

**PENELITIAN KARAKTERISTIK PARAMETER
KUAT GESER TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
CIKARANG DENGAN UJI LABORATORIUM DAN
UJI INSITU**

DISERTASI



Oleh:

**A Eddy Triyanto Sudjatmiko
2011 832 002**

Promotor :

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD

Ko. Promotor :

Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra, Ir., MSCE

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2017**

**PENELITIAN KARAKTERISTIK PARAMETER
KUAT GESER TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
CIKARANG DENGAN UJI LABORATORIUM DAN
UJI INSITU**

DISERTASI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Dapat Mengikuti
Sidang Ujian Terbuka**



Oleh:

**A Eddy Triyanto Sudjatmiko
2011 832 002**

Promotor :

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD

Ko. Promotor :

Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra, Ir., MSCE

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENELITIAN KARAKTERISTIK PARAMETER KUAT GESER TANAH
LEMPUNG EKSPANSIF CIKARANG DENGAN UJI LABORATORIUM
DAN UJI INSITU**



Oleh:

**A Eddy Triyanto Sudjatmiko
2011832002**

**Disetujui untuk Diajukan Sidang dalam :
Sidang Ujian Terbuka Hari/Tanggal : Kamis, 5 Januari 2017**

Promotor :

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD

Co - Promotor :

Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra, Ir., MSCE

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2016**

Pernyataan

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

Nama : A Eddy Triyanto Sudjarmiko
Nomor Pokok Mahasiswa : 2011 83 2002
Program Studi : Doktor Teknik Sipil
Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Disertasi dengan judul:

PENELITIAN KARAKTERISTIK PARAMETER KUAT GESER TANAH
LEMPUNG EKSPANSIF CIKARANG DENGAN UJI LABORATORIUM DAN
UJI INSITU

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Pembimbing, 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 : 22 Desember 2016



A Eddy Triyanto Sudjarmiko

**PENELITIAN KARAKTERISTIK PARAMETER KUAT GESER TANAH
LEMPUNG EKSPANSIF CIKARANG DENGAN UJI LABORATORIUM
DAN UJI INSITU**

A Eddy Triyanto Sudjatmiko (2011832002)

Promotor : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD

Ko-Promotor : Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra, Ir., MSCE

Doktor Teknik Sipil

Desember 2016

ABSTRAK

Kesulitan utama pendekatan mekanika tanah *textbook* pada tanah ekspansif adalah penetapan parameter desain, khususnya kuat geser dan modulus deformasi. Pengalaman menunjukkan bahwa uji laboratorium baku maupun korelasi empirik yang umumnya digunakan tidak dapat merepresentasikan kuat geser tanah aktual in-situ. Bagaimanapun, proses *sampling* dan saturasi pada uji laboratorium mengakibatkan sampel mengalami *stress release* dan perubahan kadar air yang mengakibatkan pengembangan dan merubah karakteristik tanah secara signifikan. Sedangkan korelasi empirik yang terpublikasi umumnya dibangun untuk jenis tanah sedimen yang sama sekali berbeda.

Penelitian ini difokuskan untuk mengembangkan teknik interpretasi parameter kuat geser desain pada tanah lempung ekspansif. Yakni dengan mengkombinasikan uji Pressuremeter dan teknik interpretasi teoritis berbasis *cavity expansion theory*. Dengan kombinasi tersebut, parameter kuat geser dapat ditentukan secara lebih cepat dan akurat melalui pengukuran in-situ dan analisis secara teoritis. Disisi lain, efek penjuhan terhadap kuat geser dan kompresibilitas tanah pada uji laboratorium juga dievaluasi dengan uji TX-CU, TX-CD ‘dengan penjuhan’ dan TX-CD ‘tanpa penjuhan’. Uji konsolidasi 1-D juga dilakukan pada kondisi ‘dengan’ dan ‘tanpa’ saturasi. Uji dilakukan dengan sampel yang diambil pada titik dimana uji pressuremeter dilakukan, agar parameter kuat geser yang dihasilkan dapat dibandingkan satu sama lainnya.

Penelitian ini mengungkapkan bahwa tidak seperti teori tanah sedimen dimana perilaku mekanikal diatur oleh tegangan prakonsolidasi geologis, kuat geser tanah lempung ekspansif dikontrol oleh kekuatan ikatan antar butir partikel tanah. Pada kedalaman zona aktif dimana ikatan antar butir telah terlarut, uji triaxial ‘dengan penjenuhan’ dapat dianggap merepresentasikan kondisi terlemah tanah. Namun untuk kedalaman dibawah zona aktif, prosedur uji triaxial ‘tanpa penjenuhan’ lebih merepresentasikan kuat geser in-situ karena kuatnya ikatan antar butir partikel tanah.

Perilaku tanah *expansive* sangat dipengaruhi oleh faktor mikro maupun makro. Untuk itu penelitian karakteristik susunan mineral juga dilakukan dengan metode *Scan Electron Microscopy* (SEM), *X-ray Diffraction* (XRD), selain uji properties serta uji potensial dan tekanan pengembangan. Sedangkan di lapangan, penelitian melakukan uji penetrasi standar (SPT), sondir (CPT) dan uji Dilatometer (DMT) pada titik yang sama dimana uji Pressuremeter (PMT) dilakukan. Dengan basis data uji in-situ tersebut, penelitian ini memvalidasi dan membangun persamaan korelasi empiris antara parameter in-situ uji SPT, CPT, DMT dan PMT guna kemudahan intepretasi dan aplikasi praktis di lapangan.

Kata kunci: tanah ekspansif, parameter kuat geser, pressuremeter, *cavity expansion theory*, uji in-situ

**SHEAR STRENGTH PARAMETERS CHARACTERISTICS OF
CIKARANG'S EXPANSIVE CLAY USING LABORATORY
AND IN-SITU TEST**

A Eddy Triyanto Sudjatmiko (2011832002)

Promotor : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD

Co-Promotor : Prof. Dr. A. Aziz Djajaputra, Ir., MSCE

Doctor of Civil Engineering

Desember 2016

ABSTRACT

The main problem that arises in soil mechanics textbook approach with regard to expansive soils is the determination of the design parameters, particularly the shear strength and modulus of deformation. Experiences shows that typical laboratory test procedures or published empirical correlations can not represent actual in-situ conditions. Nevertheless, sampling processes and saturation procedure in laboratory test causes sample undergo stress release and changes in moisture content that lead to swelling and significantly change soils characteristics. On the other side, published empirical correlations generally developed for sedimentary soils that are completely different soils type.

The focus of this research is to develop a technique to determinate shear strength parameters of expansive clay soils by combining Pressuremeter test and theoretical interpretation techniques based on cavity expansion theory. With such combination, the parameters can be determined more accurately, as it is measured on the site and analyzed on theoretical basis. The effect of saturation on shear strength and compressibility on the laboratory tests were also evaluated by TX-CU, TX-CD 'with saturation' and TX-CD 'without saturation'. 1-D consolidation test was also conducted on 'with' and 'without' saturation conditions. Tests were carried out with samples taken at the point where Pressuremeter test were made, for the results could be compared one to another.

