

**PERILAKU PONDASI TIANG BOR BERDIAMETER BESAR  
YANG DIBEBANI AKSIAL TEKAN,  
STUDI KASUS DI KUNINGAN JAKARTA - SELATAN**

**TESIS**



75310 R/SB / PMS  
25.4.2000

**ERIC NG YIN KUAN  
NRP : 8395006  
NIRM : 41067011950382**

**BIDANG KAJIAN GEOTEKNIK  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
1999**

**PERILAKU PONDASI TIANG BOR BERDIAMETER BESAR  
YANG DIBEKANI AKSIAL TEKAN,  
STUDI KASUS DI KUNINGAN JAKARTA - SELATAN**

**ERIC NG YIN KUAN**  
NRP : 8395006  
NIRM : 41067011950382

**PENGESAHAN TESIS**

Pembimbing I :



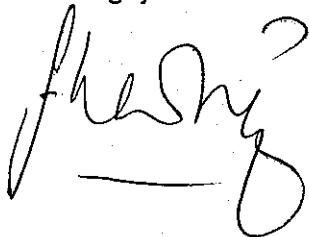
**DR. Ir. Paulus P. Rahardjo, MCE.**

Pembimbing II :



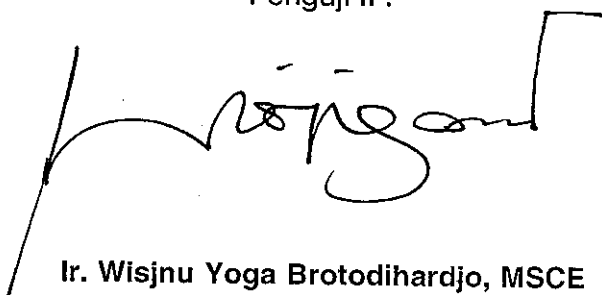
**Prof. DR. Ir. A. Aziz Djajaputra, MSCE.**

Penguji I :



**Ir. Theo F. Najooan, M.Eng.**

Penguji II :



**Ir. Wisjnu Yoga Brotodihardjo, MSCE**

Ketua Program Magister Teknik Sipil :



**Dr. Ir. R. Wahyudi Triweko, M.Eng.**

*This thesis is dedicated to :*

*Line, Irene and Arlene*

# PERILAKU PONDASI TIANG BOR BERDIAMETER BESAR YANG DIBEKANI AKSIAL TEKAN, STUDI KASUS DI KUNINGAN – JAKARTA SELATAN

ERIC NG YIN KUAN  
NRP : 8395006  
NIRM : 41067011950382

PEMBIMBING I : DR. Ir. PAULUS PRAMONO RAHARDJO, MCE.  
PEMBIMBING II : PROF. DR. Ir. A. AZIZ DJAJAPUTRA, MSCE.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
PROGRAM PASCASARJANA – KONSENTRASI TEKNIK SIPIL  
BIDANG KAJIAN GEOTEKNIK  
BANDUNG

## ABSTRAK

Mekanisme dan perilaku transfer beban pondasi tiang bor yang dibebani aksial ke tanah di sekeliling tiang bor adalah hal yang kompleks. Penelitian ini bermaksud menggunakan data uji pembebanan berinstrumen dan metoda analisis transfer beban pondasi tiang yang semula dikembangkan oleh Coyle dan Reese (1966) untuk mengevaluasi mekanisme dan perilaku transfer beban pondasi tiang bor.

Analisis daya dukung tiang cara statis konvensional juga dilakukan pada pondasi tiang uji yang sama, kemudian dibandingkan dengan hasil uji pembebanan untuk menghasilkan pemahaman yang lebih baik terhadap mekanisme dan perilaku transfer beban pondasi tiang bor. Hasil-hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada lokasi yang sama juga dievaluasi dan dibandingkan dengan hasil-hasil analisis uji pembebanan.

Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus pada proyek Apartemen *Four Seasons* di Kuningan Jakarta Selatan terhadap empat buah pondasi tiang bor uji pembebanan berdiameter 1000 mm dan sepuluh uji PDA.

Hasil analisis uji pembebanan menunjukkan kekakuan geser pondasi yang tinggi dan kontribusi daya dukung selimut pondasi tiang bor sangat dominan. Gesekan selimut termobilisasi khususnya pada lapisan tanah lanau kelempungan tersementasi lebih besar dari satuan gesekan selimut maksimum yang lazim digunakan dalam perencanaan.

Evaluasi hasil analisis tiang berinstrumen dan statik konvensional menunjukkan adanya perbedaan, baik pada daya dukung total maupun pada proporsi tahanan geser dan ujung. Analisis dengan metoda statik konvensional menghasilkan kapasitas daya dukung tiang yang lebih rendah dari daya dukung tiang hasil uji pembebanan, disamping itu analisis dengan metoda statik konvensional menghasilkan daya dukung ujung yang tinggi sedangkan hasil uji pembebanan menunjukkan dukungan ujung yang kecil.

Untuk studi mekanisme dan perilaku transfer beban, uji pembebanan statik yang paling dapat diandalkan dengan pembebanan sebenarnya dan perilaku serta mekanisme transfer beban dapat diverifikasi melalui instrumentasi.

**BEHAVIOR OF AXIALLY LOADED  
LARGE BORED PILE UNDER COMPRESSION,  
A CASE STUDY AT KUNINGAN – SOUTH JAKARTA**

**ABSTRACT**

Load transfer mechanism and behavior of axially loaded bored piles to its adjacent soil is a complex problem. This research aim to evaluate the mechanism and behavior of piles based on loading test data and method of load transfer analysis for pile foundation developed by Coyle and Reese (1966).

