

**PERILAKU LEMPUNG TEGUH  
DI BAWAH PEMBEBANAN BANGUNAN TINGGI**

**DISERTASI**



**Oleh:**

**Hanny Juliany Dani  
NPM : 2017832006**

**Promotor:**

**Prof. Ir. Paulus Pramono Rahardjo, MSCE, Ph.D.**

**Ko Promotor:**

**Prof. Ir. Dr. Ramli Nazir**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM DOKTOR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
SEPTEMBER 2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PERILAKU LEMPUNG TEGUH DI BAWAH PEMBEBANAN**  
**BANGUNAN TINGGI**

**DISERTASI**



**Oleh:**

**Hanny Juliany Dani**  
**NPM : 2017832006**

**Promotor:**

**Prof. Ir. Paulus Pramono Rahardjo, MSCE., Ph.D.**

**Ko Promotor:**

**Prof. Ir. Dr. Ramli Nazir**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM DOKTOR**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**BANDUNG**  
**SEPTEMBER 2023**

## Pernyataan

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut :

Nama : Hanny Julianny Dani  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017832006  
Program Studi : Doktor Teknik Sipil  
Fakultas Teknik  
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Disertasi dengan judul

### **Perilaku Lempung Teguh di Bawah Pembebanan Bangunan Tinggi**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Promotor dan Ko Promotor, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung

Tanggal : 7 September 2023



Hanny Julianny Dani

# **PERILAKU LEMPUNG TEGUH DI BAWAH PEMBEBANAN BANGUNAN TINGGI**

**Hanny Juliany Dani (NPM : 2017832006)**

**Promotor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, MSCE., Ph.D.**

**Ko-Promotor: Prof. Ir. Dr. Ramli Nazir**

**Doktor Ilmu Teknik Sipil**

**September 2023**

## **ABSTRAK**

Konstruksi bangunan tinggi di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan, khususnya di kota besar seperti Jakarta. Wilayah Jakarta secara umum terdiri dari tiga lapisan utama, lapisan permukaan merupakan lapisan lempung dengan konsistensi lunak sampai sedang, kemudian terdapat lapisan pasir berlanau yang sangat padat, dan kemudian diikuti dengan lapisan lempung lempung dengan konsistensi teguh sampai keras yang diselengi dengan lapisan pasir berlanau. Semakin banyak bangunan tinggi di Jakarta yang meletakkan fondasi-nya pada lapisan pasir yang padat, dan lapisan lanau lempung dibawahnya ikut berpartisipasi terhadap penurunan. Penentuan besar dan waktu penurunan yang terjadi menjadi faktor yang penting. Perhitungan penurunan umumnya didasari oleh teori Terzaghi, yang mengasumsikan bahwa penambahan tegangan akibat beban luar sepenuhnya dipikul oleh air ( $\Delta u = \Delta \sigma$ ), yang menjadi persoalan adalah apakah asumsi ini berlaku untuk semua jenis tanah.

Penelitian ini akan mempelajari karakteristik lempung teguh Jakarta, bagaimana tegangan air pori eksese terbentuk akibat pembebanan serta melakukan kajian perilaku penurunan lempung teguh berdasarkan data penurunan yang ada.

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder, baik itu data tanah maupun data monitoring penurunan di lapangan, juga melakukan pengujian di laboratorium.

Kesimpulan yang diperoleh adalah lempung teguh Jakarta yang umumnya merupakan tanah terkonsolidasi berlebih mempunyai perilaku yang berbeda dengan tanah terkonsolidasi normal. Ketika dibebani tidak sepenuhnya beban diterima oleh air, tetapi sebagian besar justru diterima oleh butiran tanah, hal ini menyebabkan penurunan yang terjadi relatif lebih kecil dibanding dari hasil perhitungan dan lebih cepat. Penurunan yang paling besar adalah penurunan sampai dengan masa konstruksi, yang besarnya bisa mencapai 60% sampai 80% dari penurunan total.

**Kata kunci :** Bangunan Tinggi, Lempung Teguh, Penurunan, Terkonsolidasi Berlebih.

# **BEHAVIOR OF STIFF CLAYS UNDER HIGH-RISE BUILDING LOADING**

**Hanny Juliany Dani (NPM : 2017832006)**

**Promotor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, MSCE., Ph.D.**

**Ko-Promotor: Prof. Ir. Dr. Ramli Nazir**

**Doctor of Civil Engineering**

**September 2023**

## **ABSTRACT**

The construction of tall buildings in Indonesia in recent years has shown an increase, especially in big cities such as Jakarta. The Jakarta area generally consists of three main layers, the surface layer is a clay layer with soft to medium consistency, then there is a very dense silty sand layer, and then followed by a clay loam layer with stiff to hard consistency interspersed with a silty sand layer. More and more high-rise buildings in Jakarta are laying their foundations on the dense sand layer, and the underlying clayey silt layer is participating in the settlement. Determining the amount and timing of settlement is an important factor. Settlement calculations are generally based on Terzaghi's theory, which assumes that the additional stress due to external loads is fully borne by water ( $\Delta u = \Delta \sigma$ ), the issue is whether this assumption applies to all types of soil.

This research will study the characteristics of Jakarta stiff clays, how the excess pore water stress is formed due to loading and study the settlement behavior of stiff clays based on existing settlement data.

The research was conducted by collecting secondary data, both soil data and field settlement monitoring data, as well as conducting laboratory tests.

The conclusion is that Jakarta's stiff clay, which is generally an over-consolidated soil, has a different behavior from normally consolidated soil. When loaded, not all of the load is received by the water, but most of it is received by the solid, this causes the settlement that occurs to be relatively smaller than the results of the calculation and faster. The largest settlement is the immediate settlement, which can reach 60% to 80% of the total decrease.

**Keywords:** High-rise Building, Overconsolidated, Stiff Clay, Settlement

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, atas segala anugerah dan pertolonganNya penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Perilaku Lempung Teguh di Bawah Pembebanan Bangunan Tinggi”. Penulisan disertasi ini didasari dengan semakin berkembangnya konstruksi bangunan tinggi di wilayah Jakarta yang memiliki lapisan lempung yang sangat tebal, sehingga penelitian ini merupakan upaya untuk memahami perilaku lempung teguh.

Selama proses penyusunan disertasi ini begitu banyak dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, MSCE., Ph.D., selaku promotor atas pengetahuan, bimbingan, kesabaran dan kesempatan untuk dapat menggunakan alat uji dan memperoleh data-data untuk menunjang penelitian ini. Terima kasih dan penghargaan kepada Bapak Prof. Ir. Dr. Ramli Nazir selaku ko-promotor yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang sangat berharga. Kepada Bapak Dr. Eng. Imam A. Sadisun, Bapak Budijanto Lim, Ph.D., Bapak Aswin Lim, Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan saran-saran yang sangat berharga dan koreksi untuk penyempurnaan disertasi ini.