The study reveals that unlike sedimentary clays which its mechanical behavior controls by geological preconsolidation stress, shear strength of expansive clay is controlled by the bonding strength between soil particles. At active zone depths, where the bond strength between the grains have been dissolved, triaxial test 'with saturation' can be considered to represent the weakest condition of the soil. However, to a depth below the active zone, triaxial 'without saturation' test procedure a more represented in-situ shear strength due to strong bonds between soil particles,

To investigate microscale and macroscale factors that influenced expansive soil behaviour, clay mineral characteristics were investigated using Scan Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD), and other laboratory engineering properties including swelling potential and swelling pressure test. On the site, the research performed al Standard Penetration test (SPT), Cone Penetration Test (CPT) and Dilatometer test (DMT) at the same point where Pressuremeter test (PMT) were made. On this basis data, some empirical correlations between in-situ test parameters were built for ease of interpretation and practical applications.

Keyword: expansive soils, shear strength parameter, pressuremeter test, cavity expansion theory, in-situ test.

PRAKATA

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah Bapa di Surga karena hanya dengan rahmat dan kasihNya, penulis dapat menyelesaikan penelitian yang terangkum dalam disertasi ini. Bermula dari permasalahan kembang – susut tanah ekspansif yang penulis hadapi dalam pekerjaan pengembangan kawasan PT Lippo Cikarang Tbk, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari karakteristik susunan mineral, sifat fisis, kompresibilitas dan terutama kuat geser tanah lempung ekspansif Cikarang – Jawa Barat melalui uji laboratorium dan in-situ/lapangan. Penelitian ini tidak akan terlaksana tanpa dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak yang turut berperan baik instansi maupun individu yang terlibat, secara langsung maupun tidak. Begitu banyak guru, teman dan rekan yang telah berkontribusi pada penelitian di kampus, lapangan, laboratorium serta dalam tahap analisis dan penulisan.

Penulis secara khusus menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Paulus Pramono Rahardjo, PhD selaku promotor yang telah memberikan kesempatan, pengetahuan dan kesabaran yang selalu menjadi inspirasi dan motivasi selama penelitian dan penulisan. Juga kepada Prof. Dr. Ir. A. Aziz Djajaputra, MSCE selaku ko-promotor yang dengan sabar membimbing dan memberikan nasehat serta pengetahuan. Kepada Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT dan Dr.Eng. Imam Achmad Sadisun, ST, MT yang memberi semangat, saran, masukan dan koreksi. Kepada Prof. Dr. Ir. Hadi Utoyo Moeno, M.Sc., MIHT dan Dr. Ir. Silvia Fransisca Herina, MT sebagai pembahas dan penguji yang memberikan arahan dan masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian disertasi ini.

Terima kasih juga penulis haturkan kepada jajaran direksi PT Lippo Cikarang Tbk atas kesempatan yang telah diberikan. Kepada Program Pascasarjana Unpar beserta seluruh jajaran staf akademik yang telah menyediakan fasilitas studi. Kepada tim lapangan PT CND Geoteknika dan Laboratorium Ignatius Chen - Cindarto Soil Mechanics Laboratory atas kerja keras yang telah dicurahkan. Kepada

rekan-rekan di Geotechnical Engineering Centre serta teman-teman di Program Pascasarjana Unpar.

Terima kasih juga kepada para sahabat dan rekan; Cindarto Lie, MSc., Aris Handoko ST., MT., Bondan Widi Anggoro ST., MT. Ir. Asriwiyanti Desiani, MT., The Cin Hok., ST, Satriyadi. ST., Dr. Ir Ibrahim Surya. MT., Abdul Rohman, ST dan Abdul Majid, ST dan semua teman yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dan terutama kepada yang tercinta Bernadetta Ningrum Hayati ST., dan anak-anakku tersayang Aurelio Nandika dan Maura Asterina serta kedua orang tua Bapak SF Herry Soepiyadi dan (Alm) Dra. Naniek Murnihati serta seluruh keluarga besar, penulis berterima kasih atas segala kasih sayang, dukungan dan doa yang telah di berikan selama ini.

Penelitian ini jauh dari sempurna. Dengan segala kekurangan dan keterbatasan wawasan, penulis akan sangat menghargai kritik dan koreksi. Merupakan kebahagiaan penulis bila hasil penelitian dan disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan pada bidang teknik sipil khususnya geoteknik di Indonesia.

Bandung, Desember 2016

Antonius Eddy Triyanto Soedjatmiko

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Identifikasi Masalah	2
1. 3 Tujuan Penelitian	3
1. 4 Hipotesis Penelitian	4
1. 5 Lingkup Penelitian.....	5
1. 6 Kontribusi Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Terminologi Tanah Residual	7
2.2 Mineralogi Lempung	9
2.3 Properti Enjineering dan Pengembangan Lempung	12
2.4 Potensial dan Tekanan Pengembangan.....	21
2.5 Mekanika Tanah Tak Jenuh.....	27
2.5.1 <i>Vadose Zone</i>	28
2.5.2 Kerangka Teoritis Mekanika Tanah Tak Jenuh.....	29

2.6	Perkiraan Kuat Geser dengan Dilatometer.....	32
2.7	Perkiraan Kuat Geser dengan Pressuremeter	35
2.7.1	Menard Pressuremeter.....	35
2.7.2	Beberapa Persamaan Empiris Kuat Geser Undrained.....	42
2.7.3	Identifikasi Masalah Intepretasi Kuat Geser Undrained	43
2.7.4	Pendekatan Teori Cavity Expansion	44
2.8	Klasifikasi Tanah dan Batuan dengan Pressuremeter	51
 BAB 3 PROGRAM PENELITIAN		53
3.1.	Program Kerja	53
3.1.1	Kajian Sejarah Pembentukan Tanah Ekspansif Cikarang.....	53
3.1.2	Penelitian Karakteristik Properties Tanah Ekspansif Cikarang ...	53
3.1.3	Penelitian Efek Saturasi Terhadap Kuat Geser dan Kompresibilitas.....	54
3.1.4	Intepretasi Kuat Geser dengan Pressuremeter	54
3.1.5	Penelitian Kuat Geser In-Situ Tanah Lempung Ekspansif	55
3.2.	Persiapan	57
3.2.1	Pemilihan Lokasi.....	57
3.2.2	Teknik, Peralatan dan Metoda Pengukuran	58
3.2.3	Jumlah Pengukuran	61
3.4.	Analisis Data	63
3.4.1	Analisis Data Karakteristik Tanah Ekspansif	63
3.4.2	Analisis Korelasi Parameter Kuat Geser in-situ	63
3.4.3	Analisis Intepretasi Kuat Geser dengan Pressuremeter	63
 BAB 4 TINJAUAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN.....		67
4.1	Pengamatan Lapangan dan Hasil Pengeboran	67
4.2	Tinjauan Geologi dan Tektonik Regional.....	70
4.3	Sedimentasi di Bagian Utara Pulau Jawa.....	73
4.4.	Geologi Jawa Barat Utara dan Cekungan Sunda	75
4.5.	Geomorfologi Kabupaten Bekasi.....	82

