

**ANALISIS TEKANAN AIR PORI EKSES AKIBAT
PEMANCANGAN TIANG MENGGUNAKAN METODE
CAVITY EXPANSION DAN METODE NUMERIK
UNTUK PREDIKSI SOIL SETUP PADA TANAH
LEMPUNG**

TESIS



Oleh:

**David Wibisono Setiabudi
2016831043**

Pembimbing:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D

Ko-Pembimbing:

Budijanto Widjaja, Ph. D

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASRJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2019**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS TEKANAN AIR PORI EKSES AKIBAT PEMANCANGAN
TIANG MENGGUNAKAN METODE CAVITY EXPANSION DAN
METODE NUMERIK UNTUK PREDIKSI SOIL SETUP PADA TANAH
LEMPUNG**



Oleh:

**David Wibisono Setiabudi
2016831043**

Disetujui Untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari/Tanggal:

Senin, 8 Januari 2019

Pembimbing:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D

Ko-Pembimbing:

Budijanto Widjaja, Ph. D

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASRJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2019**

LEMBAR PENGUJI

SIDANG UJIAN TESIS

Hari/Tanggal: Selasa, 8 Januari 2019

Oleh:

**David Wibisono Setiabudi
2016831043**

PERSETUJUAN TESIS

1. **Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D**
Pembimbing
.....
2. **Budijanto Widjaja, Ph. D**
Ko-Pembimbing
.....
3. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT**
Penguji
.....
4. **Aswin Lim, Ph. D**
Penguji
.....

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2019**

PERNYATAAN

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

Nama : David Wibisono Setiabudi
Nomor Pokok Mahasiswa : 20168310043
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Konsentrasi Geoteknik
Fakultas Teknik
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

**ANALISIS TEKANAN AIR PORI EKSES AKIBAT PEMANCANGAN
TIANG MENGGUNAKAN METODE CAVITY EXPANSION DAN
METODE NUMERIK UNTUK PREDIKSI SOIL SETUP PADA TANAH
LEMPUNG**

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

Apabila dikemudian 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 risiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan

Dinyatakan : di Bandung
Tanggal : 08 Januari 2019

David Wibisono Setiabudi

ANALISIS TEKANAN AIR PORI EKSES AKIBAT PEMANCANGAN TIANG DENGAN METODE CAVITY EXPANSION DAN METODE NUMERIK UNTUK PREDIKSI SOIL SETUP PADA TANAH LEMPUNG

David Wibisono Setiabudi (NPM: 2016831043)
Pembimbing: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D
Ko-Pembimbing: Budijanto Widjaja, Ph. D
Magister Teknik Sipil
Bandung
Jaunari 2019

ABSTRAK

Pemancangan tiang pada tanah lempung lunak akan menimbulkan peningkatan tekanan air pori ekses (Δ_u) yang menyebabkan tegangan vertikal efektif tanah (σ_v') akan berkurang. Seiring dengan bertambahnya waktu, Δ_u akan mengalami proses disipasi, lamanya proses disipasi bergantung pada permeabilitas suatu partikel tanah. Dalam proses disipasi, daya dukung tanah akan meningkat. Peristiwa peningkatan daya dukung tiang terhadap waktu dikenal sebagai fenomena *soil setup*. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel pada tanah lempung Cirebon, dimana pada kedalaman 0-12m merupakan tanah lempung lunak, 12-18m merupakan tanah kampung medium, 18-20m adalah tanah pasir padat, dan 20-50m adalah tanah lempung teguh. Pemancangan tiang dengan jenis tiang *spun* diameter 60cm dilakukan hingga kedalaman 35m. Untuk mengetahui besarnya nilai *soil setup*, dilakukan uji PDA pada waktu EOD, 30menit, 3hari, dan 7 hari, kemudian pada waktu 30 hari dilakukan uji *axial loading test*. Penelitian ini mengkaji secara numerik perubahan Δ_u dan prediksi *soil setup* dengan menggunakan pendekatan *cavity expansion* pada beberapa waktu yang ditentukan, yaitu EOD, 30 menit, 1hari, 3hari, 7hari, 30hari, 60hari, dan 365hari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan Δ_u signifikan terjadi pada waktu 30menit ke 1hari, berbanding lurus dengan peningkatan daya dukung pada waktu tersebut. Penelitian ini kemudian dilanjutkan untuk memprediksi besarnya nilai *soil setup* (A), diperoleh bahwa dari hasil uji lapangan $A = 0.13$, sedangkan berdasarkan hasil numerik diperoleh nilai $A = 0.13 - 0.19$. Jadi, penelitian dengan memodelkan pemancangan tiang menggunakan teori *cavity expansion* dapat memberikan hasil yang cukup mendekati dengan hasil uji lapangan.