Terima kasih kepada Pimpinan dan Staf Tata Usaha Program Doktor Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah banyak membantu penulis selama menempuh studi. Terima kasih kepada Yayasan Perguruan Tinggi Kristen Maranatha, Rektor, Wakil Rektor, Pimpinan Fakultas Teknik, Pimpinan dan seluruh rekan-rekan dosen secara khusus di KBK Geoteknik dan tenaga kependidikan Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha atas

kesempatan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh studi lanjut. Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk Pimpinan dan seluruh staf PT. Geotechnical Engineering Consultant (GEC) yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam memperoleh data-data yang diperlukan dan selama melakukan pengujian di laboratorium. Kepada teman-teman seperjuangan di Program Doktor dan Magister Ilmu Teknik Sipil Unpar untuk kebersamaan dan dukungan yang diberikan, dan kepada semua pihak yang telah membantu sampai diselesaikannya disertasi ini.

Penulis sangat bersyukur dan berterima kasih atas dukungan semangat, pengertian dan kesabaran dari suami tercinta Yosua Meinar Kaidun. Penghargaan juga untuk orang tua tercinta (Alm) Mami, Herni Djoni dan (Alm) Papi, Pdt. Em. Arifin Dani, yang telah mendidik dan membekali hal-hal baik dan teladan, sehingga penulis bisa sampai pada pencapaian saat ini. Terima kasih untuk seluruh keluarga besar yang selalu mendukung penulis. Terima kasih untuk setiap doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga dimampukan untuk dapat menyelesaikan studi.

*“Terpujilah Tuhan yang dapat dan mau melakukan jauh lebih banyak dari yang  
didoakan dan dipikirkan”*

Bandung, September 2023

Penulis

Hanny Juliany Dani

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Hipotesa.....	7
1.4 Maksud dan Tujuan.....	8
1.5 Lingkup Penelitian .....	8
1.6 Kontribusi Penelitian.....	9
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Pendahuluan .....	11
2.2 Proses Pembentukan Tanah.....	12
2.3 Karakteristik Lempung Endapan.....	14
2.4 Perilaku Konsolidasi .....	21
2.5 Penentuan Tegangan Prakonsolidasi dari Uji Konsolidasi .....	24
2.6 Penentuan Tegangan Prakonsolidasi dari Pendekatan Empiris .....	28
2.7 Karakteristik Tanah Lempung Teguh .....	30
2.8 Analisis Penurunan.....	34
2.8.1 Perhitungan Besar Penurunan .....	36
2.8.2 Kecepatan Penurunan Konsolidasi.....	39
2.8.3 Monitoring dan Instrumen Geoteknik untuk Sistem Fondasi .....	41
2.8.4 Metode Untuk Memprediksi Penurunan Final.....	42
2.9 Uji <i>Pressuremeter</i> (PMT) .....	45
2.9.1 Hasil Uji <i>Pressuremeter</i> (PMT).....	46
2.9.2 Interpretasi Parameter Kuat Geser dari Hasil Uji PMT .....	48
2.10 Uji Constant Rate of Strain (CRS).....	48



2.11 Penelitian Sebelumnya Tentang Penurunan Bangunan Tinggi dan Lempung Teguh .....	49
<b>BAB 3 PROGRAM PENELITIAN .....</b>	<b>53</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	53
3.2 Program Kerja.....	53
3.2.1 Penelitian Proporsi Penurunan Akibat Beban Bangunan Tinggi.....	53
Program kerja yang dilakukan untuk mencapai tujuan ini: .....	53
3.2.2 Korelasi Tegangan Leleh dengan Tegangan Prakonsolidasi Lempung Teguh Jakarta.....	54
3.2.3 Penelitian Bagaimana Tegangan Air Pori Ekses Terbentuk pada Lempung Teguh.....	54
3.3 Pengumpulan dan Analisis Data Sekunder dan Primer .....	55
<b>BAB 4 DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>61</b>
4.1 Pendahuluan.....	61
4.2 Tinjauan Geologi Lokasi Penelitian .....	61
4.3 Profil Pelapisan Tanah.....	64
4.3.1 Pelapisan Tanah Lokasi District 8 Jakarta.....	65
4.3.2 Pelapisan Tanah Lokasi Residence 8, Jakarta .....	69
4.3.3 Pelapisan Tanah Telkom Landmark Tower, Jakarta .....	71
4.3.4 Pelapisan Tanah Bari Tower, Jakarta .....	73
4.3.5 Kesimpulan Pelapisan Tanah.....	77
4.4 Profil Sifat Fisik Lempung Teguh Jakarta.....	77
4.4.1 Sifat Fisik Lempung Teguh District 8, Jakarta.....	77
4.4.2 Sifat Fisik Lempung Teguh Residence 8, Jakarta .....	83
4.4.3 Sifat Fisik Lempung Teguh Telkom Landmark Tower, Jakarta .....	88
4.4.4 Sifat Fisik Lempung Teguh Bari Tower, Jakarta .....	92
4.4.5 Rangkuman Sifat Fisik Lempung Teguh Jakarta .....	96
4.5 Profil Sifat Mekanik Lempung Teguh Jakarta .....	99
4.5.1 Karakteristik Kuat Geser Tanah Lempung Teguh Jakarta .....	99
4.5.2 Kesimpulan Kuat Geser Tanah.....	108
4.5.3 Karakteristik Kompresibilitas.....	108
4.5.4 Tegangan Prakonsolidasi.....	117
4.5.5 Hasil Uji <i>Pressuremeter</i> (PMT) .....	119
4.5.6 Kurva Tegangan- Regangan .....	122
4.5.7 Korelasi Antara Nilai Tegangan Prakonsolidasi dengan Tegangan Leleh	123
4.6 Hasil Uji <i>Constant Rate Strain</i> pada Lempung Teguh Jakarta.....	124
<b>BAB 5 MONITORING PENURUNAN .....</b>	<b>129</b>
5.1 Monitoring Penurunan.....	129

5.1.1	Perkiraan Penurunan Final .....	133
5.1.2	Derajat Konsolidasi dan Laju Penurunan ( <i>Rate Settlement</i> ).....	133
5.1.3	Kecepatan Penurunan Konsolidasi.....	139
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>143</b>
6.1	Kesimpulan .....	143
6.2	Saran.....	144
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>145</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>151</b>