4.6. Pembentukan Tanah Ekspansif Cikarang	84
4.7. Kesimpulan	86
BAB 5 STRATIGRAFI, SIFAT FISIS DAN SUSUNAN MINERAL	89
5.1. Stratigrafi Tanah	89
5.1.1. Stratigrafi Tanah Kawasan Orange County	92
5.1.2. Stratigrafi Tanah Kawasan Delta Silicon 8	96
5.3. Profil Propertis dan Sifat Fisis Tanah	100
5.3.1. Analisis Butiran	103
5.3.2. Klasifikasi Tanah	106
5.3.3. Kadar air dan Indeks Properties	107
5.3.4. Void Ratio alami, <i>Specific Gravity</i> dan Berat Jenis	109
5.3.5. Zona Aktif	110
5.3.6. Keaktifan Tanah (<i>Activity</i>)	111
5.4. Susunan Mineral Tanah	114
5.4.1 Hasil Uji SEM	118
5.4.2 Hasil Uji XRD	124
5.5. Potensial dan Tekanan Pengembangan	128
5.5.1 Hasil Pengujian	128
5.5.2 Metoda Empirik Prediksi Tekanan & Potensial Pengembangan	134
5.6. Kesimpulan	136
BAB 6 KARAKTERISTIK KUAT GESER & KOMPRESIBILITAS	139
6.1. Karakteristik Kuat Geser	139
6.1.1. Uji Triaxial Consolidated Undrained	142
6.1.2. Uji Triaxial Consolidated Drained	145
6.1.3. Uji Triaxial Consolidated Drained (tanpa penjenuhan)	148
6.1.4. Rangkuman Hasil Uji	152
6.2. Karakteristik Kompresibilitas	156
6.2.1. Efek Perendaman terhadap kompresibilitas	160

6.2.2. Indeks Kompresi (C_c) dan indeks Rekompresi (C_r).....	162
6.2.4. Perilaku pemampatan Tanah (Kurva $e - \log(p)$).....	164
6.3. Kesimpulan	166
BAB 7 KARAKTERISTIK TEGANGAN IN SITU.....	169
7.1. Uji Penetrasi Standar (SPT)	169
7.2. Uji Sondir (CPT)	173
7.3. Uji Dilatometer	183
7.4. Uji Pressuremeter	196
7.4.1. Klasifikasi Tanah dan Batuan	202
7.6. Konsistensi Parameter Kuat Geser In-Situ.....	204
7.5.1. Korelasi antara SPT dan CPT	204
7.5.2. Korelasi antara SPT dan DMT.....	209
7.5.3. Korelasi antara SPT dan PMT	211
7.5.4. Korelasi antara CPT dan DMT	220
7.5.5. Korelasi antara CPT dan PMT	223
7.6. Kesimpulan	227
BAB 8 INTEPRETASI PARAMETER KUAT GESER DARI UJI - PRESSUREMETER	229
8.1. Prosedur Perhitungan	230
8.2. Kesesuaian Parameter Triaxial atas Kurva PMT	235
8.3. Perkiraan Kuat Geser Tanah dari Data PMT	248
8.3. Kesimpulan	251
BAB 9 KESIMPULAN DAN SARAN	253
9.1. Kesimpulan	253
9.1.1. Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Cikarang	254
9.1.2. Karakteristik Kuat Geser dan Kompresibilitas	257
9.1.3. Intepretasi parameter kuat geser PMT dengan CET	258
9.1.4. Uji In Situ	260

9.1.5. Korelasi Empiris antar Parameter Uji In-situ	260
9.2. Saran	262
DAFTAR PUSTAKA	265
LAMPIRAN.....	269

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Daftar Notasi

a	Parameter rigidity index (CET)
A_c	Tingkat keaktifan tanah (Skempton, 1953)
B	Derajat saturasi pada tahap penjenuhan uji triaxial
C	Persentase fraksi lempung, dalam berat
c	Kohesi tanah
c'	Kohesi tanah efektif
C_c	<i>Compression index</i> / indeks kompresi oedometer
C_r	<i>Recompression indeks</i> / indeks rekompresi pada uji oedometer
C_s	<i>Swell index</i> / indeks pengembangan setelah <i>unloading</i> oedometer
c_u	Kuat geser tanah pada kondisi tak teralir
$c_{u,DMT}$	Parameter kohesi tanah hasil interpretasi DMT
D	Modulus Oedometer
E	Modulus Elastis
E_D	Modulus dilatometer
E_m	Modulus menard / modulus pressuremeter / modulus tanah hasil interpretasi uji PMT
E_o	Modulus deformasi
e_o	<i>Void ratio</i> / rasio rongga awal / alami
e_r	<i>Void ratio</i> terkompaksi akibat pengembangan rongga
E_s	Modulus geser triaxial
e_s	<i>Void ratio</i> akhir setelah rekompresi pada uji oedometer
f_s	<i>Sleeve friction</i> / tahanan geser selimut CPT
G	Modulus geser teoritis
G_s	<i>Spesific gravity</i>
h	Kedalaman titik tinjauan tanah
H_o	Tinggi awal sampel uji
I_D	<i>Indeks material</i> , parameter intermediate dilatometer
IP	Indeks plastisitas
K_0	Koefesien tekanan tanah lateral
K_D	Index tegangan horisontal, parameter intermediate dilatometer
LI	<i>Liquidity index</i> / indeks kecairan
LL	<i>Liquid limit</i> / batas cair

M_{DMT}	<i>Vertical constrained modulus</i> , parameter dilatometer
m_r	Volume tanah terkompaksi akibat pengembangan rongga
N	Jumlah populasi sample
N_1	Nilai N_{SPT} terkoreksi akibat beban vertikal efektif
N_{60}	Nilai N_{SPT} terkoreksi akibat efisiensi energi
N_p	Konstanta pressuremeter
N_{SPT}	Jumlah ketukan penetrasi SPT
ϕ^b	Parameter sudut geser tanah tambahan akibat kondisi tidak jenuh
OCR	Rasio <i>overconsolidation</i>
p_1	Tekanan untuk mengembangkan membran 1.1 mm (terkoreksi) pada uji dilatometer
p_f	<i>Creep/yield pressure</i> / tekanan pada uji PMT dimana tanah mulai berperilaku plastis
p_L	<i>Limit pressure</i> / tegangan batas pada uji PMT dimana tanah mulai berperilaku mengalir
p_o	Tekanan awal pada uji PMT dimana tanah mulai menunjukkan perilaku elastik
p_o	Tekanan yang diperlukan untuk mulai menggerakkan membran melawan tanah (terkoreksi) pada uji dilatometer
P_s	Tekanan pengembangan tanah / tambahan tegangan (<i>surchage</i>) untuk menahan pengembangan
P_T	Total tegangan untuk menahan pengembangan
q_c	<i>Tip resistance</i> / tahanan ujung konus CPT
R^2	Koefisien determinasi
r_o	Jari-jari awal probe pressuremeter / rongga sebelum pengembangan
SA	<i>Swell activity</i> . Parameter tingkat keaktifan tanah (Ranganatham et al., 1965)
SI	<i>Shrinkage index</i> / index susut
SL	<i>Shrinkage limit</i> / batas susut
Sp	<i>Swell Potential</i> / Potensi pengembangan
S_r	Derajat saturasi
u_a	Tekanan udara pori dalam tanah tak jenuh
u_{ro}	Perpindahan radial dinding lubang bor akibat perubahan tekanan pada lobang bor
u_w	Tekanan air pori dalam tanah
V_0	Volume awal <i>probe</i>
v_m	Volume <i>probe</i> rata-rata
w_n	kadar air alami tanah
γ	Berat isi
γ_d	Berat isi kering

