displacement (mm)	Cohesion (C) (kN/m <sup>2</sup> )	Friction Angle
BH-01	0,30-0,90	1	50	18,29	65,34	2,6	47,76	45,71
		2	100	36,58	87,01	3,6		
		3	200	73,15	121,47	4		
BH-02	0,30-0,90	1	50	18,29	95,17	2,6	62,23	62,65
		2	100	36,58	136,56	0		
		3	200	73,15	202,44	0		
BH-03	0,50-1,00	1	50	18,29	67,48	2,6	38,88	38,53
		2	100	36,58	97,31	3,6		
		3	200	73,15	131,14	4		

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser tanah menggunakan metode direct shear pada BH 01, BH 02, dan BH 03, dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi penelitian menunjukkan variasi parameter kuat geser yang dipengaruhi oleh kondisi dan karakteristik masing-masing titik bor. Nilai kohesi tanah berkisar antara 38,88 hingga 62,23 kN per m<sup>2</sup>, dengan nilai tertinggi diperoleh pada BH 02 dan terendah pada BH 03. Sementara itu, sudut geser dalam berada pada rentang 38,53° hingga 62,65°, yang menunjukkan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser akibat beban normal. Peningkatan tegangan normal dari 18,29 kN per m<sup>2</sup> menjadi 73,15 kN per m<sup>2</sup> diikuti oleh kenaikan tegangan geser maksimum pada seluruh sampel, yang mengindikasikan hubungan linier antara tegangan normal dan tegangan geser sesuai dengan kriteria kegagalan Mohr Coulomb. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tanah memiliki kekuatan geser yang cukup baik namun tetap memerlukan evaluasi lanjutan dalam perencanaan fondasi dan analisis stabilitas, terutama untuk struktur yang menerima beban besar dan bekerja dalam jangka panjang.

**G. Particles Size Distribution Analysis (PSDA)**

Distribusi ukuran partikel adalah salah satu sifat fisik tanah yang mendasar, seperti menentukan tekstur tanah, dan sangat memengaruhi berbagai sifat fisik dan kimia tanah. Biasanya, ini disajikan sebagai persentase dari total massa tanah yang ditempati oleh fraksi ukuran tertentu. Menentukan distribusi ukuran partikel tanah bukanlah tugas yang mudah karena heterogenitas bentuk dan kepadatan partikel.

**Tabel 15. Hasil Uji PSDA**

No.	Nama Sampel	Hasil Uji PSDA		
		Clay	Silt	Sand
1	BH-01	86%	13%	1%
2	BH-02	81%	17%	2%
3	BH-03	89%	9%	2%

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil pengujian analisis ukuran butir atau PSDA pada sampel tanah BH 01, BH 02 dan BH 03, dapat disimpulkan bahwa seluruh sampel didominasi oleh fraksi lempung dengan persentase clay berkisar antara 81 hingga 89%. Fraksi lanau berada pada kisaran 9 hingga 17%, sedangkan fraksi pasir sangat kecil, yaitu sekitar 1 hingga 2%. Dominasi fraksi halus tersebut menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian tergolong tanah berbutir sangat halus dengan permeabilitas rendah dan potensi kompresibilitas yang cukup tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perilaku tanah akan sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air, sehingga perlu perhatian khusus dalam perencanaan fondasi, pengendalian penurunan, serta mitigasi potensi kembang susut pada pembangunan struktur di lokasi penelitian.

H. Uji Triaxial

Pada uji tekan triaxial konvensional, benda uji silinder dibungkus dengan membran karet dan diletakkan dalam sel triaxial dimana benda uji diberi tekanan fluida. Beban axial kemudian diberikan dan ditingkatkan, sampai keruntuhan terjadi.