The pile capacity of the test piles were also analyzed using conventional method. This result was compared to the loading test data to give a better understanding of the mechanism and load transfer behavior of bored pile. Pile Driving Analyzer (PDA) test results in the same location was evaluated and compared to the load test results.

Case study was performed for Four Seasons Apartment project located at Kuningan – South Jakarta. Four 1000 mm diameter piles and ten PDA tests were conducted for this study.

The analysis on load test results show high shear stiffness of the foundation and the contribution of shaft friction of the bored piles is very large. The mobilized unit shaft friction especially in the cemented clayey silt layer was larger than maximum unit shaft friction commonly used in design.

Evaluation based on the results of instrumented piles and conventional static method shows a significant difference, both to the pile capacity and proportion of shaft resistance and point bearing. Conventional static methods yield lower pile capacity compared to the results of load test. The conventional static methods also result in higher point bearing prediction.

To study the mechanism and load transfer of bored pile, the static load test is more reliable and the behavior and load transfer mechanism could be verified by instrumentation.

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang berkenan melimpahkan berkat dan kekuatan-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan tesis pascasarjana ini.

Penyusunan tesis pascasarjana ini adalah sebagai syarat penyelesaian studi dari Program Pascasarjana Konsentrasi Teknik Sipil Bidang Kajian Geoteknik – Universitas Katolik Parahyangan.

Tesis ini dapat terwujud berkat bimbingan, dorongan, nasehat dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada :

- Bapak DR. Ir. Paulus Pramono Rahardjo, MCE, selaku Pembimbing I
- Bapak Prof.DR.Ir. A. Azis Djajaputra, MSCE, selaku pembimbing II
- Ir. Theo F. Najoran, M.Eng, selaku pembahas dan penguji tesis ini.
- Ir. Wisjnu Yoga Brotodihardjo, selaku pembahas dan penguji tesis ini.
- P.T. Testana Indoteknika yang membantu dalam pengambilan sampel tanah.
- Bapak Suyat yang banyak membantu dalam pengujian sampel di laboratorium
- Line, Irene dan Arlene atas pengorbanan perhatian yang seharusnya penulis berikan.
- Papa, Mama, Mami, Kakak-kakak dan Adik-adik atas Doa dan dukungannya.
- Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Bidang Kajian Geoteknik, Budi, Sandy, El Fie, Christian, Muzni, Emi, Lina, Inge, dan lain lain.

Semoga amal baik mereka mendapat balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

Walaupun masih jauh dari sempurna, penulis mengharapkan, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi mereka yang tertarik dan berkepentingan dalam bidang ini serta dapat digunakan sebagai bahan studi pembandingan pada penelitian lebih lanjut.

Segala saran dan kritik membangun akan penulis terima dengan senang hati.

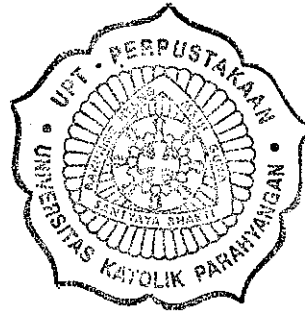
Bandung, Juni 1999

Penulis ,

Eric Ng Yin Kuan

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRAC	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>I-1</b>
1.1 ALTAR BELAKANG MASALAH	I-1
1.2 PERMASALAHAN	I-3
1.3 MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN	I-4
1.4 PEMBatasan MASALAH	I-6
1.5 METODOLOGI DAN LINGKUP PENELITIAN	I-6
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	I-9
<b>BAB 2 TINJAUAN LITERATUR</b>	<b>II-1</b>
2.1 PONDASI TIANG BOR	II-1
2.2 KELEBIHAN DAN KEKURANGAN PONDASI TIANG BOR	II-1
2.2.1 Kelebihan Pondasi Tiang Bor	II-1
2.2.2 Kekurangan Penggunaan Pondasi Tiang Bor	II-2





2.3	METODA-METODA PELAKSANAAN PENGEBORAN	II-3
2.3.1	Pengeboran Cara Kering	II-3
2.3.2	Pengeboran dengan <i>Casing</i>	II-3
2.3.3	Pengeboran dengan <i>Slurry</i>	II-4
2.4	ALAT-ALAT PENGEBORAN	II-5
2.4.1	Macam-macam Mata Bor	II-5
2.5	PENGENDALIAN MUTU PONDASI TIANG BOR	II-6
2.5.1	Kondisi tanah	II-6
2.5.2	Inspeksi Lubang Bor	II-7
2.5.3	Tulangan dan Cara Penanganannya	II-7
2.5.4	Pengendalian Mutu Beton	II-7
2.6	UJI PEMBEBANAN STATIK	II-8
2.6.1	Metoda Uji Pembebanan Statik pada Pondasi Tiang	II-9
2.6.2	Pembebanan Aksial pada Uji Pembebanan Statis	II-9
2.6.2.1	Pembebanan dengan Tiang Reaksi Sebagai Jangkar	II-9
2.6.2.2	Pembebanan dengan Beban Kontra ( <i>Kentledge</i> )	II-11
2.6.3	Prosedur Pengujian	II-13
2.6.3.1	Prosedur Uji Pembebanan Secara Lambat	II-13
2.6.3.2	Prosedur Uji Pembebanan Secara Cepat	II-14
2.7	INSTRUMENTASI PADA UJI PEMBEBANAN PONDASI TIANG BOR	II-15
2.7.1	<i>Tell-tale Extensometer</i>	II-16
2.7.2	Instrumen <i>Strain Gage</i> pada Pondasi Tiang Bor	II-19
2.7.3	Instrumen <i>Load Cell</i> pada Pondasi Tiang bor	II-22