Kata Kunci: tekanan air pori ekses, *soil setup*, *cavity expansion*, PDA, *loading test*

ANALYSIS OF EXCESS PORE PRESSURE DUE TO PILE DRIVING WITH CAVITY EXPANSION METHOD AND NUMERICAL METHOD TO PREDICT SOIL SETUP IN CLAY

David Wibisono Setiabudi (NPM: 2016831043)
Advisor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D
Ko-Advisor: Budijanto Widjaja, Ph. D
Magister of Civil Engineering
Bandung
January 2019

ABSTRACT

The excess pore pressure builds up as the result of pile driving in case of soft soil. The significant excess pore pressure could be impacted the low pile capacity. As the soil surrounding the pile recovers from the installation disturbance, a time dependant increase in pile capacity often occurs, this phenomenon is referred to as “set-up”. The objective of this research is to determine the excess pore pressure behavior and predict the soil setup with modelling pile driving using cavity expansion theory. This research is carried out with soil data from Cirebon soil, which dominated with clay soil, with a thin of sand layer. The spun pile with closed ended pipe was driven into 35m depth. Dynamic test monitoring method was performed during pile driving, also restrike with time variation 30 minute to 7 days to determine the soil setup phenomena. This research performed with finite different analysis with pile modelled as an axisymetry. To generate excess pore pressure a $1/2d$ of horizontal prescribed displacement applicate to the pile, then to determine the capacity of the pile, a vertical prescribed displacement 25mm perform at top of the pile. The variation of time from EOD to 365 days are given to determine the soil setup value (A). Result shows the value of excess pore pressure is decrease as it increases time, and then proportional with increasing of pile resistance. To predict the soil setup value (A) is used Skov & Denver method, based on in-situ test using PDA and axial load test shows the $A = 0.13$, while using finite different analysis obtained the $A = 0.13 - 0.19$. Thus, this research contributes to at least can explain the prediction of soil setup with result of numerical model is approach the in-situ test result.

Keywords: excess pore pressure, soil setup, cavity expansion, PDA, loading test

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan penyertaan Nya sehingga tesis dengan judul *Analisis Tekanan Air Pori Ekses Akibat Pemancangan Tiang Dengan Metode Cavity Expansion Dan Metode Numerik Untuk Prediksi Soil Setup Pada Tanah Lempung* dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan tugas akhir untuk menyelesaikan studi Magister Teknik Sipil, Konsentrasi Geoteknik, Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam pembuatan tesis ini penulis mendapatkan banyak dorongan, masukan, semangat, dan teman diskusi untuk menyelesaikan penelitian ini. Maka dari itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo dan Bapak Budijanto Widjaja Ph. D, sebagai dosen pembimbing dan ko-pembimbing yang telah banyak memberikan pandangan-pandangan serta ide dan juga memberi dukungan moral dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Aswin Lim Ph. D dan Ibu Dr. Rinda Karlinasari, selaku dosen penguji yang telah rela untuk meluangkan waktunya untuk memberikan masukan-masukkan yang sangat berguna dalam tesis ini.
3. Seluruh dosen Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya kepada penulis selama masa studi di Universitas Katolik Parahyangan.
4. Orang tua penulis yang tak pernah lelah memberikan dorongan, motivasi, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.