Tabel 16. Hasil Uji Triaxial

Bore Hole No.	Depth (m)	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (°)
BH-01	0,30-0,90	32	10,3	31	11,21
BH-02	0,30-0,90	21	11,21	19,5	12,06
BH-03	0,50-1,00	23	9,9	21,5	10,66

Sumber: CND GEOTEKNIKA

Berdasarkan hasil pengujian parameter kuat geser tanah pada BH 01, BH 02, dan BH 03, dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki nilai kohesi total (c) yang berkisar antara 21 hingga 32 kN per m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam total (φ) antara 9,9° hingga 11,21°, yang menunjukkan karakteristik tanah lempung dengan dominasi perilaku kohesif. Parameter kuat geser efektif menunjukkan nilai kohesi efektif (c') berkisar antara 19,5 hingga 31 kN per m<sup>2</sup> serta sudut geser dalam efektif (φ') antara 10,66° hingga 12,06°. Nilai φ' yang relatif kecil pada seluruh titik bor mengindikasikan bahwa kontribusi gesekan antar butiran tanah tidak dominan dan perilaku kuat geser lebih dipengaruhi oleh kohesi. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa tanah pada lokasi penelitian tergolong lempung dengan plastisitas tinggi dan kuat geser relatif rendah hingga sedang, sehingga aspek stabilitas dan penurunan harus menjadi perhatian utama dalam perencanaan fondasi dan analisis geoteknik.

I. Analisa Perhitungan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah dari pada titik bor BH-01, BH-02 dan BH-03 di lokasi pembangunan Gedung Mabes Polri di kawasan Ibu Kota Negara (IKN), dapat dilihat pada tabel berikut:

The table 'SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS' provides detailed data for three soil samples. For BH-01, the Liquid Limit (LL) is 61.2% and Plasticity Index (PI) is 49.1%, classifying it as CH. For BH-02, LL is 67.0% and PI is 49.0%, also classifying it as CH. For BH-03, LL is 65.0% and PI is 49.0%, classifying it as CH. The table also lists various soil properties such as moisture content, specific gravity, and soil classification according to USCS.

Gambar 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dari gambar 3, dapat dilihat bahwa tanah pada ketiga titik tersebut memiliki karakteristik yang relatif seragam. Hasil analisis ukuran butir menunjukkan bahwa tanah didominasi oleh fraksi lempung (clay) dengan persentase antara 81% hingga 89%, sementara fraksi lanau (silt) berkisar antara 11% hingga 17%, dan kandungan pasir (sand) sangat kecil yaitu sekitar 1%-2%. Berdasarkan hasil tersebut, tanah dapat diklasifikasikan sebagai lempung berplastisitas tinggi (CH) menurut sistem klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System).

Nilai batas cair (Liquid Limit, LL) berada pada rentang 61-67%, sedangkan indeks plastisitas (Plasticity Index, PI) antara 40-49, yang menunjukkan bahwa tanah memiliki potensi kembang-susut (shrink-swell potential) yang cukup besar. Dari hasil uji konsolidasi diperoleh nilai indeks kompresi (Cc) sebesar 0,20-0,31, yang menandakan bahwa tanah termasuk dalam kategori mudah mampat (compressible soil). Nilai koefisien konsolidasi (Cv) berkisar antara 3,54 × 10<sup>0</sup> hingga 6,88 × 10<sup>0</sup> m<sup>2</sup>/tahun, menunjukkan bahwa proses penurunan konsolidasi berlangsung pada kecepatan sedang hingga cepat.

Sementara itu, hasil uji kuat geser menunjukkan nilai kohesi (c) yang berkisar antara 31-62 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam (φ) antara 10<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>, tergantung pada metode pengujian yang digunakan, baik triaxial CU maupun direct shear. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian tergolong sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi, mudah mengalami pemampatan, serta memiliki potensi perubahan volume yang signifikan akibat perubahan kadar air. Kondisi tanah seperti ini memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan dan perancangan fondasi, terutama dalam mengantisipasi potensi penurunan dan kestabilan struktur di atasnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah dari tiga titik bor (BH-01, BH-02, dan BH-03) di lokasi pembangunan Gedung Mabes Polri di kawasan IKN, dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi penelitian didominasi oleh