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$C_c$	: indeks pemampatan
$C_v$	: koefisien konsolidasi
$e_o$	: angka pori
$G_s$	: <i>specific gravity</i>
$w$	: kadar air
$\gamma$	: berat volume tanah
$E_M$	: modulus kekakuan
$m_v$	: koefisien perubahan volume
$P_y$	: tegangan leleh
$S$	: penurunan
$S_f$	: penurunan final
$S_t$	: penurunan pada saat waktu = t
$S_u$	: kuat geser tidak terdainase ( <i>undrained shear strength</i> )
$t$	: waktu
$T_v$	: faktor waktu
$U$	: derajat konsolidasi
$\sigma' = p'$	: tegangan vertikal efektif
$\sigma'_c = p'_c$	: tegangan prakonsolidasi
$\Delta\sigma$	: penambahan tegangan
$\Delta u$	: tegangan air pori eksese
CRS	: <i>Constant Rate of Strain</i>
LI	: <i>Liquidity Index</i>
LL	: <i>Liquid Limit</i>
OCR	: <i>Overconsolidation Ratio</i>
PMT	: <i>Pressuremeter Test</i>
PL	: <i>Plastic Limit</i>
PI	: <i>Plasticity Index</i>
SPT	: <i>Standard Penetration Test</i>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Skema Perubahan Tegangan Air Pori Ekses dan Tegangan Efektif pada Tanah .....	4
<b>Gambar 1.2</b> Skema Perubahan Tegangan Air Pori Ekses dan Tegangan Efektif pada Tanah .....	5
<b>Gambar 2.1</b> Cara Pembentukan Tanah Residu dan Tanah Endapan (Wesley, 2010) .....	12
<b>Gambar 2.2</b> Diagram Proses Pembentukan Tanah Menurut Wesley (Wesley, 2010) .....	13
<b>Gambar 2.3</b> Variasi Indeks Kecairan (LI) (modifikasi dari Kulhawy dan Mayne, 1990) .....	15
<b>Gambar 2.4</b> Rasio Kompresi sebagai Fungsi dari Kadar Air Natural (modifikasi dari Lambe dan Whitman, 1969).....	16
<b>Gambar 2.5</b> Korelasi Antara $K_0$ dengan Nilai PI dan OCR (Brooker dan Ireland, 1965) .....	17
<b>Gambar 2.6</b> Proses Pengendapan dan Pemampatan Tanah Endapan (Wesley, 2010) .....	18
<b>Gambar 2.7</b> Hasil Uji Konsolidasi Tanah OC dari Surry, Virginia (B. Chen dan Mayne, 1994).....	19
<b>Gambar 2.8</b> Riwayat Geologi dan Pemampatan pada Lempung Terkonsolidasi Normal (modifikasi dari Bjerrum 1973).....	21
<b>Gambar 2.9</b> Skema Alat Uji Konsolidasi (Sumber : Das, 2010) .....	21
<b>Gambar 2.10</b> Idealisasi Kurva e-log $p'$ Hasil Uji Konsolidasi .....	22
<b>Gambar 2.11</b> Hasil Uji Oedometer Tanah Terkonsolidasi Normal (Wesley 2010) .....	22
<b>Gambar 2.12</b> Hasil Uji Oedometer pada Tanah Lempung Terkonsolidasi Berlebih (Wesley 2010).....	23
<b>Gambar 2.13</b> Penentuan Tegangan Prakonsolidasi Metode Casagrande,1936 (Sumber :Das B.M, 2010).....	24
<b>Gambar 2.14</b> Penentuan Tegangan Prakonsolidasi Metode Butterfield,1970 (Chen dan Mayne, 1994).....	25
<b>Gambar 2.15</b> Penentuan Tegangan Prakonsolidasi Metode Jamiolkowski dan Marchetti, 1969 (Chen dan Mayne, 1994).....	26
<b>Gambar 2.16</b> Penentuan Tegangan Prakonsolidasi Metode Becker, 1987 (Chen dan Mayne, 1994).....	26
<b>Gambar 2.17</b> Penentuan Tegangan Prakonsolidasi (= Tegangan Leleh) dari Kurva $I_v$ -log $\sigma_v'$ (Burland, 1990) .....	28
<b>Gambar 2.18</b> Variasi Nilai $A_f$ Terhadap OCR untuk Weald Clay dari Bishop dan Henkel 1957 (Chen dan Mayne, 1994).....	29
<b>Gambar 2.19</b> Korelasi $B_q^*$ dengan OCR (Rahardjo et al 2016) .....	29

<b>Gambar 2.20</b> Profil Bawah Tanah di Kota Frankfurt Am Main (Katzenbach et al, 2000) .....	32
<b>Gambar 2.21</b> Pelapisan Tanah dan Variasi Nilai <i>Undrained Shear Strength</i> terhadap Kedalaman di Daerah Frankfurt (Franke, 2000).....	33
<b>Gambar 2.22</b> Nilai $c_u$ terhadap Kedalaman untuk London Clay (Frichmann et al, 1962) .....	34
<b>Gambar 2.23</b> Tiga komponen penurunan fondasi (X. Chen, 2011)) .....	35
<b>Gambar 2.24</b> Idealisasi Hasil Uji Konsolidasi .....	37
<b>Gambar 2.25</b> Kurva Hubungan Regangan -Tegangan Hasil Uji Konsolidasi (Holtz et al, 2011).....	38
<b>Gambar 2.26</b> Penentuan $c_v$ Metode Casagrande (B.M. Das, 2010).....	39
<b>Gambar 2.27</b> Penentuan $c_v$ Metode Taylor (B.M. Das, 2010) .....	40
<b>Gambar 2.28</b> Metode Asaoka (Asaoka 1978) .....	43
<b>Gambar 2.29</b> Metode Hiperbolik (Tan 1991).....	44
<b>Gambar 2.30</b> Metode $1/t$ .....	45
<b>Gambar 2.31</b> Contoh Kurva Hasil Uji PMT (GEC,2014).....	47
<b>Gambar 3.1</b> Lokasi Proyek Penelitian (Google Map) .....	53
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian .....	55
<b>Gambar 3.3</b> Komponen <i>Magnet Extensometer</i> (Geo Slope, 2004).....	57
<b>Gambar 3.4</b> Skema Pembacaan <i>Magnet Extensometer</i> .....	58
<b>Gambar 3.5</b> Posisi Datum dan Spider Magnet pada Equity Tower (Rahardjo et al, 2009) .....	59
<b>Gambar 3.6</b> Kurva Beban -Waktu dan Penurunan Waktu Equity Tower (Rahardjo, et al, 2009).....	60
<b>Gambar 4.1</b> Perubahan Permukaan Air Laut dan Umur Endapan Delta (Kim, 2008) .....	62
<b>Gambar 4.2</b> Potongan Melintang Selatan-Utara Jakarta ((Fachri, 2002).....	63
<b>Gambar 4.3</b> Peta Geologi Lokasi Penelitian .....	64
<b>Gambar 4.4</b> Lokasi Titik Uji pada Lokasi District 8 (GEC, 2014).....	65
<b>Gambar 4.5</b> Pelapisan Tanah Potongan A-A, District 8 Jakarta.....	66
<b>Gambar 4.6</b> Pelapisan Tanah Potongan B-B, District 8 Jakarta .....	67
<b>Gambar 4.7</b> Pelapisan Tanah Potongan C-C, District 8 Jakarta .....	68
<b>Gambar 4.8</b> Pelapisan Tanah BTW1-BTW2, Residence 8 Jakarta .....	69
<b>Gambar 4.9</b> Pelapisan Tanah Potongan BTW2 – BTW3, Residence 8 Jakarta .....	70
<b>Gambar 4.10</b> Lokasi Titik Penyelidikan Tanah Telkom Landmark (Sofoco, 2012).....	71