5. Bapak Aksan Kawanda dan Bapak Edwin Laurencis sebagai atasan yang selalu memberikan dukungan moral dan waktu serta masukan yang sangat berguna dan memberikan kesempatan untuk bekerja sekaligus melakukan studi Magister ini. Tanpa dukungan beliau-beliau, penulis tidak dapat menyelesaikan studi dengan baik.
6. Teman-teman Magister Teknik Sipil Unpar konsentrasi Geoteknik (Dennis, Dito, Diaz, Aflizal, Annisa) yang telah menjadi teman seperjuangan selama masa perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
7. Teman-teman Sipil 2010, *Warm Togetherness* yang selalu memberikan dorongan semangat dalam penyelesaian tesis ini.
8. Karyawan Tata Usaha Magister Teknik Sipil Unpar yang telah membantu penulis dalam mengurus hal-hal administratif selama proses perkuliahan.
9. *Last but not least*, untuk Christy Yosefi yang selalu mendukung, memberikan semangat dan *support* yang begitu besar kepada penulis, dan juga menjadi teman diskusi (*and partner in crime*) kapanpun dan dimanapun penulis membutuhkan bantuan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, maka dari itu penulis menerima masukan dan saran yang bertujuan untuk mengembangkan tesis ini. Semoga tesis ini berguna bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandung, 8 Januari 2019

David Wibisono Setiabudi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PERSETUJUAN

PERNYATAAN

ABSTRAK

ABSTRACT

BAB 1	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan.....	2
1.3 Lingkup Penelitian	2
1.3.1 Penelitian ini dilakukan pada kondisi tanah yang didominasi dengan tanah lempung konsistensi lunak dan kaku.	2
1.3.2 Pengumpulan data baik data tanah, data tiang, dan data hasil uji beban dinamik dan statik.	2
1.3.3 Menentukan nilai <i>soil setup</i> berdasarkan hasil uji PDA dan statik pada tiang pancang beton diameter 60 cm.	3
1.3.4 Memprediksi nilai <i>soil setup</i> dari perhitungan tekanan air pori eksese secara analisis menggunakan metode <i>cavity expansion</i> dan numerik menggunakan Plaxis.	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Membuat model proses pemancangan dengan teori <i>cavity expansion</i>	3

1.4.2	Memprediksi tekanan air pori ekses akibat pemancangan dan <i>soil setup</i> .	3
1.4.3	Daya dukung tiang saat <i>End of Driving</i> dan beberapa hari setelah disipasi.	3
1.5	Metode Penelitian.....	3
1.5.1	Studi Pustaka	3
1.5.2	Pengumpulan Data Sekunder	3
1.5.3	Pengambilan Data Lapangan.....	3
1.5.4	Analisis.....	4
1.6	Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2	.....	5
2.1	Tanah Lempung Lunak	5
2.1.1	Lempung lunak dan lanau	5
2.1.2	Lempung Organik.....	5
2.2	Tekanan Air Pori	6
2.2.1	Peningkatan Tekanan Air Pori Akibat Beban Tak Teralir	6
2.2.2	Peningkatan Tekanan Air Akibat Tegangan Isotropis.....	8
2.2.3	Tekanan Air Pori Akibat Beban Uniaksial.....	10
2.2.4	Tekanan Air Pori Ekses Pada Uji Triaksial.....	12
2.3	Konsolidasi.....	13
2.4	Pondasi Tiang Pancang	15
2.4.1	Pondasi Tiang Baja.....	16
2.4.2	Pondasi Tiang Beton Pratekan	16
2.4.3	Metode Konstruksi Tiang Pancang	17