γ_r	Berat isi tanah terkompaksi akibat pengembangan rongga
γ_w	Berat isi air
ΔH	Pengembangan vertikal
$\Delta\sigma$	Perubahan tegangan
ε_c	Regangan pada rongga uji pressuremeter
ε_r	Regangan tanah arah radial
ε_t	Regangan tanah arah tangensial
μ	Tekanan kapiler atau <i>matric suction</i> pada tanah tak jenuh
μ_{nat}	<i>Matric/soil suction</i> pada kadar air alami
ρ	Radius zona kompaksi akibat pengembangan rongga
σ	Tegangan total tanah
σ'	Tegangan efektif tanah
σ_0	Tegangan awal
σ_H	Tekanan tanah aktif pada arah horisontal
σ_r	Tegangan dalam arah radial
σ_t	Tegangan dalam arah tangensial
σ_u	Tegangan ultimit
σ_ρ	Tegangan tanah pada batas radius zona kompaksi akibat pengembangan rongga
τ	Kuat geser tanah
ν	<i>poisson's ratio</i> / ratio poisson
ϕ	Sudut geser dalam tanah
ϕ'	Sudut geser tanah efektif
$\phi_{,DMT}$	Parameter sudut geser dalam tanah hasil interpretasi DMT
	Tegangan tanah horisontal in-situ

Daftar Singkatan

CET	Cavity Expansion Theory
CPT	Cone Penetration Test / Uji Sondir
CPTu	Cone Penetration Test dengan pembaca tekanan air pori / Uji Sondir ondir elektrik
DMT	Dilatometer Test
PMT	Pressuremeter Test
SEM	Scan Electron Microscopy
SPT	Standard Penetration Test
XRD	X-Ray Diffraction / difraksi sinar – X
CET	Cavity Expansion Theory

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Variasi profil pelapukan tanah residual. (Wesley, 2010)	7
Gambar 2.2 Satuan dasar mineral lempung.....	10
Gambar 2.3 Lembar dasar elementer mineral lempung	10
Gambar 2.4 Struktur simbolik mineral lempung elementer	10
Gambar 2.5 Skematik susunan dan ikatan partikel kaolinite.....	11
Gambar 2.6 Photomicrograph beberapa mineral lempung utama	11
Gambar 2.7(a) Diagram plastisitas dan perkiraan tanah yang berpotensi mengembang (Kantey and Brink, 1952).....	13
Gambar 2.7(b) Beberapa tanah residual tropis pada diagram plastisitas konvensional (Wesley, 2010)	13
Gambar 2.8 Grafik klasifikasi <i>swelling potential</i> lempung.....	15
Gambar 2.9 Perbandingan empat prosedur identifikasi pengembangan tanah....	18
Gambar 2.10 Diagram Aktifitas dan Plastisitas (Vargas 1985, 1988)	19
Gambar 2.11 Diagram Klasifikasi tanah (Yudbhir dan Sahu, 1988)	20
Gambar 2.12 Plot tipikal hasil uji <i>consolidation - swell</i>	22
Gambar 2.13 Plot tipikal uji <i>constant volume swell</i>	22
Gambar 2.14 Korelasi-korelasi paramater tanah ekspansif Cikarang, Kerawang dan Cikampek (Rahardjo & Soelistia, 1997)	25
Gambar 2.15 Ilustrasi profil tekanan air negatif di <i>vadose zone</i> (Nelson & Miller, 1984)	28
Gambar 2.16 Perluasan batas runtuh Mohr – Coulomb untuk tanah tak jenuh (Fredlund dan Rahardjo, 1993).....	31
Gambar 2.17 Perbandingan persamaan kuat geser tanah tak jenuh Fredlund dan Bishop. (Wesley 2010)	31
Gambar 2.18 (a) Detail pisau dan (b) Prinsip kerja Flat Dilatometer (Marcheti, 2001)	32
Gambar 2.19 Grafik tipikal tekanan (p) terhadap perubahan volume total (V) Pressuremeter Test.....	37
Gambar 2.20 Intepretasi uji pressuremeter atas kuat geser <i>undrained</i>	40
Gambar 2.21 Korelasi antara tegangan, regangan dan perubahan volume tanah disekitar silinder yang mengembang	44
Gambar 2.22 Notasi Standard dan definisi tegangan radial dan perpindahan....	44
Gambar 2.23 Siklus mineral dan bahan organik dari batuan ketanah dan sebaliknya. Modifikasi menurut konsep geologi klasik (Baud, 2013)	51
Gambar 2.24 Klasifikasi tanah dan batuan Pressiorama berdasarkan data E_M dan p_L Pressuremeter (Baud dan Gambin, 2013)	52