<b>Gambar 4.11</b> Pelapisan Tanah Telkom Landmark Jakarta .....	72
<b>Gambar 4.12</b> Lokasi Titik Penyelidikan Bari Tower (PT Testana Indoteknika, 2019) ...	73
<b>Gambar 4.13</b> Pelapisan Tanah Potongan A-A, Bari Tower Jakarta .....	74
<b>Gambar 4.14</b> Pelapisan Tanah Potongan B-B, Bari Tower Jakarta.....	75
<b>Gambar 4.15</b> Pelapisan Tanah Potongan C-C, Bari Tower Jakarta.....	76
<b>Gambar 4.16</b> Distribusi Kadar Air dan Gs vs Kedalaman, Lokasi District 8 Jakarta .....	78
<b>Gambar 4.17</b> Distribusi Angka Pori dan $\gamma$ vs Kedalaman, Lokasi District 8 Jakarta .....	79
<b>Gambar 4.18</b> Distribusi LL dan PL vs Kedalaman, Lokasi District 8 Jakarta.....	79
<b>Gambar 4.19</b> Distribusi PI dan LI vs Kedalaman, Lokasi District 8 Jakarta .....	80
<b>Gambar 4.20</b> Jenis Tanah Berdasarkan Bagan Plastisitas Casagrande (District 8 Jakarta) .....	81
<b>Gambar 4.21</b> Distribusi Ukuran Butir BH 1 – BH 10, District 8 Jakarta .....	82
<b>Gambar 4.22</b> Distribusi Ukuran Butir DB1 – DB2, District 8 Jakarta .....	82
<b>Gambar 4.23</b> Persentase Kandungan Lempung, Lanau, Pasir vs Kedalaman (District 8) .....	83
<b>Gambar 4.24</b> Distribusi Kadar Air dan Gs vs Kedalaman, Lokasi Residence 8 Jakarta..	84
<b>Gambar 4.25</b> Distribusi Angka Pori dan $\gamma$ vs Kedalaman, Lokasi Residence 8 Jakarta ..	84
<b>Gambar 4.26</b> Distribusi LL dan PL vs Kedalaman, Lokasi Residence 8 Jakarta .....	85
<b>Gambar 4.27</b> Distribusi PI dan LI vs Kedalaman, Lokasi Residence 8 Jakarta.....	85
<b>Gambar 4.28</b> Jenis Tanah Berdasarkan Bagan Plastisitas Casagrande (Residence 8 Jakarta) .....	86
<b>Gambar 4.29</b> Distribusi Ukuran Butir Residence 8 Jakarta.....	87
<b>Gambar 4.30</b> Persentase Kandungan Lempung, Lanau, Pasir vs Kedalaman (Residence 8) .....	87
<b>Gambar 4.31</b> Distribusi Kadar Air dan Gs vs Kedalaman, Lokasi Telkom Landmark Jakarta .....	88
<b>Gambar 4.32</b> Distribusi $\gamma$ dan Angka Pori vs Kedalaman, Lokasi Telkom Landmark Jakarta .....	89
<b>Gambar 4.33</b> Distribusi LL dan PL vs Kedalaman, Lokasi Telkom Landmark Jakarta ..	89
<b>Gambar 4.34</b> Distribusi PI dan LI vs Kedalaman, Lokasi Telkom Landmark Jakarta ....	90
<b>Gambar 4.35</b> Jenis Tanah Berdasarkan Bagan Plastisitas Casagrande (Telkom Landmark) .....	91
<b>Gambar 4.36</b> Persentase Kandungan Lempung, Lanau, Pasir vs Kedalaman (Telkom Landmark).....	91

<b>Gambar 4.37</b> Distribusi Kadar Air dan $G_s$ vs Kedalaman, Lokasi Bari Tower, Jakarta ..	92
<b>Gambar 4.38</b> Distribusi Angka Pori dan $\gamma$ vs Kedalaman, Lokasi Bari Tower, Jakarta ..	93
<b>Gambar 4.39</b> Distribusi LL dan PL vs Kedalaman, Lokasi Bari Tower, Jakarta .....	93
<b>Gambar 4.40</b> Distribusi PI dan LI vs Kedalaman, Lokasi Bari Tower, Jakarta .....	94
<b>Gambar 4.41</b> Jenis Tanah Berdasarkan Bagan Plastisitas Casagrande (Bari Tower Jakarta) .....	95
<b>Gambar 4.42</b> Distribusi Ukuran Butir Bari Tower Jakarta .....	95
<b>Gambar 4.43</b> Persentase Kandungan <i>Sand</i> , <i>Clay</i> dan <i>Silt</i> vs Kedalaman (Lokasi Bari Tower Jakarta).....	96
<b>Gambar 4.44</b> Nilai Kadar Air untuk Lempung Teguh Jakarta .....	96
<b>Gambar 4.45</b> Nilai $G_s$ untuk Lempung Teguh Jakarta .....	96
<b>Gambar 4.46</b> Nilai Berat Volume Tanah untuk Lempung Teguh Jakarta .....	97
<b>Gambar 4.47</b> Nilai Angka Pori untuk Lempung Teguh Jakarta .....	97
<b>Gambar 4.48</b> Nilai Batas Cair untuk Lempung Teguh Jakarta.....	97
<b>Gambar 4.49</b> Nilai Batas Plastis untuk Lempung Teguh Jakarta .....	97
<b>Gambar 4.50</b> Nilai Batas Plastis untuk Lempung Teguh Jakarta .....	97
<b>Gambar 4.51</b> Nilai Indeks Kecairan untuk Lempung Teguh Jakarta.....	98
<b>Gambar 4.52</b> Persentase Partikel Lanau pada Lempung Teguh Jakarta .....	98
<b>Gambar 4.53</b> Persentase Partikel Lempung pada Lempung Teguh Jakarta.....	98
<b>Gambar 4.54</b> Persentase Partikel Pasir pada Lempung Teguh Jakarta .....	98
<b>Gambar 4.55</b> Jenis Tanah Lempung Teguh Jakarta Berdasarkan Bagan Plastisitas Casagrande.....	99
<b>Gambar 4.56</b> Distribusi Nilai $S_u$ vs Kedalaman (Lokasi District 8 Jakarta) .....	100
<b>Gambar 4.57</b> Distribusi Nilai $S_u$ vs Kedalaman (Lokasi Residence 8 Jakarta).....	101
<b>Gambar 4.58</b> Distribusi Nilai $S_u$ vs Kedalaman (Lokasi Telkom Landmark Jakarta) ...	101
<b>Gambar 4.59</b> Distribusi Nilai $S_u$ vs Kedalaman (Bari Tower Jakarta) .....	102
<b>Gambar 4.60</b> Distribusi $S_u/p'_o$ vs Kedalaman Lokasi District 8 Jakarta .....	103
<b>Gambar 4.61</b> Distribusi $S_u/p'_o$ vs Kedalaman Lokasi Residence 8 Jakarta.....	103
<b>Gambar 4.62</b> Distribusi $S_u/p'_o$ vs Kedalaman Lokasi Telkom Landmark Jakarta.....	104
<b>Gambar 4.63</b> Distribusi $S_u/p'_o$ vs Kedalaman Lokasi Bari Tower Jakarta .....	104
<b>Gambar 4.64</b> Lempung Teguh Jakarta di Plot pada Kurva Terpublikasi ((Holtz et al, 2011) .....	105
<b>Gambar 4.65</b> Hasil Uji Triaxial CU (BH 2) Bari Tower Jakarta (PT Testana Indoteknika, 2019).....	106