2.5	Mekanisme Pemikulan Beban Pada Pondasi Tiang.....	20
2.6	Pondasi Tiang Pancang pada Tanah Kohesif.....	22
2.7	Efek Pemancangan Pondasi Tiang Pada Tanah Lempung.....	28
2.7.1	Peningkatan Tekanan Air Pori Saat Pemancangan.....	28
2.7.2	Disipasi Tekanan Air Pori Ekses	31
2.8	<i>Soil Setup</i>	33
2.8.1	Mekanisme Perubahan Kapasitas Tiang Terhadap Waktu Pada Tanah Lempung	34
2.8.2	Mekanisme Perubahan Kapasitas Tiang Terhadap Waktu Pada Tanah Pasir	35
2.8.3	Faktor Nilai <i>Soil Setup</i>	36
2.9	Pengujian Pondasi Tiang.....	38
2.9.1	Pengujian Beban Statik.....	39
2.9.2	Pengujian Beban Dinamik	40
2.10	Teori <i>Cavity Expansion</i>	46
2.10.1	<i>Cylindrical Cavity Expansion</i>	50
BAB 3	.....	57
3.1	Lokasi Penelitian.....	57
3.2	Pengumpulan Data Sekunder.....	57
3.3	Pengambilan Data Primer	58
3.3.1	Uji PDA	58
3.3.2	Uji Beban Statis	59
3.4	Interpretasi Faktor Nilai <i>Soil Setup</i> Hasil Uji PDA dan Beban Statis	59

3.5	Analisis Tekanan Air Pori Ekses dalam Penentuan Nilai <i>Soil Setup</i>	61
3.5.1	Pemodelan Plaxis 2D.....	61
3.5.2	Aplikasi Teori <i>Cavity Expansion</i> pada Pondasi Tiang	66
BAB 4	.....	69
4.1	Data Primer.....	69
4.1.1	Instalasi Tiang	69
4.1.2	Data <i>Pile Driving Analyzer</i> (PDA).....	69
4.1.3	Data Uji Beban Statik Terinstrumentasi.....	73
4.2	Data Sekunder	77
4.2.1	Uji In-Situ.....	78
4.2.2	Uji Laboratorium.....	84
4.3	Interpretasi Faktor Nilai <i>Soil Setup</i> Hasil Uji PDA.....	86
4.3.1	Nilai <i>Soil Setup</i> berdasarkan Daya Dukung Ultimit (Q_u).....	86
4.3.2	Nilai <i>Soil Setup</i> berdasarkan Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s).....	88
4.4	Analisis Perubahan Tekanan Air Pori Ekses Dengan Metode Numerik .	89
4.4.1	Model <i>Soft-soil</i> dan Mohr-Coulomb (SS-MC Model)	90
4.4.2	Model <i>Soft-soil</i> dan <i>Hardening Soil</i> (SS-HS Model).....	92
4.5	Analisis Perubahan Tekanan Air Pori Ekses Saat Pemancangan Pada Jarak Tertentu	93
4.6	Analisis Perubahan Daya Dukung Tiang Dengan Metode Numerik	95
4.6.1	Model SS-MC.....	96
4.6.2	Model SS-HS.....	97
4.7	Komparasi Hasil Numerik Terhadap Hasil Uji Lapangan	99

4.7.1	Daya Dukung Tiang	99
4.7.2	<i>Soil Setup</i>	100
4.7.3	<i>Soil Setup</i> Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori Ekses	101
BAB 5	.....	105
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	108
LAMPIRAN	.....	109

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PDA	= <i>Pile Driving Analyzer</i>
EOD	= <i>End Of Driving</i>
VWSG	= <i>Vibrating Wire Strain Gauges</i>
σ	= tegangan total
σ'	= tegangan efektif
u	= tekanan air pori
n	= porositas
m_v	= koefisien kompresibilitas volume
NC Clay	= Normally Consolidated Clay
OC Clay	= Over Consolidated Clay
OCR	= Over Consolidation Ratio
C_p	= kompresibilitas air pori
V_o	= volume asli elemen tanah
ΔV	= perubahan volume tanah
C_c	= kompresibilitas dari <i>soil skeleton</i>
B	= parameter tekanan air pori dari Skempton
A	= parameter tekanan air pori dari Skempton
Q_u	= daya dukung ultimit tiang
Q_p	= daya dukung ujung tiang
Q_s	= daya dukung selimut tiang
W_p	= berat sendiri tiang
N_c	= faktor daya dukung