2.8	UJI PEMBEBANAN DINAMIK ( PDA )	II-25
2.9	METODA ANALISIS BERDASARKAN CARA STATIS	II-29
2.9.1	Metoda Analisis Berdasarkan Parameter-parameter Tanah	II-33
2.9.1.1	Daya Dukung Ujung dan Gesekan Selimut Tiang pada Tanah-tanah Nonkohesif	II-33
2.9.1.2	Daya Dukung Ujung dan Gesekan Selimut Tiang pada Tanah-tanah Kohesif	II-43
2.9.2	Metoda Analisis Berdasarkan Uji Di Lapangan	II-45
2.9.2.1	Metoda Analisis Berdasarkan Uji <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	II-45
2.10	METODA TRANSFER BEBAN	II-49
2.10.1	Konsep Transfer Beban	II-49
2.10.2	Metoda Analisis Berdasarkan Konsep Transfer Beban	II-53
2.10.3	Kurva Transfer Beban dari UJI Pembebanan	II-56
2.11	PROGRAM KOMPUTER MAXILTR	II-58
2.11.1	Metoda Analisis Program MAXILTR	II-58
2.12	MODEL-MODEL KURVA TRANSFER BEBAN TEORITIS	II-60
2.12.1	Model Linier Elastis Plastis	II-60
2.12.2	Model Coyle	II-61
2.12.3	Model Vijayvergiya	II-62
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		III-1
3.1	MENGHIMPUN DATA PENELITIAN LAPANGAN	III-3
3.1.1	Data Penyelidikan Tanah	III-3

3.1.2	Data Uji Pembebanan	III-3
3.1.3	Data Uji Dinamis – <i>Pile Driving Analyzer</i> (PDA)	III-3
3.2	GAMBAR DAN EVALUASI PELAPISAN TANAH	III-3
3.3	ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI TIANG BOR CARA STATIK	III-4
3.4	PENELITIAN LAPANGAN	III-4
3.4.1	Tinjauan Pondasi Tiang Bor untuk Uji Pembebanan	III-4
3.5	TUJUAN DAN ANALISIS DATA UJI PEMBEBANAN	III-5
3.5.1	Tujuan Uji Pembebanan Pondasi Tiang	III-5
3.5.2	Analisis Perilaku Beban-Penurunan	III-6
3.5.3	Analisis Transfer Beban	III-6
3.5.4	Menurunkan Fungsi Transfer Beban	III-7
3.5.5	Daya Dukung Ultimit	III-8
3.6	DAYA DUKUNG DAN FAKTOR KEAMANAN PARSIAL	III-9
3.7	VERIFIKASI DATA LAPANGAN DENGAN PROGRAM- MAXILTR	III-9
3.8	KURVA TRANSFER BEBAN TEORITIS	III-10
3.9	UJI KHUSUS DIRECT SHEAR	III-10
3.10	KAJIAN PERILAKU PONDASI TIANG BOR DENGAN BEBAN AKSIAL	III-11
3.11	KESIMPULAN DAN SARAN	III-11

<b>BAB 4 ANALISIS</b>	IV-1
4.1 DESKRIPSI PROYEK	IV-1
4.2 DESKRIPSI UMUM PELAPISAN TANAH	IV-2
4.3 ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI TIANG BOR CARA STATIS	IV-12
4.3.1 Parameter Tanah untuk Analisis Daya Dukung Aksial Cara Statis	IV-12
4.3.2. Metoda dan Hasil Analisis Cara Statis	IV-15
4.4 PENGAMATAN TERHADAP UJI LAPANGAN	IV-16
4.4.1 Instrumentasi	IV-17
4.4.2 Mutu dan Modulus Elastisitas Beton	IV-20
4.4.3 Sistem Pembebanan dan Program Uji	IV-22
4.5 ANALISIS DATA UJI PEMBEBANAN	IV-23
4.5.1 Perilaku Beban – Penurunan	IV-23
4.5.2 Beban Aksial pada Pondasi Tiang Uji	IV-30
4.5.3 Analisis Fungsi Transfer Beban ( $t-z$ ) dan ( $q-z$ )	IV-36
4.5.4 Estimasi Daya Dukung Ultimit Hasil Uji Pembebanan	IV-45
4.6 ANALISIS DATA UJI <i>PILE DYNAMIC ANALYZER</i> (PDA)	IV-46
4.7 DAYA DUKUNG DAN FAKTOR KEAMANAN	IV-51
4.7.1 Daya Dukung Ijin Pondasi Tiang Bor	IV-51
4.7.2 Faktor Keamanan Parsial	IV-53
4.8 ANALISIS DATA LAPANGAN DENGAN PROGRAM MAXILTR	IV-54
4.9 KURVA FUNGSI TRANSFER BEBAN TEORITIS	IV-58