<b>Gambar 4.66</b> Hasil Uji Triaxial CU (BH 3) Bari Tower Jakarta (PT Testana Indoteknika, 2019).....	107
<b>Gambar 4.67</b> Rekapitulasi nilai $S_u$ Lempung Teguh Jakarta .....	108
<b>Gambar 4.68</b> Kurva e-log $p'$ District 8 Jakarta .....	109
<b>Gambar 4.69</b> Kurva e- $p'$ District 8 Jakarta .....	109
<b>Gambar 4.70</b> Kurva Kadar Air – log $p'$ District 8 Jakarta .....	110
<b>Gambar 4.71</b> Kurva $C_c$ terhadap Kedalaman District 8 Jakarta .....	110
<b>Gambar 4.72</b> Distribusi Nilai $p'_{o,}$ $p'_c$ dan OCR terhadap Kedalaman (District 8 Jakarta) .....	111
<b>Gambar 4.73</b> Kurva e-log $p'$ Residence 8 Jakarta.....	111
<b>Gambar 4.74</b> Kurva e- $p'$ Residence 8 Jakarta.....	112
<b>Gambar 4.75</b> Distribusi Nilai $C_c$ terhadap Kedalaman (Residence 8 Jakarta).....	112
<b>Gambar 4.76</b> Distribusi Nilai $p'_{o,}$ $p'_c$ dan OCR terhadap Kedalaman (Residence 8 Jakarta) .....	113
<b>Gambar 4.77</b> Kurva e-log $p'$ Bari Tower Jakarta.....	113
<b>Gambar 4.78</b> Kurva e- $p'$ Bari Tower Jakarta.....	114
<b>Gambar 4.79</b> Kurva Kadar Air – log $p'$ Bari Tower Jakarta .....	114
<b>Gambar 4.80</b> Distribusi Nilai $C_c$ terhadap Kedalaman (Bari Tower Jakarta).....	115
<b>Gambar 4.81</b> Distribusi Nilai $p'_{o,}$ $p'_c$ dan OCR terhadap Kedalaman (Bari Tower Jakarta) .....	115
<b>Gambar 4.82</b> Nilai $A_f$ Bari Tower pada Kurva Terpublikasi ((B. Chen & Mayne, 1994) .....	116
<b>Gambar 4.83</b> Nilai $CR$ terhadap Kadar Air pada Kurva Terpublikasi (Lambe & Whitman, 1969).....	116
<b>Gambar 4.84</b> Distribusi Nilai $C_c$ dan $CR$ vs Kedalaman.....	117
<b>Gambar 4.85</b> Distribusi Nilai Tegangan Prakonsolidasi vs Kedalaman.....	119
<b>Gambar 4.86</b> Sebaran Nilai $P_{0,}$ dan $P_y,$ vs Kedalaman.....	120
<b>Gambar 4.87</b> Sebaran Nilai $P_L$ dan $E_M$ vs Kedalaman .....	121
<b>Gambar 4.88</b> Korelasi $P_o$ dan $P_y$ dengan $N$ SPT.....	121
<b>Gambar 4.89</b> Kurva Hubungan antara $E_M$ (Mpa) dengan $N$ SPT .....	122
<b>Gambar 4.90</b> Kurva Hasil Uji PMT $P/P_o$ vs $\Delta r/R$ .....	123
<b>Gambar 4.91</b> Korelasi antara $P_y$ dan $p'_c$ Lempung Teguh Jakarta .....	124
<b>Gambar 4.92</b> Kurva Hubungan e-log $p'$ Hasil Uji CRS.....	125
<b>Gambar 4.93</b> Kurva Hubungan Tegangan Vertikal Total vs Log Waktu Hasil Uji CRS .....	126



<b>Gambar 4.94</b> Kurva Hubungan Base Excess Pressure vs Log Waktu Hasil Uji CRS ...	126
<b>Gambar 4.95</b> Kurva Hubungan Tegangan Vertikal Efektif vs Log Waktu Hasil Uji CRS .....	126
<b>Gambar 4.96</b> Kurva Hubungan Displacement vs Log Waktu Hasil Uji CRS .....	127
<b>Gambar 4.97</b> Kurva Hubungan Axial Total Strain vs Log Waktu Hasil Uji CRS.....	127
<b>Gambar 4.98</b> Kurva Hubungan $u/\sigma$ vs Log Waktu Hasil Uji CRS.....	128
<b>Gambar 5.1</b> Lokasi Titik Pengamatan Penurunan District 8 .....	130
<b>Gambar 5.2</b> Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 1, District 8 .....	130
<b>Gambar 5.3</b> Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 2, District 8 .....	131
<b>Gambar 5.4</b> Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 3, District 8 .....	131
<b>Gambar 5.5</b> Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower OF 1, District 8 .....	132
<b>Gambar 5.6</b> Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower OF 2, District 8 .....	132
<b>Gambar 5.7</b> Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP1), District 8 .....	134
<b>Gambar 5.8</b> Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP2), District 8 .....	135
<b>Gambar 5.9</b> Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP3), District 8 .....	135
<b>Gambar 5.10</b> Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower OF 1), District 8 .....	136
<b>Gambar 5.11</b> Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower OF 2), District 8 .....	136
<b>Gambar 5.12</b> Rate Settlement vs Waktu Tower AP 1 District 8 .....	137
<b>Gambar 5.13</b> Rate Settlement vs Waktu Tower AP 2 District 8 .....	137
<b>Gambar 5.14</b> Rate Settlement vs Waktu Tower AP 3 District 8 .....	138
<b>Gambar 5.15</b> Rate Settlement vs Waktu Tower OF 1 District 8 .....	138
<b>Gambar 5.16</b> Rate Settlement vs Waktu Tower OF 2 District 8 .....	139
<b>Gambar 5.17</b> Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai $C_v$ Titik OF1-S1 .....	140
<b>Gambar 5.18</b> Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai $C_v$ Titik OF1-S2 .....	140
<b>Gambar 5.19</b> Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai $C_v$ Titik OF1-S3 .....	141