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	56
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	57
Gambar 3.3 Pengaturan uji in-situ dan lubang bor sampel tambahan	58
Gambar 3.4 Pendekatan diagram <i>cavity expansion</i> dengan kurva teoritis yang disusun dari parameter-parameter kuat geser dan deformasi tanah (Mecsi, 2014)	65
Gambar 3.5 Skema perhitungan balik dalam menentukan kombinasi parameter fisis tanah. (Mecsi, 2014)	66
Gambar 4.1 Singkapan Lapisan Tanah Sedimen di kawasan Lippo Cikarang	69
Gambar 4.2 Gambaran kartun perkembangan geologi pulau Jawa.	70
Gambar 4.3 Pertumbuhan Regional Indonesia. (Robert Hall, 2009).....	74
Gambar 4.4 Citra pulau Jawa dari SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) – February 2011. (Peter Lunt, 2013).....	72
Gambar 4.5 SRTM DEM of West Java, Ben Clements, (2008)	75
Gambar 4.6 Peta Geologi Lembar Jawa Bagian Barat (Skala 1:500,000).....	79
Gambar 4.7 Peta Geologi Lembar Kerawang, Jawa, (Skala 1:100,000)	80
Gambar 4.8 Skema Potongan potongan melintang Jawa barat bagian utara	81
Gambar 4.9 Skematic penampang melintang geologi area Bekasi.....	84
Gambar 4.10 Singkapan lapisan shale di kawasan Lippo Cikarang	87
Gambar 5.1 Photo pelaksanaan pengemboran BH #7 OC	89
Gambar 5.2 Photo <i>Corebox</i> BH #7 OC	91
Gambar 5.3 Peta lokasi titik penyelidikan tanah Orange County dan garis indikatif potongan melintang dan memanjang.....	93
Gambar 5.4 Potongan memanjang dan melintang (OC).....	94
Gambar 5.5 Photo <i>Corebox</i> BH 2 DS8	96
Gambar 5.6 Progress perubahan lempung teguh menjadi serpih (<i>slaking</i>).....	97
Gambar 5.7 Peta lokasi titik penyelidikan tanah Delta Silicon 8 dan garis indikatif potongan melintang dan memanjang.....	98
Gambar 5.8 Potongan melintang dan memanjang (DS8)	99
Gambar 5.9 Hasil Uji Analisa Saringan untuk 105 sample	103
Gambar 5.9(a) . Hasil uji analisa butiran BH 7	104
Gambar 5.9(c) . Hasil uji analisa butiran BH 26.....	104
Gambar 5.9(d) . Hasil uji analisa butiran BH 40	104
Gambar 5.10 Sebaran Data <i>LL</i> dan <i>IP</i> pada Grafik Plastisitas Casagrande untuk tanah residual (Wesley, 2004).....	105
Gambar 5.11 Sebaran Data Batas Atterberg dan <i>LI</i> terhadap kedalaman.....	108
Gambar 5.12 Sebaran data <i>eo</i> , <i>Gs</i> , dan berat jenis, γ terhadap kedalaman	109
Gambar 5.13 Prediksi kedalaman zona aktif	110

Gambar 5.14 Sebaran nilai A_c terhadap kedalaman (Skempton, 1952).....	112
Gambar 5.15 Sebaran nilai <i>Swelling potential</i> lempung (Seed et. al., 1962)....	112
Gambar 5.16 Grafik klasifikasi <i>swelling potential</i> (Seed et. al., 1962).....	112
Gambar 5.17 Grafik klasifikasi <i>swelling potential</i> (William, 1957).....	112
Gambar 5.18 Klasifikasi Aktifitas Tanah (Yudbhir dan Sahu, 1988).....	113
Gambar 5.19 Foto fisik sampel tanah yang diteliti dengan SEM & XRD.....	114
Gambar 5.20 Photomicrograph Sample (13.0m).....	118
Gambar 5.21 Alat uji SEM JSM-6510LA (FMIPA ITB).....	123
Gambar 5.22 Alat uji XRD Bruker D8 Advance (Lab. Kimia ITB).....	124
Gambar 5.23 Hasil uji XRD sample BH 40 (40.0m).....	126
Gambar 5.24 Hubungan Waktu dan Pengembangan BH 13 OC (5.5m).....	128
Gambar 5.25 Korelasi potensial dan tekanan pengembangan.....	130
Gambar 5.26 Hubungan Waktu dan Pengembangan BH 2A DS8 (3.5m).....	131
Gambar 5.27 Sebaran data $(1+e_s)/(1+e_i)$ terhadap liquidity index (L).....	133
Gambar 5.28 Perbandingan prediksi dan hasil pengukuran tekanan pengembangan.....	135
Gambar 5.29 Perbandingan prediksi dan hasil pengukuran potensial pengembangan.....	135
Gambar 6.1 Perubahan B -coefficient, derajat saturasi dan tekanan air pori selama penjenuhan (Head, 1986).....	140
Gambar 6.2 Penentuan t_{100} dengan metode square-root time.....	140
Gambar 6.3 Perubahan volume terhadap waktu.....	143
Gambar 6.4 Perubahan tekanan air pori terhadap waktu.....	143
Gambar 6.5 Hasil uji TX-CU, BH 2B DS8 d=3.5m.....	144
Gambar 6.6 Perubahan volume sample selama tahap konsolidasi TX CD BH 7 (d=15.5m).....	145
Gambar 6.7 Perubahan tekanan air pori selama konsolidasi, BH 7 (d=15.5m).....	146
Gambar 6.8 Penentuan t_{100} dengan metode <i>square-root time</i> selama konsolidasi, BH 7 (d=15.5m).....	146
Gambar 6.9 Diagram tegangan - regangan dan perubahan volume – regangan TX CD; BH 7, d=15.5m.....	147
Gambar 6.10 Diagram $p - q$, TX CD; BH 7, d=15.5m.....	148
Gambar 6.11 Foto keruntuhan sample setelah penggeseran, BH 7, d=15.5m... ..	150
Gambar 6.12 Perubahan volume sample tahap konsolidasi, TX CD ‘tanpa penjenuhan’ BH 7 (d=15.5m).....	149
Gambar 6.13 Perubahan tekanan air pori selama konsolidasi, BH 7 (d=15.5m) Tanpa penjenuhan.....	150
Gambar 6.14 Diagram tegangan deviator – regangan, TX CD ‘tanpa penjenuhan’ BH 7, d=15.5m.....	151

Gambar 6.15 Diagram $p - q$ TX CD ‘tanpa penjenuhan’ BH 7, $d=15.5m$	152
Gambar 6.16 Foto keruntuhan sample TX CD (tanpa penjenuhan) BH 7, $d=15.5m$	152
Gambar 6.17 Komparasi uji TX CD ‘dengan’ dan ‘tanpa penjenuhan’	153
Gambar 6.18 Komparasi parameter \emptyset uji TX CD dan TX CD ‘tanpa penjenuhan’	154
Gambar 6.19 Kurva $e - \log(p)$ BH 7 OC	158
Gambar 6.20 Korelasi e_o dan C_c	159
Gambar 6.21 Korelasi e_o dan e_f	159
Gambar 6.22 Tegangan – regangan uji Oedometer	161
Gambar 6.23 Pengaruh perendaman terhadap nilai C_c	162
Gambar 6.24 Korelasi nilai C_c vs LL non Tropik	163
Gambar 6.25 Kurva linier $e - p$ uji oedometer BH 13	165
Gambar 7.1(a) Profil N_{SPT} BH 7 OC	171
Gambar 7.2(a) N_{SPT} dan kedalaman.....	172
Gambar 7.2(b). $(N_1)_{60}$ dan kedalaman.....	172
Gambar 7.3 Tipe konus CPT yang digunakan	173
Gambar 7.4(a) N_{SPT} dan CPT BH#7 OC.....	176
Gambar 7.4(b) N_{SPT} dan CPT BH#13 OC.....	177
Gambar 7.4(c) N_{SPT} dan CPT BH#26 OC	178
Gambar 7.4(d) N_{SPT} dan CPT BH#40 OC	179
Gambar 7.4(e) N_{SPT} dan CPT BH#2 DS8	180
Gambar 7.4(f) N_{SPT} dan CPT BH#4 DS8.....	181
Gambar 7.4(g) N_{SPT} dan CPT BH#6 DS8	182
Gambar 7.5 Pelaksanaan uji DMT di BH # 7 OC.....	183
Gambar 7.6(a) <i>Intermediate</i> Parameter DMT BH # 7 OC	185
Gambar 7.6(b) Interpretasi Parameter K_o , YSR dan M_{DMT} BH # 7 OC.....	186
Gambar 7.7(a) <i>Intermediate</i> Parameter DMT BH # 13 OC	191
Gambar 7.7(b) Interpretasi Parameter K_o , OCR dan M_{DMT} BH # 13 OC.....	192
Gambar 7.8 Foto Jenis Tanah BH 6 (DS 8).....	192
Gambar 7.9(a) <i>Intermediate</i> Parameter DMT BH # 2B DS8	195
Gambar 7.9(b) Interpretasi Parameter K_o , OCR dan M_{DMT} BH # 2B DS8	195
Gambar 7.10 Lapisan lempung di BH # 6 DS8, Depth = 2 m	194
Gambar 7.11(a) <i>Intermediate</i> parameter DMT BH # 6 DS8	194
Gambar 7.11(b) Interpretasi Parameter K_o , OCR dan M_{DMT} BH # 6 OC.....	195
Gambar 7.12 Pelaksanaan kalibrasi alat uji PMT di BH # 7	196
Gambar 7.13 Beberapa hasil uji PMT	200
Gambar 7.14 Klasifikasi tanah dan batuan sample uji kuat geser dengan Pressiorama (Baud, 2005).	202