4.10 UJI KHUSUS *DIRECT SHEAR* IV-62

**BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN** V-1

5.1 KESIMPULAN V-1

5.2 SARAN-SARAN V-4

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Skema Rangkaian Pembebanan pada Uji Pembebanan Tiang dengan Tiang Reaksi sebagai Angker	II-11
2.2	Skema Rangkaian Pembebanan pada Uji Pembebanan Tiang dengan Beban Kontra (Kettle) (Kettle)	II-12
2.3	Contoh Instrumentasi pada Uji Pembebanan Statik Aksial Tekan dan Tata Letaknya	II-16
2.4	Tell-tale	II-18
2.5	Skema <i>Vibrating Wire Strain Gage</i>	II-19
2.6	<i>Vibrating Wire Strain Gage</i> Jenis Terbenam dalam Beton.	II-20
2.7	Rangkaian Jembatan Wheatstone	II-21
2.8	Pengatur dan Indikator Pengukur Regangan Digital	II-22
2.9	<i>Load Cell</i> untuk Mengukur Beban Di Ujung Tiang Bor	II-23
2.10	Skema <i>Load Cell</i> untuk Mengukur Beban di Ujung Tiang Bor	II-23
2.11	<i>Strain Transducer</i> dan <i>Accelerometer</i> Terpasang Dekat Kepala Tiang Uji	II-28
2.12	<i>Pile Driving Analyzer</i>	II-28
2.13	Hasil Uji dengan <i>Pile Driving Analyzer</i>	II-29
2.14	Transfer Beban Aksial Pondasi Dalam Ke Tanah	II-30
2.15	Berbagai Fungsi $N_q$ Vs $\phi$ yang Diusulkan	II-34
2.16	Kurva Tipikal Distribusi Nilai Satuan Tahanan Ujung Netto, $q'_p$ Terhadap Kedalaman	II-35

2.17	Faktor Kapasitas Daya Dukung $N_{\gamma}^*$	II-36
2.18	Faktor Kapasitas Daya Dukung $N_q^*$	II-37
2.19	Satuan Tahanan Ujung Netto, $q'_p$ , pada Tanah Pasir	II-38
2.20	Satuan Tahanan Geser Selimut, $f_s$ , pada Tanah-tanah Nonkohesif	II-41
2.21	Faktor Adhesi $\alpha$ untuk Pondasi Tiang Bor	II-44
2.22	$N_{SPT}$ Vs Tahanan Ujung Ultimit	II-48
2.23	$N_{SPT}$ Vs Gesekan Selimut Ultimit	II-48
2.24	Kurva Tipikal Beban-Penurunan	II-50
2.25	Kurva Tipikal Transfer Beban	II-50
2.26	Model Tiang untuk Pembebanan Statik dan Kurva $t - z$	II-50
2.27	Pembagian Segmen dan Gaya-Gaya pada Segmen	II-55
2.28	Kurva Tipikal Rasio Transfer Beban dengan Kuat Geser Tanah terhadap Pergerakan Tiang	II-56
2.29	Pondasi Tiang dengan Beban Aksial Dibagi dalam Tiga Segmen	II-57
2.30	Model Linier Elastis Plastis	II-60
3.1	Diagram Alir Penelitian	III-2
4.1	Peta Lokasi Proyek	IV-1
4.2	Denah Bangunan, Lokasi Pengeboran dan Lokasi Tiang Uji	IV-3
4.3	Profil $N_{SPT}$	IV-7
4.4.a	Profil Pelapisan Tanah - Lokasi Tower - A	IV-8
4.4.b	Profil Pelapisan Tanah - Lokasi Tower - B	IV-9
4.4.c	Profil Pelapisan Tanah - Lokasi Tower - C	IV-10

4.4.d	Profil Pelapisan Tanah - Lokasi Tower - D	IV-11
4.5.a	Deskripsi Tiang Bor Uji Berinstrumen - TP-74A	IV-18
4.5.b	Deskripsi Tiang Bor Uji Berinstrumen - TP-31D	IV-19
4.6.a	Kurva Beban – Penurunan Kepala Tiang dan <i>Cutoff-Level</i> TP-74A	IV-25
4.6.b	Kurva Beban – Penurunan Kepala Tiang dan <i>Cutoff-Level</i> TP-88B	IV-25
4.6.c	Kurva Beban – Penurunan Kepala Tiang dan <i>Cutoff-Level</i> TP-92C	IV-26
4.6.d	Kurva Beban – Penurunan Kepala Tiang dan <i>Cutoff-Level</i> TP-31D	IV-26
4.7	Kurva Beban – Penurunan <i>Tell-tale Extensometer</i> TP-74A	IV-27
4.8	Kurva Beban – Penurunan <i>Tell-tale Extensometer</i> TP-31D	IV-28
4.9	Kurva Beban – Penurunan Kepala Tiang dan <i>Tell-tale</i> <i>Extensometer</i> ( TP-71A dan TP-31D )	IV-29
4.10	Kurva Transfer Beban TP-74A	IV-34
4.11	Kurva Transfer Beban TP-31D	IV-35
4.12	Kurva ( t – z ) TP-74A	IV-41
4.13	Kurva ( t – z ) TP-31D	IV-41
4.14	Kurva ( q – z ) TP-74A dan TP-31D	IV-42
4.15	Kurva-kurva Transfer Beban Hasil Uji PDA dan Uji Pembebanan	IV-49
4.16	Kurva-kurva Gesekan Selimut Termobilisasi Hasil Uji PDA dan Uji Pembebanan	IV-50



4.17	Kurva Beban Penurunan Uji Lapangan Vs Program-MAXILTR	IV-55
4.18.a	Kurva Transfer Beban Uji Lapangan Vs Program-MAXILTR TP=74A	IV-56
4.18.b	Kurva Transfer Beban Uji Lapangan Vs Program-MAXILTR TP=31D	IV-57
4.19	Kurva Fungsi Transfer Beban Teoritis – Selimut Tiang Uji TP-74A	IV-59
4.20	Kurva Fungsi Transfer Beban Teoritis – Selimut Tiang Uji TP-31D	IV-60
4.21	Kurva Fungsi Transfer Beban Teoritis – Ujung Tiang Uji TP-74A & TP-31D	IV-61
4.22	Kurva Tegangan Geser Uji Pembebanan Vs Uji Geser Langsung Tanah-tanah ( -9.70 s/d -10.20 m )	IV-63
4.23	Kurva Tegangan Geser Uji Pembebanan Vs Uji Geser Langsung Tanah-tanah ( -14.00 s/d -14.50 m )	IV-64
4.24	Kurva Tegangan Geser Uji Pembebanan Vs Uji Geser Langsung Beton-tanah ( -26.00 s/d -26.50 m )	IV-65