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Metode Penentuan Tegangan Prakonsolidasi dari Hasil Uji Oedometer (Chen dan Mayne, 1994) .....	27
<b>Tabel 2.2</b> Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai $S_u$ (Wesley, 2010) .....	30
<b>Tabel 2.3</b> Korelasi Antara N-SPT dengan Konsistensi Tanah Berdasarkan AASHTO 1988 (Verbrugge dan Schroeder, 2018) .....	30
<b>Tabel 2.4</b> Kepadatan Tanah Berdasarkan Nilai Modulus Berdasarkan AASTHO 1996 (Verbrugge dan Schroeder, 2018) .....	31
<b>Tabel 2.5</b> Nilai yang Diharapkan dari $E_o$ dan $P_L$ pada Tanah (Briaud, 2013).....	31
<b>Tabel 2.6</b> Hasil Uji Laboratorium Lempung Frankfurt dari Lokasi Main Tower Building (Katzenbach, 2000) .....	33
<b>Tabel 2.7</b> Faktor Pengaruh $I_m$ (Lee,1962) dan $I_p$ (Schleicher, 1962) untuk Fondasi Kaku, dan Faktor Pengaruh untuk Fondasi Fleksibel (Terzaghi, 1943) (Sumber : Hardiyatmo, 2011).....	36
<b>Tabel 2.8</b> Nilai Koreksi $\mu$ untuk Penurunan Konsolidasi (Skempton dan Bjerrum, 1957) .....	38
<b>Tabel 2.9</b> Kecepatan regangan yang disarankan untuk uji CRS (Head, 1986).....	49
<b>Tabel 4.1</b> Nilai Tegangan Prakonsolidasi dengan Berbagai Metode.....	118
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Uji PMT pada Lapisan Lempung Teguh .....	120
<b>Tabel 4.3</b> Data sampel tanah CRS .....	125
<b>Tabel 5.1</b> Perkiraan Penurunan Final District 8 .....	134

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1 Bor Log .....</b>	<b>152</b>
<b>Lampiran 2 Indeks Properties Tanah.....</b>	<b>201</b>
<b>Lampiran 3 Hasil Uji Kuat Geser Tanah .....</b>	<b>205</b>
<b>Lampiran 4 Hasil Uji Konsolidasi.....</b>	<b>207</b>
<b>Lampiran 5 Penentuan Tegangan Prakonsolidasi.....</b>	<b>217</b>
<b>Lampiran 6 Hasil Uji PMT.....</b>	<b>249</b>
<b>Lampiran 7 Perkiraan Penurunan Final.....</b>	<b>261</b>

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan tinggi di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan, khususnya di kota besar seperti Jakarta. Lapisan tanah di Jakarta umumnya terdiri dari tanah lunak sampai sedang pada lapis permukaan, kemudian terdapat lapisan pasir tersementasi atau pasir padat, dan pada lapisan bawah terdapat lapisan lempung teguh sampai sangat teguh. Banyak bangunan bertingkat tinggi di Jakarta yang fondasinya diletakkan pada lapisan pasir tersementasi, dan lapisan lempung teguh yang berada dibawahnya berkontribusi terhadap penurunan keseluruhan (Rahardjo, 2009, Surya, 2014).

Dalam desain bangunan tinggi, menentukan besar dan waktu penurunan yang akan terjadi menjadi salah satu faktor yang penting. Banyak teori dan metode yang telah dikembangkan untuk memprediksi besar dan waktu penurunan yang terjadi namun masih menjadi persoalan, karena sangat tergantung dari perilaku lapisan tanah yang mengalami pembebanan.

Perhitungan penurunan lapisan tanah secara umum didasari oleh teori konsolidasi 1 dimensi dari Terzaghi (1925). Terzaghi memberikan persamaan untuk menghitung besarnya penurunan konsolidasi ( $S_{oed}$ ) yang terjadi pada lapisan lempung akibat penambahan tegangan vertikal sebesar  $\Delta\sigma'$  ( $=\Delta p'$ ), dengan menggunakan parameter koefisien perubahan volume ( $m_v$ ) yang diperoleh dari uji konsolidasi ( $S_{oed} = \sum_{i=0}^j m_{vi} \cdot \Delta\sigma' \cdot \Delta z$ ), dengan  $\Delta z$  adalah tebal lapisan lempung. Terzaghi mengasumsikan bahwa besarnya  $S_{oed}$  sama dengan penurunan total.

Skempton et al, 1956, melakukan analisis penurunan pada sejumlah konstruksi bangunan (jembatan dan gedung) di Chicago dan London yang menggunakan metode perhitungan penurunan 1(satu) dimensi Terzaghi. Hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan pada akhir konstruksi (penurunan seketika) lebih besar dibanding penurunan konsolidasi yang terjadi, juga ada perbedaan besar penurunan antara hasil perhitungan dengan hasil pengamatan di lapangan. Hasil analisis ini kemudian menjadi latar belakang bagi Skempton dan Bjerrum, 1957 untuk memberikan faktor koreksi sebesar  $\mu$  terhadap persamaan Terzaghi 1D, dengan argumentasi bahwa penurunan konsolidasi terjadi akibat terdisipasinya tegangan air pori eksese ( $\Delta u$ ), sehingga penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) =  $\mu \cdot S_{oed}$ , dan penurunan total ( $S_t$ ) =  $S_i + S_c$ , dengan  $S_i$  adalah penurunan seketika. Nilai faktor koreksi ( $\mu$ ) merupakan nilai yang tergantung dari koefisien tegangan air pori Skempton, A.

Burland dan Wroth, 1974 menyatakan bahwa rasio antara penurunan seketika terhadap penurunan total merupakan nilai yang penting, dan nilai ini dipengaruhi oleh riwayat pembebanan. Penelitian terhadap rasio antara besar penurunan seketika terhadap penurunan total telah dilakukan diantaranya oleh Simons, 1970, Morton dan Au, 1974, Burland dan Wroth, 1974, Katzenbach, 2017. Penelitian dilakukan pada bangunan yang berdiri di atas lapisan lempung yang terkonsolidasi berlebih dan lempung yang terkonsolidasi normal. Hasil yang dapat disimpulkan dari penelitian-penelitian ini adalah bahwa pada lempung terkonsolidasi normal rasio penurunan seketika terhadap penurunan total kurang dari 0,2 sedangkan pada lempung yang terkonsolidasi berlebih rasio bisa mencapai 0,6 – 0,8. Hal ini

menunjukkan adanya perbedaan laju penurunan antara lempung terkonsolidasi normal dan lempung terkonsolidasi berlebih.