Gambar 7.15 Klasifikasi tanah dan batuan sample uji kuat geser.....	203
Gambar 7.16 Ploting N_{SPT} terhadap q_c	206
Gambar 7.17 Variasi rasio q_c/N terhadap <i>Mean Gain size</i> Robertson dan Campanella (1983)	208
Gambar 7.18 Ploting q_c/N terhadap q_c	209
Gambar 7.19 Ploting N_{SPT} vs E_D Dilatometer	210
Gambar 7.20 Hasil analisa regresi korelasi N_{60} dan E_M	214
Gambar 7.21 Hasil analisa regresi korelasi N_{SPT} dan p_L	215
Gambar 7.22 Hasil analisa regresi korelasi N_{60} dan c_u	216
Gambar 7.23 Hasil analisa korelasi N_{60} dan $(p_Y - p_o)$	217
Gambar 7.24 Sebaran data N_{60} terhadap p_L / p_o	218
Gambar 7.25 Analisa data N_{60} terhadap (p_Y / p_o)	219
Gambar 7.26 Hasil analisa regresi korelasi E_M dan P_o	220
Gambar 7.27(a) Ploting q_c vs E_D Dilatometer Delta Silicon 8	221
Gambar 7.27(b) Ploting q_c vs E_D Dilatometer Orange County	222
Gambar 7.28 Hubungan E_D dan q_c mekanis, Marchetti (1980) Robin (2012) ..	223
Gambar 7.29 Hubungan q_c terhadap p_L dan E_M	225
Gambar 7.30 Korelasi q_c^*/p_L^* terhadap q_c^*	226
Gambar 8.1.(a) Contoh Distribusi tegangan radial hasil perhitungan CET	231
Gambar 8.1.(b) Contoh distribusi regangan radial hasil perhitungan CET	231
Gambar 8.1.(c) Contoh distribusi perpindahan radial hasil perhitungan CET ..	232
Gambar 8.2. Grafik pertumbuhan tegangan radial hasil perhitungan CET	232
Gambar 8.3 Contoh Perhitungan CET untuk BH # 7 (35.5 m)	234
Gambar 8.4. Perbandingan hasil perhitungan CET dengan parameter TX-CU, TX CD dan TX CD ‘tanpa penjenuhan’	235
Gambar 8.5 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 7 (13.0 m)	236
Gambar 8.6 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 7 (15.5 m)	236
Gambar 8.7 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 7 (23.5 m)	238
Gambar 8.8 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 13 (11.5 m)	238
Gambar 8.9 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 13 (23.5 m)	239
Gambar 8.10 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 13 (31.5 m)	239
Gambar 8.11 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 40 (8.00 m)	241

Gambar 8.12 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 40 (21.50 m).....	241
Gambar 8.13 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 40 (27.50 m).....	242
Gambar 8.14 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 40 (40.0 m).....	243
Gambar 8.15 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 2A (3.5 m).....	244
Gambar 8.16 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 2B (3.5 m).....	244
Gambar 8.17 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 4 DS8 (3.5 m).....	246
Gambar 8.18 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 6 DS8 (3.5 m).....	246
Gambar 8.19 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 7 (29.5 m).....	248
Gambar 8.20 Diagram tegangan regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH #	248
Gambar 8.21 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 26 (19.0 m).....	249
Gambar 8.22 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 26 (25.0 m).....	249
Gambar 8.23 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 34 (43.0 m).....	250
Gambar 8.24 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 34 (47.8 m).....	250
Gambar 8.25 Diagram tegangan-regangan uji PMT terkoreksi dan hasil perhitungan CET BH # 34 (53.5 m)	251

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi potensi pengembangan berdasarkan aktivitas tanah	14
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan susut linier / batas susut	14
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan kontent koloid, indeks plastisitas (<i>IP</i>) dan batas susut (<i>SL</i>), Holtz and Gibbs (1956)	14
Table 2.4 Klasifikasi derajat pengembangan (Seed, 1962)	15
Table 2.5 Klasifikasi derajat pengembangan (Ranganatham dan Satyanaraya, 1965)	16
Tabel 2.6 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan persentase material lolos #200, batas cair (<i>LL</i>) dan standard penetrasi resistance tanah-tanah Rocky Mountain, Chen (1965).....	17
Tabel 2.7 Klasifikasi tanah ekspansif indeks plastisitas dan indeks susut. (Raman 1967)	17
Tabel 2.8 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan batas cair (<i>LL</i>), indeks plastisitas (<i>IP</i>) dan in-situ soil suction. Snethen et. al (1977).....	17
Tabel 2.9 Klasifikasi tanah ekspansif dengan <i>IP</i> (Chen, 1988)	18
Tabel 2.10 Tabel Dasar Formula Dilatometer	34
Tabel 2.11 Persamaan Empiris kuat geser <i>undrained</i> dan <i>net limit pressure</i>	42
Table 3.1 Standar Metoda Pengujian Laboratorium	60
Table 3.2 Program dan Pelaksanaan Uji In-situ	61
Table 3.3 Program dan Pelaksanan Uji Laboratorium.....	62
Tabel 4.1 Stratigrafi Jawa Barat bagian utara. (Sujitno & Ibrahim, 1974)	82
Tabel 5.1 Ringkasan Data Pengeboran Inti di Orange County.	90
Tabel 5.2. Ringkasan Hasil Uji Laboratorium (1).....	100
Table 5.3 Ringkasan data uji e_o , G_s dan γ	110
Tabel 5.4 Ringkasan hasil uji XRD kandungan mineral sampel tanah	127
Table 5.5. Resume hasil uji potensial dan tekanan pengembangan.	129
Tabel 5.6. Perbandingan hasil uji dan prediksi tekanan dan potensial pengembangan	134