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Nilai-nilai $\phi_s/\phi$ Antar Muka Tiang Tanah	II-39
2.2 Nilai-nilai $K/K_0$	II-40
2.3 Faktor-faktor Keamanan Parsial untuk Tahanan akibat Beban Aksial Tiang-tiang Bor	II-52
2.4 Faktor-faktor Keamanan dari Literatur	II-52
2.5 Model Coyle	II-61
4.1 Faktor Koreksi untuk Nilai N-SPT	IV-14
4.2 Rangkuman Hasil Analisis Daya Dukung Ujung Tiang Cara Statis	IV-15
4.3 Proporsi Daya Dukung Ujung Terhadap Daya Dukung Total Ultimit (%)	IV-15
4.4 Modulud Elastisitas Beton Tiang Uji ( ACI-318M-89 )	IV-21
4.5 Penurunan Total Kepala Tiang	IV-24
4.6 Penurunan Residual Kepala Tiang	IV-24
4.7.a Beban Aksial Hasil Perhitungan pada Berbagai Siklus Uji dan Kedalaman - TP-74A	IV-32
4.7.b Perhitungan Satuan Tahanan Ujung dan Proporsi Beban Ujung Terhadap Beban pada Berbagai Siklus Uji - TP-74A	IV-32
4.8.a Beban Aksial Hasil Perhitungan pada Berbagai Siklus Uji dan Kedalaman - TP-31D	IV-33

4.8.b	Perhitungan Satuan Tahanan Ujung dan Proporsi Beban Ujung Terhadap Beban pada Berbagai Siklus Uji - TP-31D	IV-33
4.9	Diskretisasi Segmen-Segmen Pondasi Tiang Uji TP-74A dan TP-31D	IV-36
4.10	Data Tahanan Geser Selimut dan Perilaku Tengah-tengah Segmen ( t – z ) Hasil Perhitungan Tiang Uji TP-74A	IV-40
4.11	Data Tahanan Geser Selimut dan Perilaku Tengah-tengah Segmen ( t – z ) Hasil Perhitungan Tiang Uji TP-31D	IV-40
4.12	Daya Dukung Ultimit Hasil Uji Pembebanan – Metoda Mazurkiewichs	IV-45
4.13	Proporsi Daya Dukung Selimut dan Ujung terhadap Daya Dukung Total ( Ultimit ) Hasil Uji Pembebanan	IV-45
4.14	Data Palu dan Enerji pada Uji – PDA	IV-46
4.15	Kapasitas Daya Dukung Tiang - Uji PDA dan CAPWAP	IV-47
4.16	Proporsi Daya Dukung Selimut Ultimit dan Daya Dukung Ujung Ultimit terhadap Daya Dukung Total Ultimit - Uji PDA dan CAPWAP	IV-47
4.17	Daya Dukung Ijin Tiang Bor Hasil Analisis Cara Statis	IV-51
4.18	Daya Dukung Ijin Tiang Bor Hasil Uji Pembebanan	IV-52
4.19	Daya Dukung Ijin Tiang Bor Hasil Uji Dinamis - PDA	IV-52

## DAFTAR NOTASI

$A_c$	=	luas penampang beton
$A_i$	=	luas selimut tiang segmen ke-i
$A_p$	=	luas bidang kontak tahanan ujung
$A_s$	=	luas bidang kontak selimut tiang atau luas baja tulangan
$\alpha$	=	faktor adhesi
$B$	=	diameter pondasi tiang
$D$	=	panjang tiang terbenam
$\delta_o$	=	penurunan di kepala tiang
$\delta_{C.O.L.}$	=	penurunan di <i>cutoff level</i>
$E$	=	modulus elastisitas tanah
$E_c$	=	modulus elastisitas beton
$E_s$	=	modulus elastisitas baja tulangan
$\varepsilon$	=	regangan
$\varepsilon_i$	=	perubahan regangan rata-rata pada kedalaman i
$FK_1$	=	faktor keamanan parsial tahanan geser selimut
$FK_2$	=	faktor keamanan parsial tahanan ujung
$f_{max}$	=	satuan tahanan geser selimut maksimum
$f_s$	=	satuan tahanan geser selimut
$\phi$	=	sudut geser dalam tanah
$\phi_s$	=	sudut geser antar muka tiang-tanah

- $K$  = koefisien tegangan lateral  
 $K_o$  = koefisien tegangan lateral – *at rest*  
 $L$  = panjang segmen tiang  
 $L_o$  = panjang segmen tiang di atas *cutoff level*  
 $\Delta L$  = perpendekan segmen tiang  
 $\Delta L_o$  = perpendekan segmen tiang di atas *cutoff – level*  
 $l_i$  = jarak acuan tale-tell extensometer ke titik I  
 $N_{60}$  = nilai  $N_{SPT}$  yang dikoreksi terhadap prosedur lapangan  
 $N'_{60}$  = nilai  $N_{SPT}$  yang dikoreksi terhadap prosedur lapangan dan tegangan overburden  
 $Q_a$  = beban aksial tekan netto yang diijinkan  
 $Q_{o,j}$  = beban uji maksimum di kepala tiang siklus ke j  
 $Q_i$  = beban aksial pondasi tiang pada kedalaman i  
 $Q_p$  = daya dukung ujung  
 $Q_{pu}$  = daya dukung ujung ultimit  
 $Q_s$  = daya dukung selimut  
 $Q_{su}$  = daya dukung selimut ultimit  
 $Q_{ult}$  = daya dukung total ultimit  
 $\Delta Q_{i,j}$  = resultan gaya perlawanan geser selimut segmen ke I  
 $q_{max}$  = satuan tahanan ujung maksimum  
 $q_p'$  = satuan tahanan ujung netto