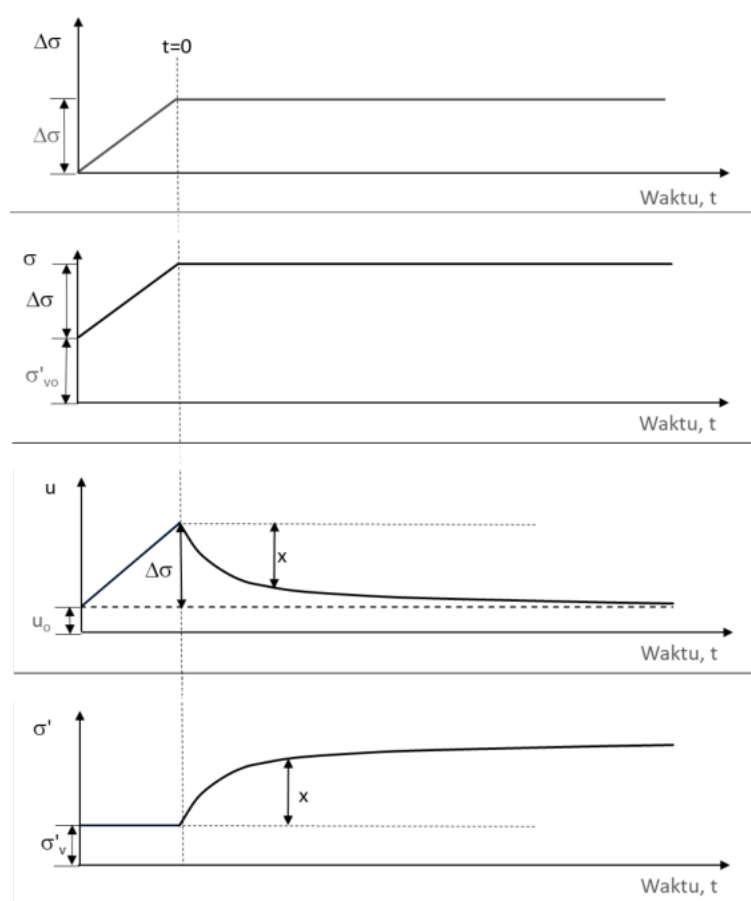
Untuk memperoleh data penurunan aktual yang terjadi di lapangan, monitoring lapangan pada bangunan tinggi di Jakarta telah banyak dilakukan, namun data yang ada belum diolah dan dikaji lebih mendalam. Data hasil monitoring pada bangunan tinggi di Jakarta menunjukkan besar penurunan yang terjadi lebih kecil, dan laju penurunan lebih pendek daripada hasil perhitungan yang didasarkan pada teori Terzaghi. Hal ini menjadikan perilaku lempung teguh menjadi perhatian bagi perencana bangunan tinggi di Jakarta karena mempunyai karakteristik yang berbeda.

Dalam penelitian ini yang akan menjadi perhatian adalah bagaimana perilaku lempung teguh di bawah pembebanan bangunan tinggi sehingga dapat memberikan solusi dalam memprediksi besar dan waktu penurunan yang akan terjadi.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Teori yang umum digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan besar dan waktu penurunan adalah teori konsolidasi Terzaghi. Konsolidasi terjadi akibat adanya perubahan tegangan efektif yang disebabkan terdisipasinya tegangan air pori eksese akibat suatu pembebanan. Teori konsolidasi Terzaghi menyatakan bahwa ketika penambahan tegangan akibat beban luar ( $\Delta\sigma$ ) diterapkan, maka pada waktu  $t=0$ , tegangan air pori eksese ( $\Delta u$ ) akan segera terbentuk, sehingga  $\Delta u = \Delta\sigma$ . Seiring dengan waktu tegangan air pori eksese yang terbentuk akan terdisipasi. Skema perubahan tegangan efektif dijelaskan melalui **Gambar 1.1**.

Asumsi dari Terzaghi ini berlaku untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal.

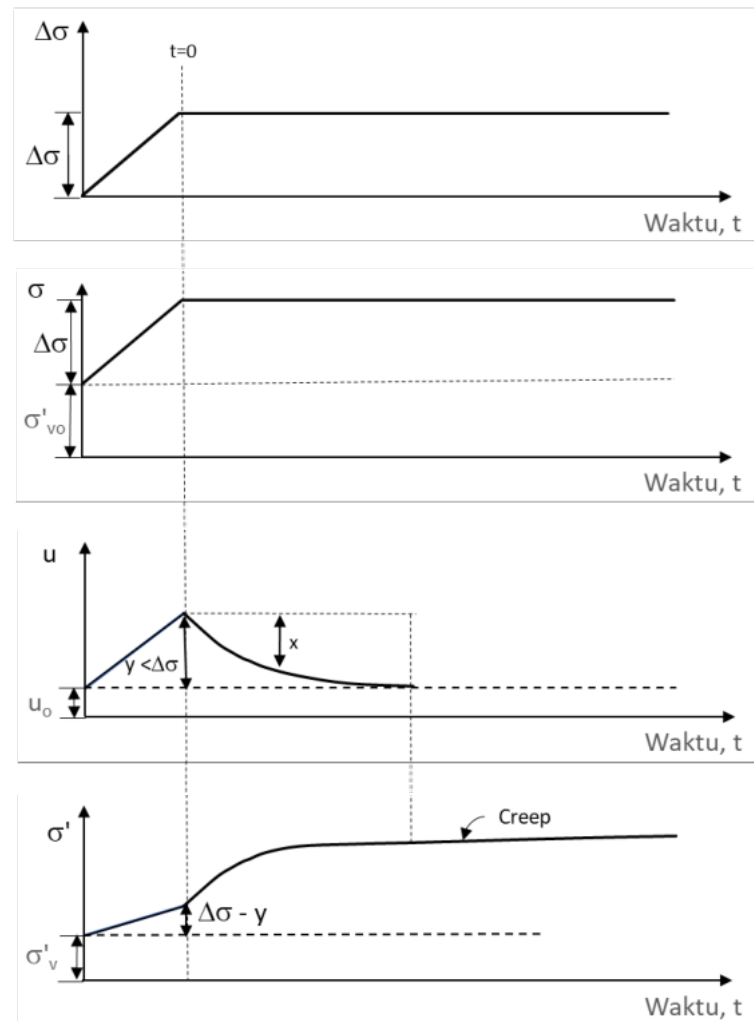


**Gambar 1.1** Skema Perubahan Tegangan Air Pori Ekses dan Tegangan Efektif pada Tanah Terkonsolidasi Normal

Lapisan lempung yang terdapat pada bagian bawah wilayah Jakarta merupakan sedimen tua, yang disebut sebagai aluvium tua atau diluvium, mempunyai konsistensi teguh sampai sangat teguh, sehingga umum dikenal sebagai lempung teguh. Lapisan lempung ini umumnya berperilaku seperti lempung terkonsolidasi berlebih. Ketika lempung tersebut mengalami penambahan beban sebesar  $\Delta\sigma$ , tegangan air pori ekses ( $\Delta u$ ) yang timbul pada saat waktu  $t=0$ , lebih kecil dari besarnya beban, karena sebagian beban dipikul oleh butiran tanah. Skema

perubahan tegangan efektif untuk lempung terkonsolidasi berlebih dijelaskan pada

**Gambar 1.2**



**Gambar 1.2** Skema Perubahan Tegangan Air Pori Ekses dan Tegangan Efektif pada Tanah Terkonsolidasi Berlebih

Bagaimana tegangan air pori ekses terbentuk akibat pembebanan akan menjadi objek dalam penelitian ini.