Tabel 6.1 Konstanta untuk menentukan t_f berdasarkan kondisi drainase	141
Tabel 6.2 Regangan keruntuhan ε_f pada berbagai pengujian	141
Table 6.3 Ringkasan Hasil Uji Triaxial	155
Tabel 6.4 Hasil uji Konsolidasi 1-D, Dengan dan Tanpa penjenuhan	157
Table 7.1 Faktor koreksi atas uji N_{SPT} yang digunakan	172
Tabel 7.2. Ringkasan hasil uji CPT	174
Tabel 7.3 Nilai p_o dan p_l maksimum	184
Tabel 7.4 Ringkasan data hasil uji Pressuremeter (PMT)	199
Tabel 7.5 Beberapa korelasi CPT – SPT dari literatur (Shahri et.al. 2014).....	207
Tabel 7.6 Beberapa korelasi empiris antara N_{60} dan E_M dan P_L	212
Tabel 7.7 Hasil analisa regresi korelasi N_{60} dan E_M	213
Tabel 7.8 Hasil analisa regresi korelasi N_{SPT} dan p_L	215
Tabel 7.9 Korelasi N_{60} terhadap c_u	216
Tabel 7.10 Korelasi N_{60} terhadap $(p_V - p_o)$	217
Tabel 7.11 Korelasi E_M terhadap p_o	219
Table 7.12 Korelasi antara PMT dan CPT (Briaud et at. al., 1985)	224
Table 7.13 Korelasi antara PMT dan CPT (Baguelin et al., 1978).....	224
Tabel 7.14 Kombinasi data CPT dan PMT tanah lempung Cikarang	224
Tabel 8.1 Routine perhitungan distribusi regangan	230
Tabel 8.2 Perbandingan parameter kuat geser TX dan perhitungan CET	247
Tabel 8.3 Parameter kuat geser dari perhitungan CET	251
Tabel 9.1 Nilai maksimum dan minimum parameter kuat geser uji Triaxial	257

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Boring Log & Hasil Uji SPT

Lampiran 2 : Hasil Uji Mineralogi XRD

Lampiran 3 : Hasil Uji Pengembangan

Lampiran 4 : Hasil Uji Ducth Cone Penetrometer

Lampiran 5 : Hasil Uji Dilatometer

Lampiran 6 : Hasil Uji Triaxial

Lampiran 7 : Hasil Uji Pressuremeter

Lampiran 8 : Perhitungan Parameter Kuat Geser dengan CET

BAB 1

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Fenomena tanah ekspansif telah dikenal disepanjang perkembangan praktek rekayasa geoteknik, dan kini semakin jamak dijumpai. Juga di Indonesia. Meski sebelumnya permasalahan ini hanya dikenal di daerah arid dan semi arid (Fredlund, 1995; Chen, 1975). Khusus di pulau Jawa, Suherman (2005) menyebutkan bahwa permasalahan tanah ekspansif ini tersebar merata. Meliputi segmen Jakarta–Cikampek, Semarang–Kudus, Semarang–Purwodadi, Wirosari–Cepu, Yogyakarta–Wates, Ngawi–Caruban dan lain sebagainya. Baru-baru ini, dalam pembangunan jalan tol Cikampek–Palimanan (Efendi, 2014 dan Wahyudhi, 2014) maupun Cileunyi–Sumedang–Dawuan, juga membuka singkapan permasalahan tanah ekspansif.

Selain masalah kembang–susut tanah, konstruksi teknik sipil di tanah ekspansif banyak menghadapi permasalahan seperti longsor, kegagalan dinding penahan tanah, deformasi, penurunan/*settlement* dan sebagainya. Masalah-masalah tersebut muncul karena pendekatan desain masih menggunakan pendekatan teori mekanika tanah klasik padahal perilaku tanah menunjukkan ketidak sesuaian dengan prediksi teori elastik atau plastik klasik. Itulah sebabnya Wesley (2010) memasukan jenis tanah ini kedalam kategori *special soil types*. Sementara Carraro dan Salgado (2004) mengklasifikasikan jenis tanah ini kedalam *non-text book soils* karena perilakunya yang secara definitif berbeda dengan teori mekanika tanah klasik. Pendekatan *textbook* klasik pada tanah jenis ini sering mengakibatkan kegagalan-kegagalan tersebut diatas.

1. 2 Identifikasi Masalah

Kesulitan utama penggunaan pendekatan mekanika tanah *textbook* pada tanah ekspansif adalah penetapan parameter desain, khususnya kuat geser dan modulus deformasi. Selama ini parameter-parameter tersebut ditentukan dari uji laboratorium, seperti uji triaxial, dan/atau uji in-situ seperti SPT dan CPT. Dari uji in-situ seperti SPT dan CPT tersebut, sulit membayangkan uji-uji tersebut dapat menghasilkan parameter yang merepresentasikan kondisi tanah sesungguhnya. Menggunakan data uji *Standard Penetration Test*, parameter kuat geser diinterpretasi menggunakan korelasi-korelasi empirik yang tersedia seperti korelasi S_u dengan N_{SPT} (Terzaghi & Peck, 1967 ; Sowers, 1979 dan Terzaghi et al., 1996 atau Hara et al., 1974). Sedangkan dari uji *Cone Penetration Test*, parameter kuat geser tanah kohesif *undrained*, c_u diperkirakan dengan menerapkan faktor konus (N_k). Padahal nilai faktor dan korelasi yang digunakan dikembangkan dari kondisi tanah yang berbeda.

Dalam hal uji laboratorium, sample tanah mengalami “gangguan” yang tidak dapat dihindari. Sejak proses pengeboran, transportasi hingga persiapan dimana sample akan mengalami *stress release*. Gangguan terbesar bahkan terjadi pada saat pengujian dimana sample “harus” berada dalam kondisi terendam bahkan penjenahan yang mengakibatkan sample mengalami perubahan signifikan, seperti kembang/susut. Karena sifat dan perilaku tanah ekspansif sangat sensitif terhadap perubahan kadar air dan tegangan. (Chen, 1975; Wesley 2010; Meilani, 1999). “Gangguan” tersebut tentunya akan mempengaruhi validitas hasil uji. Akibatnya sering terdengar bahwa modulus deformasi aktual tanah terlihat jauh lebih kuat dari parameter yang ditentukan di laboratorium. Sekalipun dengan prosedur yang benar dan sampel berkualitas bagus. Di lapangan sering dijumpai bahwa lapisan *stiff clay* sangat sulit ditembus oleh tiang pancang meskipun uji triaxial memberikan parameter kuat geser yang rendah. Konsekuensinya, prediksi deformasi tanah di sekitar fondasi yang didesain dengan data laboratorium diperkirakan *over-estimate*, sehingga desain dianggap terlalu konservatif dan mahal. Banyak yang berpendapat, karena tidak terhindarkannya “gangguan” pada sampling tanah, perkembangan teknik estimasi properties tanah dimasa datang akan mengarah pada

penyempurnaan teknik uji in-situ dibandingkan dengan uji laboratorium (Baguelin, 1978).