- $S_u$  = kuat geser tanah tak terdrainase
- $\sigma_h'$  = tegangan horizontal efektif
- $\sigma_r$  = tegangan acuan =  $2000 \text{ lb/ft}^2 = 100 \text{ kPa}$
- $\sigma_v'$  = tegangan vertikal efektif
- $T$  = beban pada ujung tiang
- $t$  = satuan tahanan geser tiang-tanah
- $\tau_{ij}$  = perlawanan geser termobilisasi segmen ke  $i$ ,  
siklus beban maksimum ke  $j$
- $W$  = berat pondasi
- $y_i$  = pergerakan titik tengah segmen ke  $i$
- $z$  = peralihan relatif tiang-tanah

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran

- A Data Borlog
- B Perhitungan / Analisis Daya Dukung Cara Statis
- C Data Lapangan
  - Hasil Uji Kuat Tekan Beton
  - Profil Tiang Uji dan Volume Beton
  - Deskripsi Tiang Bor Uji Berinstrumen
- D Data Instrumen
- E Data Uji Dinamis (PDA)
- F Data Masukan dan Keluaran Program MAXILTR
- G Data Kurva Transfer Beban Teoritis
- H Data Uji Direct Shear

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Kesulitan untuk menentukan properties tanah yang sesuai dengan kondisi di lapangan setelah pondasi tiang bor tertanam, serta keragaman tanah baik di arah vertikal maupun horizontal dan kompleksitas interaksi tiang-tanah merupakan kendala untuk memprediksi maupun keberhasilan analisis daya dukung ultimit pondasi tiang bor yang dibebani aksial.

Daya dukung pondasi tiang diperoleh dari perlawanan tanah melalui gesekan selimut dan atau tahanan ujung pondasi tiang. Perlawanan tanah pada selimut tiang terjadi karena adanya interaksi tiang-tanah akibat deformasi aksial pondasi tiang dan tanah yang dibebani.

Metoda-metoda untuk memprediksi gesekan selimut maupun tahanan ujung telah dikembangkan, untuk gesekan selimut telah dikembangkan metoda- $\alpha$ , metoda- $\beta$  [Reese and O'Neill (1989) ; Kulhawy and Jackson (1989)] dan metoda korelasi dengan data  $N_{SPT}$  [Reese & Wright (1977)], sedangkan untuk tahanan ujung perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan metoda Hanson, metoda Vesic (1977), Reese and O'Neill (1989), Reese & Wright (1977) dan Coyle and Castello (1981). Metoda-metoda ini didasarkan pada prinsip keseimbangan batas dan dikenal sebagai metoda analisis daya dukung tiang cara statik. Disamping keraguan terhadap hasil prediksi daya dukung pondasi tiang karena asumsi-asumsi yang



digunakan, kelemahan yang mendasar dari cara statik adalah tidak diperolehnya hubungan antara beban dan penurunan pondasi tiang.

Perilaku tahanan geser di bagian selimut tiang akibat beban aksial tidak berlangsung linier di sepanjang tiang bor dan banyak faktor yang mempengaruhinya, diantaranya adalah bahan tiang, diameter dan panjang tiang, teknik penginstalasian pondasi tiang, tegangan efektif lateral antara bahan tiang dan tanah disekitarnya, jenis dan properties serta kondisi tanah disekitar selimut tiang.

Metoda yang paling handal untuk menentukan kapasitas daya dukung pondasi tiang yang dibebani aksial adalah dengan uji pembebanan langsung pada pondasi tiang.

Perilaku pondasi tiang yang dibebani aksial dapat ditinjau dari kurva beban-penurunan (*Load Settlement Curve*) yang didapat dari hasil uji pembebanan dan mekanisme transfer beban dapat diperoleh berdasarkan instrumen yang dipasang pada pondasi tiang. Dengan metoda Mazurkiewichs, dari kurva hubungan beban terhadap penurunan kepala tiang dapat ditentukan daya dukung ultimitnya.

Secara analitik, Coyle dan Reese (1966) mengemukakan analisis transfer beban yang merupakan hubungan rasio antara beban yang dialihkan terhadap kuat geser tanah dengan peralihan kepala tiang.

Dewasa ini, respon tiang-tanah terhadap beban pada kedalaman tertentu dapat diketahui dengan memasang instrumen pada tiang uji. Instrumen yang digunakan umumnya berupa *Vibrating Wire Strain Gages* (VWSG), *Tell-tale Extensometer* (TTE), dan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT). Dengan instrumen-instrumen ini data regangan tiang yang terjadi di kedalaman instrumen-instrumen dapat dikonversi menjadi gaya dan tegangan, sehingga kurva transfer beban terhadap kedalaman dapat diperoleh.

Informasi geologi setempat dan sejumlah data penyelidikan tanah serta uji pembebanan pada pondasi tiang yang telah dilakukan sangat bermanfaat untuk penelitian perilaku pondasi tiang. Suatu wilayah dengan kondisi geologi yang relatif sama, pondasi tiang bor diperkirakan akan mempunyai perilaku interaksi tiang-tanah dalam penyaluran beban dan hubungan beban-beban yang bersangkutan terhadap penurunan yang relatif sama.