Respon tanah ketika mengalami pembebanan berbeda-beda tergantung dari jenis tanah dan riwayat tegangannya yang ditentukan oleh besarnya tegangan prakonsolidasi ( $\sigma'_{vc} = p'_c$ ). Dalam perhitungan penurunan dengan menggunakan



teori Terzaghi, besarnya tegangan prakonsolidasi sangat menentukan, namun penentuan tegangan prakonsolidasi yang tepat dari hasil uji konsolidasi masih menjadi suatu persoalan, karena pada saat tanah dibawa ke laboratorium seringkali mengalami gangguan sehingga tidak sama dengan kondisi di lapangan. Beberapa korelasi telah dikembangkan untuk menentukan besarnya tegangan prakonsolidasi berdasarkan parameter tanah lainnya. Sebagai contoh kurva yang diberikan oleh Kulhawy (2008), nilai tegangan prakonsolidasi, dapat diperoleh jika nilai indeks kecairan (*liquidity index*), LI dan sensitivitas ( $S_t$ ) diketahui. Saat ini juga banyak digunakan uji lapangan (*insitu test*), diantaranya uji *pressuremeter* (PMT). Parameter yang diperoleh dari uji *pressuremeter* diantaranya adalah tegangan leleh atau *yield pressure* ( $P_y$ ) dan tegangan batas atau *limit pressure* ( $P_L$ ).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan korelasi antara hasil uji *pressuremeter* dengan uji konsolidasi. Mori dan Tajima, 1964 memberikan korelasi antara tegangan prakonsolidasi ( $\sigma'_c = p'_c$ ) dengan tegangan leleh ( $p_y$ ) dengan persamaan  $p'_c = P_y$ . Kulhawy dan Mayne, 1990 memberikan korelasi antara tegangan prakonsolidasi dengan tegangan limit ( $P_L$ ) yang diperoleh dari uji *Pressuremeter* dengan persamaan  $p'_c = 0.45P_L$ .

Tjie Liong Gouw, 2020 melakukan penelitian terhadap lempung teguh di wilayah Bendungan Hilir Jakarta dan menyimpulkan bahwa tegangan leleh ( $P_y$ ) ekuivalen dengan tegangan prakonsolidasi ( $p'_c$ ).

Bagaimana korelasi antara tegangan prakonsolidasi ( $p'_c$ ) yang diperoleh dari uji konsolidasi dengan tegangan leleh ( $P_y$ ) yang diperoleh dari uji *pressuremeter* pada lempung teguh Jakarta akan menjadi hal yang diteliti.

### 1.3 Hipotesa

1. Mekanisme pemikulan beban pada tanah lempung teguh berbeda dengan lempung lunak, dimana pada lempung lunak beban yang bekerja seluruhnya dipikul oleh air (teori Terzaghi tentang konsolidasi). Sementara itu penambahan beban akibat bangunan tinggi pada lempung teguh tidak 100% dipikul oleh air, tetapi sebagian dipikul langsung oleh butir tanah sehingga tegangan air pori eksese yang timbul menjadi lebih kecil. Dengan demikian penurunan konsolidasi bangunan tinggi yang berada di atas lapisan lempung teguh tidak mengikuti teori Terzaghi.
2. Proses penurunan pada bangunan tinggi sebagian besar sudah berjalan sejak masa konstruksi, sehingga laju penurunan akan tergantung pada proporsi beban yang diterima fondasi/tanah.
3. Tegangan prakonsolidasi (*stress history*) pada lempung teguh di Jakarta pada umumnya tinggi.
4. Ada hubungan antara tegangan leleh  $P_y$  dari hasil uji *pressuremeter* dan tegangan prakonsolidasi  $p'_c$  dari hasil uji konsolidasi, karena kedua nilai tersebut mencerminkan perubahan perilaku tanah dari elastis menjadi plastis.
5. Lempung teguh di Jakarta memiliki nilai indeks kecairan (LI) yang rendah sehingga akan memiliki kuat geser yang tinggi dan kemampatan yang rendah.
6. Aluvium tua di Jakarta mayoritas ukuran butirnya lanau tetapi perilakunya dikontrol oleh butir lempung.

#### **1.4 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan kajian perilaku penurunan lempung teguh berdasarkan data penurunan bangunan tinggi yang ada. Kajian ini melibatkan juga penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
2. Menggunakan data sekunder hasil uji laboratorium dan uji lapangan pada proyek bangunan tinggi yang berdiri di atas lapisan lempung teguh untuk mengetahui perilaku lempung teguh.
3. Menggunakan data penurunan bangunan tinggi versus waktu sebagai aplikasi dari pengembangan teori.

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Memastikan proporsi penurunan akibat beban awal yang terjadi pada lempung teguh.
2. Mendapatkan korelasi antara tegangan leleh dari uji *pressuremeter* dengan tegangan prakonsolidasi dari uji konsolidasi.

#### **1.5 Lingkup Penelitian**

Untuk mencapai tujuan penelitian, lingkup penelitian meliputi:

1. Kajian literatur dari berbagai sumber tentang lempung teguh.
2. Pengumpulan data sekunder, yang meliputi data hasil uji laboratorium (uji properties, konsolidasi, batas-batas Atterberg, triaxial (CU, UU) dan hasil uji

lapangan (uji penetrasi standar atau SPT, dan uji *pressuremeter* atau PMT) dari lempung teguh.

3. Pengumpulan data sekunder hasil monitoring penurunan yang terjadi pada lapisan lempung teguh akibat bangunan tinggi.
4. Mempelajari bagaimana tegangan air pori eksese terbentuk akibat pembebanan pada lempung teguh.

### **1.6 Kontribusi Penelitian**

Dengan dicapainya tujuan penelitian, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu geoteknik khususnya dalam memahami perilaku lempung teguh di bawah pembebanan bangunan tinggi, yang dapat menjadi pertimbangan bagi perencana dalam desain fondasi.