c_b	= karakteristik tanah kohesif tak terdrainase dalam kondisi tidak terganggu pada ujung tiang
A_b	= luas permukaan ujung tiang
τ_s	= daya dukung selimut tiang per satuan luas
σ_h	= tegangan horizontal
ϕ_r	= sudut geser
K	= koefisien tekanan <i>at rest</i>
α	= faktor adhesi
c_u	= kohesi tak teralir pada lapis tertentu
A_s	= luas selimut tiang
Q_t	= kapasitas tiang pada waktu t setelah pemancangan tiang
Q_{EOD}	= kapasitas tiang pada akhir pemancangan
Q_{14}	= kapasitas tiang 14 hari setelah pemancangan
S_t	= sensitivitas tanah lempung
Z	= impedansi tiang
E	= modulus tiang
c	= kecepatan gelombang
Δu	= tekanan air pori eksese
p_u	= tekanan pengembangan
r_o	= radius inisial
r_a	= radius inisial silinder
u_p	= perpindahan radial pada batas zona plastis
Δ_r	= regangan volumetric (<i>expansion</i>) dari silinder
Δu_r	= kompresi tanah pada segmen radial

$\Delta\sigma_r$	= peningkatan tegangan radial tanah
$\Delta\sigma_t$	= peningkatan tegangan tangensial tanah
ε_r	= perpindahan arah radial
ν	= rasio <i>Poisson</i>
p	= radius pada zona plastis
σ_r	= tegangan radial tanah
k	= permeabilitas

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Definisi Tegangan Efektif (Braja M. Das, 1985)	7
Gambar 2.2 Tegangan normal pada suatu massa tanah (Braja M. Das, 1985).....	7
Gambar 2.3 Pembebanan tanah secara isotropis (Braja M. Das, 1985)	8
Gambar 2.4 Definisi C_c ; perubahan volume akibat tegangan uniaksial tanpa adanya tekanan air pori eksek (Braja M. Das, 1985).....	9
Gambar 2.5 Elemen tanah dengan beban uniaksial (Braja M. Das, 1985).....	10
Gambar 2.6 Pengertian C_c , koefisien pengembangan volume akibat beban uniaksial (Braja M. Das, 1985)	11
Gambar 2.7 Tekanan air pori eksek pada kondisi uji triaksial (Braja M. Das, 1985)	12
Gambar 2.8 Ilustrasi konsep konsolidasi pada tanah lempung (Braja M. Das, 1985)	13
Gambar 2.9 Variasi nilai tegangan efektif, tekanan air pori eksek dan tegangan total dari lapisan tanah lempung akibat pembebanan di atasnya (Braja M. Das, 1985)	15
Gambar 2.10 Tiang Baja Ujung Terbuka	16
Gambar 2.11 Tiang Pancang Beton Bulat Ujung Tertutup	17
Gambar 2.12 Palu jenis <i>diesel PILECO D46-32</i>	19
Gambar 2.13 Palu jenis <i>hydraulic</i>	19
Gambar 2.14 Mekanisme pengalihan beban pada tanah melalui pondasi tiang ..	20
Gambar 2.15 Kurva hubungan beban terhadap penurunan	21

Gambar 2.16 Distribusi pemikulan beban pada pondasi tiang (a) Titik A (b) Titik B (c) Titik C.....	21
Gambar 2.17 Bidang keruntuhan akibat adanya beban tekan pada tiang (MJ. Tomlinson, 1994)	24
Gambar 2.18 Peningkatan daya dukung tiang pancang terhadap waktu pada tanah lempung lunak (MJ. Tomlinson, 1994)	25
Gambar 2.19 Variasi nilai α terhadap c_u (MJ. Tomlinson 1994)	27
Gambar 2.20 Kurva desain mengenai faktor adhesi untuk tiang pancang pada tanah lempung (MJ. Tomlinson, 1994)	28
Gambar 2.21 Hubungan $\Delta u/\sigma'_{vo}$ dan r/a (Poulos dan Davis, 1980).....	29
Gambar 2.22 Solusi teoritis hubungan waktu konsolidasi (T_v) dan derajat konsolidasi (U) (Poulos & Davis, 1980)	32
Gambar 2.23 Perbandingan kurva teoritis dan empiris dalam menentukan derajat konsolidasi (U) (Poulos & Davis, 1980)	33
Gambar 2.24 Remolded Zone dan Transition Zone Akibat Pemancangan (Flaate, 1972).....	35
Gambar 2.25 Uji Beban Statik dengan Sistem <i>Kentledge</i>	40
Gambar 2.26 Uji Beban Statik dengan Sistem <i>Reaction Pile</i>	41
Gambar 2.27 Pengujian PDA dan pemasangan sensor PDA.....	43
Gambar 2.28 Tiga grafik utama PDA	44
Gambar 2.29 Skematik pelebaran suatu rongga (Vesič, 1972).....	48
Gambar 2.30 Diagram penentuan nilai $F_{q'}$ dan $F_{c'}$ (Vesič, 1972).....	50
Gambar 3.1 Lokasi Proyek di daerah Kanci, Cirebon (Sumber : <i>Google Earth</i>)	57
Gambar 3.2 Lokasi instrumen VWSG pada tiang TP-01	59