Chandra et.al. (1992) telah merangkum kondisi geologi tipikal untuk wilayah Jakarta. Disamping itu di Jakarta Selatan dimana telah banyak bangunan-bangunan tinggi didirikan, telah pula banyak dilakukan penyelidikan-penyelidikan tanah baik di lapangan maupun penelitian lebih lanjut di laboratorium. Diharapkan dengan semakin banyak studi pada perilaku pondasi tiang di lokasi dengan kondisi geologi yang identik, kelak dapat dibuat peta mengenai keadaan geoteknis dan gambaran karakteristik perilaku pondasi tiang bornya.

## 1.2 PERMASALAHAN

Pondasi tiang beton dan tanah pendukungnya merupakan bahan yang elastis sehingga akan berdeformasi apabila dibebani. Deformasi akibat beban aksial pada pondasi tiang dan tanah menyebabkan pergeseran relatif selimut tiang dengan tanah disekelilingnya. Pergeseran relatif terjadi akibat selisih regangan pada selimut tiang dengan regangan tanah akibat beban yang disalurkan pada tanah dan menimbulkan tahanan geser tanah pada selimut pondasi tiang.

Pembebanan pada pondasi tiang baik pada uji pembebanan maupun pembebanan dari struktur atas umumnya merupakan pembebanan bertahap. Beban

aksial tahap awal pertama-tama diterima kepala tiang dan disalurkan pada tanah disekelilingnya, akibatnya tiang dan tanah di sekitar kepala tiang berdeformasi sehingga timbul pergeseran relatif dan tahanan geser antara selimut tiang dengan tanah disekelilingnya.

Seiring dengan peningkatan beban dan keterbatasan tahanan geser di bagian atas dari tiang menyebabkan terjadinya redistribusi beban pada bagian tiang yang lebih dalam, akibatnya, pergeseran relatif berlanjut secara progresif pada selimut tiang yang lebih dalam seiring dengan pergeseran yang lebih besar di bagian atas dari tiang. Setelah seluruh tahanan geser selimut sepanjang tiang termobilisasi, peningkatan beban aksial lebih lanjut akan memobilisasi ujung tiang sehingga material di bawah ujung tiang memberi perlawanan pada ujung tiang, dengan perkataan lain ujung tiang mulai memperoleh tahanan ujung pada tahap pembebanan ini. Pembebanan pada material ujung tiang menyebabkan penurunan ujung tiang, bersamaan dengan itu terjadi penurunan tiang secara keseluruhan dan terjadi lagi redistribusi tahanan geser pada selimut tiang. Pada tahap ini, penurunan kepala tiang merupakan akumulasi deformasi aksial tiang dan penurunan ujung tiang.

Pada peningkatan beban tertentu terjadi pergeseran relatif yang besar disepanjang selimut tiang dan atau penurunan ujung yang besar. Batas beban dimana peralihan kepala tiang yang besar merupakan daya dukung ultimit dari tiang tersebut.

### 1.3 MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan terhadap uji pembebanan empat buah pondasi tiang bor berdiameter 1000 mm , dua diantaranya menggunakan instrumen *Vibrating Wire Strain Gage* dan *Tell-tale Extensometer*, serta uji dinamis dengan *Pile Driving Analyzer (PDA)* terhadap sepuluh buah pondasi tiang bor dengan diameter 1000 mm di daerah Kuningan Jakarta Selatan. Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan beberapa hal berikut :

- menghitung daya dukung ultimit pondasi tiang bor berdasarkan cara statik
- melakukan kajian terhadap perilaku beban-penurunan pondasi tiang bor dari data uji pembebanan
- melakukan kajian terhadap data yang diperoleh dari instrumen sehingga dapat diperoleh :
  - hubungan antara mekanisme transfer beban dengan kurva t-z
  - proporsi transfer beban di ujung dan selimut pondasi tiang
- membandingkan daya dukung ultimit berdasarkan cara statik dengan nilai daya dukung ultimit hasil uji pembebanan statik maupun dinamik di lapangan
- meninjau fungsi gesekan terhadap peralihan dengan uji *Direct Shear* di laboratorium sebagai data pendukung.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami mekanisme dan perilaku pondasi tiang bor berdiameter besar dalam memikul beban aksial tekan untuk dapat menerapkan teori bagi kepentingan praktek.

## 1.4 PEMBATASAN MASALAH

Masalah yang diteliti pada tesis ini adalah perilaku pondasi tiang bor beton dengan lingkup bahasan yang terbatas pada tersedianya data untuk diteliti sehingga diharapkan masalah yang diteliti dapat ditinjau dengan lebih mendalam.

Masalah yang diteliti pada tesis ini dibatasi untuk hal-hal sebagai berikut :

- pondasi tiang yang ditinjau adalah pondasi tiang bor beton berdiameter 1000 mm yang merupakan tiang tunggal berpenampang lingkaran vertikal ke arah memanjang.
- beban yang bekerja berupa beban aksial sejajar sumbu tiang.
- data-data penyelidikan tanah dan uji pembebanan pondasi tiang bor berasal dari proyek yang terdapat di daerah Kuningan Jakarta Selatan.