Dalam usaha menentukan parameter desain tersebut, uji pressuremeter menjadi pilihan terbaik. Terutama karena potensinya yang dapat mengukur dan memberikan informasi perilaku tegangan – regangan yang lengkap dari kondisi *at rest*, kondisi elastis maupun kondisi tegangan plastis aktual sebenarnya dilapangan. Disamping itu, uji dilakukan dengan kondisi batas yang terkontrol dan terdefinisi secara baik sehingga hasil uji memberikan presentasi lebih dekat dengan kondisi tak terganggu. Namun Pressuremeter tidak mengukur parameter kuat geser (c dan ϕ) secara langsung seperti halnya uji laboratorium triaksial atau uji baling Vane. Sehingga di pandang perlu untuk mengembangkan teknik interpretasi yang lebih sesuai untuk tujuan tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik parameter kuat geser in-situ tanah lempung ekspansif Cikarang melalui uji pressuremeter. Tujuan ini dicapai melalui penelitian dan pemahaman atas beberapa aspek geoteknik, yakni:

1. Sejarah dan terbentuknya tanah lempung ekspansif,
2. Karakteristik tanah lempung ekspansif Cikarang, khususnya (i) susunan mineral, (ii) profil properties dan (iii) potensial dan tekanan pengembangan,
3. Pengaruh efek penjenuhan terhadap kuat geser dan kompresibilitas tanah ekspansif pada uji laboratorium yakni Triaksial dan Oedometer,
4. Melakukan interpretasi parameter kuat geser yakni kohesi, c dan sudut geser dalam, ϕ , tanah lempung ekspansif menggunakan data uji pressuremeter dengan *Cavity Expansion Theory*.
5. Mendapatkan karakteristik kuat geser insitu praktis lainnya yakni SPT, CPT dan DMT.

1. 4 Hipotesis Penelitian

1. Karakteristik tanah lempung ekspansif:
 - Terdapat kandungan mineral lempung pada tanah dilokasi penelitian yang menyebabkan tanah bersifat “aktif” seiring peningkatan kadar air.
 - Persamaan Wiseman and Kormornik (1985) atau Robin (2012) dapat digunakan untuk memprediksi tekanan pengembangan dan potensial pengembangan.
2. Efek penjuhan terhadap kuat geser dan kompresibilitas tanah *expansive*:
 - Efek penjuhan sangat mempengaruhi kuat geser dan kompresibilitas tanah lempung ekspansif Cikarang. Dengan demikian, prosedur uji Triaksial dimana sample harus mengalami penjuhan tidak dapat merepresentasikan kuat geser tanah in-situ.
3. Interpretasi kuat geser dengan teori *cavity expansion*:
 - Dengan teori *cavity expansion*, kurva tegangan-regangan uji pressuremeter dapat dikonstruksi ulang sehingga parameter kuat geser in-situ (c dan ϕ) dapat ditentukan secara teoritis dan secara bersamaan.
 - Ada pengaruh “*stress history*” berupa *yield stress* terhadap kuat geser tanah ekspansif Cikarang. *Yield stress* tersebut mungkin terbentuk karena proses kimiawi, geologi/tektonik atau proses lainnya.
4. Parameter kuat geser dari uji in-situ:
 - Terdapat konsistensi dalam bentuk korelasi antar parameter kuat geser tanah dari uji in-situ yakni SPT, CPT, DMT dan PMT dalam batasan-batasan tertentu sehingga parameter kuat geser dapat salah satu uji in-situ dapat diperkirakan dari uji in-situ lainnya untuk keperluan praktis.
 - Korelasi empiris yang terdapat pada literatur tidak selalu dapat digunakan pada tanah ekspansif Cikarang karena perbedaan karakteristik tanah dan sejarah pembentukan.

1. 5 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian literatur dari berbagai sumber termasuk buku teks, makalah, jurnal dan laman tentang tanah ekspansif, termasuk kajian geologi, karakteristik fisis dan kemas, metode uji dan perkembangan teori yang dapat digunakan dalam menginterpretasi parameter kuat geser .
2. Pengumpulan data primer dan sekunder melalui program penyelidikan tanah meliputi uji laboratorium maupun uji lapangan di dua lokasi proyek utama yakni proyek kawasan terintegrasi Orange County (320 Ha) dan proyek kawasan industri Delta Silicon 8 (230 Ha) yang berlokasi di kawasan Lippo Cikarang – Jawa Barat dimana tanah *expansive* banyak ditemui.
3. Program uji laboratorium yang akan dilakukan meliputi uji properties, 15 uji Triaxial CU, 11 uji Triaxial CD dan 15 uji Triaxial CD'tanpa penjenuhan'. Disamping itu dilakukan pula 24 uji konsolidasi dengan dan tanpa perendaman, 19 uji pengembangan bebas, 19 uji mineralogi (SEM dan XRD).
4. Program uji in-situ yang dilakukan pada penelitian ini meliputi; 24 uji Pressuremeter (PMT), 8(delapan) titik Sondir Mekanis (CPT), 4(empat) uji Dilatometer (DMT) dan uji Penetrasi Standar (SPT) disetiap titik bor.
5. Pengumpulan data-data sekunder termasuk data penyelidikan tanah yang pernah dilakukan di lokasi sekitar areal penelitian sebagai data pelengkap penelitian.

1. 6 Kontribusi Penelitian

Dengan dicapainya tujuan-tujuan tersebut diatas maka penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu geoteknik, khususnya:

1. Pemahaman atas distorsi kuat geser yang terjadi bila tanah ekspansif diuji dengan kondisi *saturated*. Pemahaman ini akan berguna pada pengembangan metoda uji laboratorium yang lebih merepresentasikan perilaku tanah ekspansif.

2. Mengembangkan metoda interpretasi parameter kuat geser, c dan ϕ tanah lempung ekspansif secara lebih akurat. Menggunakan kombinasi uji pressuremeter dan teori *cavity expansion*, parameter c dan ϕ dapat ditentukan secara bersamaan, lebih akurat, lebih mudah, cepat dan lebih merepresentasikan kondisi aktual karena ukur secara in-situ, dan dianalisis secara teoritis. Dengan demikian perencanaan fondasi, *slope protection* misalnya akan semakin efisien.
3. Korelasi / persamaan empirik yang akan dibangun pada penelitian ini akan memudahkan enjineer untuk mengevaluasi, memperkirakan, memeriksa ulang dan menentukan parameter desain khususnya pada tahap awal desain secara lebih akurat dibandingkan dengan persamaan empiris yang telah terpublikasi yang dibangun pada kondisi tanah dan lingkungan yang berbeda.
4. Secara umum, studi ini akan berkontribusi dalam memahami karakteristik parameter kuat geser dan perilaku tanah ekspansif Cikarang. Pemahaman ini akan menjadi dasar perencanaan pengembangan kawasan, penentuan konsep dan penetapan parameter desain.