Gambar 3.3 Data Kapasitas tiang dari Seidel et. al (1988).....	60
Gambar 3.4 Faktor <i>Setup</i> dari Seidel et al. (1988)	60
Gambar 3.5 Pemodelan uji dengan Plaxis 2017	65
Gambar 3.6 Pemodelan <i>displacement</i> pada tiang.....	65
Gambar 3.7 Tegangan tanah yang terjadi di sekeliling ujung tiang akibat adanya beban (Mecsi, 2013).....	67
Gambar 3.8 Perhitungan segmen tiang yang diasumsikan berbentuk lingkaran (Mecsi, 2013)	68
Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel PDA dan Loading Test.....	70
Gambar 4.2 Hasil Uji PDA pada TP-1; (a) EOD; (b) 30 menit; (c) 3 hari; (d) 7 hari	72
Gambar 4.3 Uji PDA pada tiang TP-1.....	73
Gambar 4.4 Pemasangan instrumen VWSG yang digunakan	74
Gambar 4.5 Kurva beban dan penurunan tiang TP-01	75
Gambar 4.6 Uji beban statik tiang TP-01	76
Gambar 4.7 Hasil peralihan beban saat 200% pada masing-masing posisi VWSG	77
Gambar 4.8 Lokasi pengambilan data tanah di lokasi TP-1.....	78
Gambar 4.9 Stratifikasi tanah pada potongan A-A'	79
Gambar 4.10 CPTu A-01 (PT. Soilens 2016).....	80
Gambar 4.11 Hasil disipasi CPTu A-01 (PT. Soilens, 2016).....	80
Gambar 4.12 Hasil uji indeks propertis pada data tanah area TP-01	85
Gambar 4.13 Peningkatan daya dukung ultimit Q_{ult} terhadap waktu	87
Gambar 4.14 Nilai <i>Setup Factor</i> berdasarkan daya dukung ultimit.....	87

Gambar 4.15 Peningkatan daya dukung friksi (Q_s) terhadap waktu.....	88
Gambar 4.16 Nilai <i>Setup Factor</i> berdasarkan daya dukung selimut	89
Gambar 4.17 Perubahan tekanan air pori eksese Δ_u terhadap waktu dengan model SS-MC	91
Gambar 4.18 Perubahan Δ_u terhadap waktu dengan model SS-HS.....	93
Gambar 4.19 Perubahan Δ_u terhadap jarak pada waktu EOD a. Model SS-MC b. Model SS-HS.....	94
Gambar 4.20 Perbandingan rasio Δ_u/σ_v' terhadap rasio r/a pada data terpublikasi Lo & Stermac, 1965	95
Gambar 4.21 Hasil transfer beban pada waktu yang berbeda dengan model SS-MC dibandingkan dengan hasil aktual lapangan.....	96
Gambar 4.22 Kurva daya dukung tiang terhadap <i>vertical displacement</i> model SS-MC.....	97
Gambar 4.23 Hasil transfer beban pada waktu yang berbeda dengan model SS-HS	98
Gambar 4.24 Kurva daya dukung tiang terhadap <i>vertical displacement</i> dengan model SS-HS	99
Gambar 4.25 Hasil perbandingan daya dukung secara numerik dan uji lapangan	99
Gambar 4.26 Komparasi Q_{ult} berdasarkan analisis numerik dengan hasil uji lapangan.....	100
Gambar 4.27 Komparasi Q_s berdasarkan analisis numerik dengan hasil uji lapangan.....	101