fraksi lempung dengan kadar clay berkisar antara 81–89%, lanau 11–17%, dan pasir 1–2%. Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah tersebut termasuk dalam kategori CH (*Clay of High Plasticity*) atau lempung berplastisitas tinggi dengan nilai batas cair (LL) 61–67% dan indeks plastisitas (PI) 40–49, yang menunjukkan potensi kembang-susut cukup besar. Nilai indeks kompresi (Cc) sebesar 0,20–0,31 menunjukkan sifat tanah yang mudah mampat, sedangkan nilai koefisien konsolidasi (Cv) berkisar antara 3,54E+00 hingga 6,88E+00 m<sup>2</sup>/tahun mengindikasikan kecepatan penurunan sedang hingga cepat. Nilai kohesi (c) antara 31–62 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) 10°–45° menggambarkan kekuatan geser tanah yang bervariasi. Secara keseluruhan, tanah di lokasi penelitian tergolong lempung plastis tinggi yang mudah mengalami perubahan volume dan penurunan, sehingga perlu diperhatikan secara khusus dalam perencanaan dan pemilihan jenis fondasi agar kestabilan struktur bangunan dapat terjamin.

#### B. Saran

Penelitian ini hanya berfokus pada penentuan karakteristik fisik dan mekanik tanah untuk mengidentifikasi jenis tanah di lokasi pembangunan Gedung Mabes Polri di kawasan IKN. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan analisis lanjutan terhadap daya dukung tanah dengan menggunakan metode empiris seperti Meyerhof, Aoki & De Alencar, dan Price & Wardle, serta pemodelan struktur bangunan menggunakan perangkat lunak analisis seperti SAP2000. Analisis tersebut akan memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai kapasitas dukung fondasi, potensi penurunan tanah, serta interaksi tanah-struktur (*soil-structure interaction*). Selain itu, disarankan pula untuk melakukan pengujian lapangan tambahan seperti *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT) guna memperkuat hasil laboratorium dan memastikan data tanah yang diperoleh merepresentasikan kondisi aktual di lapangan secara lebih akurat, serta pemodelan struktur bangunan menggunakan perangkat lunak analisis seperti SAP2000.

Analisis tersebut akan memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai kapasitas dukung fondasi, potensi penurunan tanah, serta interaksi tanah-struktur (*soil-structure interaction*). Selain itu, disarankan pula untuk melakukan pengujian lapangan tambahan seperti *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT) guna memperkuat hasil laboratorium dan memastikan data tanah yang diperoleh merepresentasikan kondisi aktual di lapangan secara lebih akurat.

#### DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J.E. (1997) *Foundation Analysis and Design*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.  
Budhu, M. (2011) *Soil Mechanics and Foundations*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Craig, R.F. (2004) *Craig's Soil Mechanics*. 7th ed. London: Spon Press.  
Das, B.M. (2010) *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th ed. Stamford: Cengage Learning.  
Das, B.M. and Sobhan, K. (2018) *Principles of Foundation Engineering*. 9th ed. Boston: Cengage Learning.  
Hardiyatmo, H.C. (2012) *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.  
Hardiyatmo, H.C. (2014) *Analisis dan Perancangan Fondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.  
Mocc, C. F., Asher Tangjaya, N., William, C., Nelson, A., Adrisa, S., Denli, G., & Abraham, Y. (2023). *Pembangunan Infrastruktur Ekonomi Digital Di Ibu Kota Nusantara Sebagai Pendorong Ekonomi Berkelanjutan Indonesia*. *Journal Of International Multidisciplinary Research*, 1(2), 536–542. <https://journal.banjaresepacific.com/index.php/jimr>  
Prakoso, W.A. and Aryanti, N. (2020) '*Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi Tiang pada Tanah Lempung di Wilayah Kalimantan Timur*', *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(2), pp. 65–72.  
SNI 03-1967-1990 (1990) *Metode Pengujian Batas Atterberg Tanah*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).  
SNI 03-2828-1992 (1992) *Metode Pengujian Berat Jenis Tanah*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).  
SNI 8460:2017 (2017) *Tata Cara Perencanaan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).  
Mocc, C. F., Asher Tangjaya, N., William, C., Nelson, A., Adrisa, S., Denli, G., & Abraham, Y. (2023). *Pembangunan Infrastruktur Ekonomi Digital Di Ibu Kota Nusantara Sebagai Pendorong Ekonomi Berkelanjutan Indonesia*. *Journal Of International Multidisciplinary Research*, 1(2), 536–542. <https://journal.banjaresepacific.com/index.php/jimr>