## 1.5 METODOLOGI DAN LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Apartemen *Four Seasons* yang terdiri dari empat tower di daerah Kuningan Jakarta Selatan. Masing-masing tower dengan beban total 49529 ton didukung oleh 122 buah tiang bor berdiameter 1000 mm. Pada Proyek ini telah dilakukan penyelidikan-penyelidikan tanah, uji pembebanan pada empat buah pondasi tiang bor berdiameter 1000 mm, serta uji dinamis (*Pile Driving Analyzer*) pada sepuluh buah tiang bor. Dua tiang uji pembebanan diantaranya menggunakan instrumen *Vibrating Wire Strain Gage* (VWSG) dan *Tell-tale Extensometer* (TTE).

Metoda penelitian ini mencakup penyelidikan tanah ; analisis daya dukung pondasi tiang bor dengan cara statik ; tinjauan terhadap pondasi tiang bor uji

pembebanan ; analisis data uji pembebanan ; analisis data uji dinamis (PDA) ; daya dukung ijin dan faktor keamanan ; verifikasi data lapangan menggunakan program-MAXILTR ; fungsi transfer beban teoritis dibandingkan dengan fungsi transfer beban yang diturunkan dari hasil uji pembebanan ; serta mengkaji hasil uji khusus *direct shear* untuk mendapatkan perilaku antarmuka tanah-tanah, beton-tanah, dan dievaluasi terhadap kurva fungsi transfer beban hasil uji pembebanan.

Penyelidikan tanah di lapangan meliputi pengeboran, uji SPT , dan pengamatan muka air tanah. Pengujian tanah di lapangan sebagian besar telah dilakukan oleh P.T. Herda Carter Indonesia dan P.T. Testana Indoteknika, dan pada studi ini dilakukan pengambilan sampel tanah untuk keperluan penelitian lebih lanjut di laboratorium.

Analisis daya dukung pondasi tiang bor dengan cara statik menggunakan beberapa metoda, diantaranya metoda Meyerhof (1976), Briaud et.al (1985) dan Reese & Wright (1977). Daya dukung hasil analisis dengan cara statik dievaluasi terhadap hasil-hasil uji pembebanan di lapangan.

Tinjauan terhadap pondasi tiang bor uji meliputi mutu pelaksanaan pengeboran, penulangan, instrumentasi dan elevasinya, dan volume dan mutu beton.

Analisis data uji pembebanan meliputi analisis perilaku beban-penurunan; analisis transfer beban; analisis / penurunan fungsi transfer beban; dan estimasi daya dukung ultimit, proporsi daya dukung selimut ultimit dan daya dukung ujung ultimit.

Analisis data uji dinamis (PDA) pada 10 buah tiang bor, yaitu data daya dukung total, daya dukung selimut, daya dukung ujung, transfer beban sepanjang tiang terbenam dan gesekan selimut termobilisasi. Hasil-hasil uji dinamis dievaluasi / dibandingkan terhadap hasil-hasil uji pembebanan. Evaluasi meliputi proporsi daya

dukung selimut dan daya dukung ujung termobilisasi terhadap daya dukung total, transfer beban hasil uji dinamis dan uji pembebanan serta gesekan selimut termobilisasi.

Pada tahap berikutnya dilakukan evaluasi terhadap kapasitas daya dukung ijin hasil analisis cara statis, uji pembebanan dan uji dinamis (PDA). Evaluasi juga dilakukan terhadap faktor keamanan parsial terukur untuk beban rencana 500 ton.

Verifikasi data lapangan menggunakan program-MAXILTR, dimana program ini dapat menggunakan fungsi transfer beban untuk gesekan selimut dan tahanan ujung sesuai pilihan yang tersedia pada program. Fungsi transfer beban yang diturunkan dari hasil uji pembebanan digunakan untuk perhitungan balik dengan program-MAXILTR sebagai verifikasi perilaku tiang bor dari data lapangan.

Fungsi transfer beban teoritis Linear Elastic Plastic dan Vijayvergiya (1977) diturunkan untuk segmen-segmen tiang uji berinstrumen ( TP-74A dan TP-31D ) kemudian dibandingkan dengan fungsi transfer beban hasil uji pembebanan.

Uji *direct shear* secara khusus dilakukan untuk mendapatkan perilaku antarmuka antara beton dan tanah. Kurva-kurva tegangan-peralihan hasil uji *direct shear* secara khusus dievaluasi terhadap kurva transfer beban hasil uji pembebanan untuk dicari kemungkinan adanya korelasi antara keduanya.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Tesis ini terdiri dari lima bab dengan beberapa sub bab pada masing-masing bab. Pembahasan pada tiap bab secara umum adalah sebagai berikut :

- Bab 1** : berisi latar belakang masalah, permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika isi.
- Bab 2** : dalam bab ini diuraikan secara singkat konsep-konsep dan teori-teori yang melandasi penelitian dan digunakan untuk mendukung pemecahan masalah.
- Bab 3** : bab ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.
- Bab 4** : pada bab ini dilakukan evaluasi pelapisan tanah dan analisis data lapangan untuk mendapatkan perilaku beban-penurunan, transfer beban, serta penurunan fungsi transfer beban ( kurva  $t - z$  dan  $q - z$  ). Hasil-hasil uji dinamis (PDA) dievaluasi dan dibandingkan dengan hasil-hasil uji pembebanan. Berdasarkan fungsi transfer beban hasil uji pembebanan dilakukan verifikasi analisis perilaku tiang dengan program komputer MAXILTR.. Fungsi transfer beban teoritis Linear Elastic Plastic dan Vijayvergiya diturunkan untuk dibandingkan dengan fungsi transfer beban hasil uji pembebanan. Uji khusus Direct Shear dilakukan untuk mengetahui kemungkinan adanya korelasi dengan fungsi transfer beban hasil uji pembebanan.
- Bab 5** : merupakan kesimpulan dari penelitian dan saran-saran yang mungkin bermanfaat.