Gambar 4.28 Penentuan zona berdasarkan nilai *soil setup* dan perubahan Δ_u
terhadap waktu 103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter nilai B pada beberapa jenis tanah (Black dan Lee, 1973).....	9
Tabel 2.2 Tipikal nilai A	11
Tabel 2.3 Nilai Faktor Setup oleh Rausche et al (1996)	36
Tabel 2.4 Besaran umum dalam pengujian PDA	43
Tabel 3.1 Data input Material Tiang	62
Tabel 3.2 Parameter tanah pada tiang uji TP-01 dengan Model Soft Soil – Mohr Coulomb.....	62
Tabel 3.3 Parameter tanah pada tiang uji TP-01 dengan Model Soft Soil – Hardening Soil	63
Tabel 4.1 Daya dukung hasil uji PDA pada TP-1 dengan Analisis CAPWAP....	71
Tabel 4.2 Hasil perhitungan <i>unit skin friction</i> dan <i>unit end bearing</i>	76
Tabel 4.3 Korelasi N_{60} dan S_u untuk Tanah Butir Halus Jenuh Air (Budhu, 2000)	81
Tabel 4.4 Sensitivitas tanah lempung (Skempton dan Northey, 1952).....	81
Tabel 4.5 Hasil Uji VST area TP-01	82
Tabel 4.6 Korelasi parameter PMT dengan kuat geser lempung (Amar & Jezequel, 1972).....	83
Tabel 4.7 Hasil uji PMT pada area TP-01	83
Tabel 4.8 Nilai koefisien permeabilitas terhadap jenis material tanah tertentu (Braja, M. Das, 1987).....	83
Tabel 4.9 Nilai k pada BA-15 area TP-01	84

Tabel 4.10 Data laboratorium BA-13; BA-14; dan BA-15 area TP-01 (PT. Soilens, 2016)	84
Tabel 4.11 Data <i>engineering propertis</i> BA13; BA-14; dan BA-15.....	86
Tabel 4.12. Penentuan nilai Q_{ult} terhadap nilai Q_o	87
Tabel 4.13 Penentuan nilai Q_{ult} terhadap nilai Q_o	89

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Hasil Uji PDA dan CAPWAP.....	L1-1
LAMPIRAN 2 Hasil Uji Loading Test.....	L2-1
LAMPIRAN 3 Resume Hasil Tekanan Air Pori Ekses	L3-1
LAMPIRAN 4 Resume Hasil Analisis Daya Dukung Tiang.....	L4-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang, pada umumnya diestimasikan dengan formula statik berdasarkan data penyelidikan tanah. Perhitungan formula statik tersebut kemudian diverifikasi dengan uji beban statik. Pada umumnya uji beban statik dilakukan dalam jangka waktu yang singkat setelah proses pemancangan selesai. Hasil uji tersebut kemudian diasumsikan sebagai daya dukung tiang final untuk kondisi jangka waktu yang lama. Bagaimanapun, perlu diketahui bahwa proses pemancangan akan memberikan dampak pada kondisi tanah di sekitar selimut dan ujung tiang dalam kondisi terganggu. Pemancangan tiang pada tanah lunak akan menimbulkan adanya peningkatan tekanan air pori eksese. Lamanya proses disipasi tekanan air pori eksese bergantung pada besarnya permeabilitas dari suatu partikel tanah. Dalam jangka waktu tertentu daya dukung tiang akan meningkat seiring dengan terjadinya proses konsolidasi. Peristiwa peningkatan daya dukung tiang terhadap waktu akibat adanya proses pemancangan, dikenal sebagai fenomena *soil setup*. Besarnya nilai *setup* tergantung pada jenis tanah dan metoda konstruksi.

Saat ini, prediksi nilai faktor *setup* dapat dilakukan dengan mudah dan cepat menggunakan metode tes dinamik. Manfaat dari metode tes dinamik ini adalah dapat memverifikasi daya dukung aktual dari pondasi tiang pancang secara *in-situ*. Namun, apakah nilai faktor *setup* tersebut dapat diprediksi melalui perhitungan

desain, baik menggunakan metode analitis yaitu dengan memperhitungkan tekanan air pori eksese menggunakan metode *cavity expansion* maupun metode numerik yaitu memodelkan proses disipasi tekanan air pori eksese menggunakan Plaxis. Hal tersebut menjadi ketertarikan penulis untuk mempelajari fenomena *soil setup* lebih lanjut, didukung dengan data-data sekunder berupa data tanah yang didominasi lempung lunak pada kedalaman 0 – 12 m, diikuti dengan tanah lempung konsistensi kaku dengan beberapa trase tanah pasir, dan hasil uji dinamik menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan hasil uji statik tekan terinstrumentasi pada tiang pancang bulat dan tiang baja ujung terbuka. Uji PDA dilakukan dalam jangka waktu sesaat setelah pemancangan (EOD), 3 hari, dan 7 hari; serta uji beban statik dilakukan setelah 30 hari.

1.2 Inti Permasalahan

Fenomena *soil setup* tidak diperhitungkan dalam analisis daya dukung pondasi tiang pancang. Sehingga dilakukan perhitungan secara analitis dengan metode *cavity expansion* dan numerik dengan Plaxis, kemudian dibandingkan dengan hasil uji in-situ berupa hasil uji PDA dan beban statik.

1.3 Lingkup Penelitian

Dalam analisis ini, lingkup penelitian meliputi:

1.3.1 Penelitian ini dilakukan pada kondisi tanah yang didominasi dengan tanah lempung konsistensi lunak dan teguh.

1.3.2 Pengumpulan data baik data tanah, data tiang, dan data hasil uji beban dinamik dan statik.

1.3.3 Menentukan nilai *soil setup* berdasarkan hasil uji PDA dan statik pada tiang pancang beton diameter 60 cm.

1.3.4 Memprediksi nilai *soil setup* dari perhitungan tekanan air pori eksese secara analisis menggunakan metode *cavity expansion* dan numerik menggunakan Plaxis.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1.4.1 Membuat model proses pemancangan dengan teori *cavity expansion*.

1.4.2 Memprediksi tekanan air pori eksese akibat pemancangan dan *soil setup*.

1.4.3 Daya dukung tiang saat *End of Driving* dan beberapa hari setelah disipasi.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan tesis ini adalah:

1.5.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mencari literatur yang relevan untuk mendukung dalam pengolahan maupun interpretasi data yang didapat.

1.5.2 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder meliputi data tanah baik lapangan maupun laboratorium yang digunakan untuk menentukan parameter tanah dalam melakukan perhitungan tekanan air pori eksese akibat pemancangan tiang secara analitis dan numerik.

1.5.3 Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan berupa daya dukung tiang menggunakan uji PDA dan uji beban statik. Uji PDA dilakukan dalam beberapa waktu, yaitu EOD (*End Of Driving*), 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Uji beban statik dengan instrumentasi VWWSG (*Vibrating Wire Strain Gauges*) dilakukan pada waktu 1 bulan.

1.5.4 Analisis

Analisis tekanan air pori eksese akibat pemancangan tiang secara analitis dan numerik, dengan penentuan parameter tanah berdasarkan data uji lapangan dan laboratorium

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN meliputi latar belakang, tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA berisi tentang tinjauan literatur mengenai *soil setup*, teori konsolidasi dan tanah lunak, aplikasi metode *cavity expansion* pada daya dukung tiang, uji PDA dan perkembangan alat uji, uji beban statik, instrument VWSG dan penggunaannya.

BAB 3 METODE PENELITIAN membahas mengenai tahapan dalam analisis tekanan air pori eksese akibat pemancangan tiang untuk prediksi faktor *setup* berdasarkan metode *cavity expansion* serta pemodelan numerik dengan Plaxis. Serta penentuan faktor nilai *soil setup* berdasarkan uji PDA dan beban statis

BAB 4 PROGRAM PENGUJIAN membahas mengenai analisis faktor *setup* dengan metode analitis dan numerik dibandingkan dengan hasil uji in-situ.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.