PEMODELAN PERILAKU PONDASI TIANG BOR YANG DIBEBANI AKSIAL DENGAN METODA ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN ELEMEN ANTAR MUKA

TESIS MAGISTER

Oleh :

CHRISTIAN H. GIRSANG, S. T.

NRP : 8395009

NIRM : 41067011960428

R 65009 / BPPA - sb.
260298.

624.154 095 982
GIR
P

BIDANG KAJIAN GEOTEKNIK

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

1 9 9 7

Tesis ini dinyatakan telah memenuhi syarat sebagai
tugas akhir dalam
Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan Bandung
setelah diajukan dalam
Sidang Ujian Tesis pada tanggal 22 November 1997
dan disempurnakan sesuai dengan petunjuk yang diberikan

Pembimbing I :

(Prof. Dr. Ir. A. Aziz Jayaputra, MSCE.)

Pembimbing II :

(Dr. Ir. Paulus P. Rahardjo, MSCE.)

Penguji I :

(Dr. Ir. Bambang Suryoatmono, M. Sc.)

Penguji II :

(Ir. Theo F. Najoan, M. Eng.)

Ketua Program Magister Teknik Sipil :

(Dr. Ir. Paulus P. Rahardjo, MSCE.)

"The fear of the LORD is the beginning of knowledge, but fools despise wisdom and discipline"
(Proverbs 1 : 7)

This thesis is dedicated to :

- *Jesus Christ, my Savior*
- *My family : Bapak, Ibu, Nani, Yanto and Yanti*
- *My dear Pressy*

PEMODELAN PERILAKU PONDASI TIANG BOR YANG DIBEBANI AKSIAL DENGAN METODA ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN ELEMEN ANTAR MUKA

CHRISTIAN HARIADY GIRSANG

NRP : 8395009 **NIRM : 41067011960428**

PEMBIMBING I : PROF. DR. IR. A. AZIZ JAYAPUTRA, MSCE.
PEMBIMBING II : DR. IR. PAULUS PRAMONO RAHARDJO, MSCE.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
PROGRAM PASCA SARJANA - KONSENTRASI TEKNIK SIPIL
BIDANG KAJIAN GEOTEKNIK
BANDUNG

ABSTRAK

Perilaku pondasi tiang yang dibebani aksial memerlukan suatu metoda analisis yang lebih kompleks. Penelitian ini bermaksud menggunakan metoda elemen hingga untuk mempelajari mekanisme transfer beban pondasi tiang bor dalam menahan beban aksial.

Dalam analisis digunakan metoda elemen hingga dengan aplikasi program komputer AXISHL (Hardin, Clough, dan Singh, 1990). Program ini merupakan pengembangan dari program komputer untuk masalah interaksi tanah-struktur, yaitu program SOILSTRUCT (Clough, 1969). Sifat tegangan-regangan tanah menggunakan model hiperbolik (Duncan dan Chang, 1970) dan program komputer memodelkan elemen antar muka (*interface element*) yang merupakan sifat interaksi tanah-struktur. Dari hasil analisis diperoleh besarnya peralihan dan tegangan yang terjadi akibat beban aksial yang bekerja, sehingga dapat dibentuk kurva beban-peralihan dan kurva transfer beban yang terjadi dan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari uji pembebanan statik.

Dalam analisis, dilakukan suatu studi kasus pada proyek Apartemen *Four Seasons* di Jakarta terhadap satu tiang bor yang diberi instrumentasi (tiang bor TP-31 D). Dari hasil analisis diketahui bahwa model hiperbolik yang digunakan cukup baik. Namun demikian, respon ujung tiang dalam model ini lebih tinggi daripada hasil pengukuran di lapangan. Hasil analisis memberikan kesimpulan bahwa program AXISHL bermanfaat dalam analisis pondasi tiang bor, khususnya dalam memberikan informasi tentang peralihan dan tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja.

Dari hasil studi ini diperoleh bahwa gesekan selimut pada pondasi tiang bor cukup dominan dan telah terjadi gelincir (*slip*) antara tanah dan elemen tiang.

ABSTRACT

The behavior of axially loaded pile requires a more complex analysis. This research uses the finite element method to study the load transfer mechanism of bored piles under an applied load.

The analysis uses a finite element method using AXISHL computer program (Hardin, Clough, and Singh, 1990). This program is a development of a soil-structure program, i.e. SOILSTRUCT (Clough, 1969). Hyperbolic model (Duncan and Chang, 1970) was used to characterize the stress-strain behavior of the soil and the computer program uses the interface elements to represent the soil-structure interaction. The analysis provides the displacements and stresses that occur due to applied load. The load-settlement curve and the computed load transfer curve were compared to the data resulted from a static loading test.

Case study was performed for a project namely Four Seasons Apartment in Jakarta on an instrumented bored pile (Pile No. TP-31 D). The result of the analysis indicated that the use of hyperbolic model gives reasonable solutions. It is also indicated that AXISHL computer program is useful for analysing bored pile, especially comprehensive stresses and displacements were analysed. However, the tip response showed a higher resistance than those measured by the instruments.

From this study, it is concluded that the friction resistance of bored pile is very significant and slip occurred between the concrete and the soil elements.

3. Dr. Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. dan Ir. Theo F. Najoan, M.Eng. selaku penguji
4. Bapak Iwan, dari P.T. Dewata Wibawa yang banyak membantu dalam pengumpulan data lapangan
5. P.T. Testana Indoteknika yang membantu dalam pengambilan sampel tanah
6. Pak Suyat dan Pak Dirman yang banyak membantu selama pengujian di laboratorium
7. Ir. Davy Sukamta dan Ir. Suryanta D., dari P.T. Davysukamta Konsultan yang memberikan dispensasi selama penyusunan tesis ini
8. Bapak, Ibu, Nani, Yanto, dan Yanti atas doa dan dorongannya
9. Yang terkasih, Precita Kurniaty, yang terus memberikan dorongan tanpa henti-hentinya
10. Rekan-rekan mahasiswa S-2 Bidang Kajian Geoteknik : Erik, Haadi, Pak Yin Kuan, El Fie, dan lain-lain
11. Teman-teman di PMK 3 Unpar : Rudy, Jimmy, Vera, Juliani, dan lain-lain, yang terus membawakan penulis di dalam doa

Akhir kata, penulis berharap agar tesis ini dapat memberikan sumbangan nyata untuk kemajuan ilmu geoteknik di tanah air.

Bandung, November 1997

Christian Hariady Girsang

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

ABSTRACT ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR NOTASI xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG DAN TUJUAN PENELITIAN 1

1.2 RUANG LINGKUP PENELITIAN 3

1.3 METODOLOGI PENELITIAN 4

1.3.1 Teknik Pengujian 4

1.3.2 Teknik Analisis 5

1.4 SISTEMATIKA ISI 5

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1 METODA ELEMEN HINGGA 7

2.1.1 Konsep Dasar 7

2.1.2 Langkah-Langkah Dasar dalam Metoda Elemen Hingga 8

2.2 MODEL HIPERBOLIK 15

2.2.1 Nonlinieritas Kurva Tegangan-Regangan Berdasarkan Model Hiperbolik 16

2.2.2 Perilaku Ketergantungan pada Tegangan (*Stress-Dependency*) dari Kurva Tegangan-Regangan 17

2.2.3 Hubungan antara E_t dan Tegangan 19

2.2.4 Perilaku Inelastis yang Ditunjukkan oleh Harga Modulus *Loading* dan *Unloading* yang Berbeda 20

2.2.5 Perubahan Nonlinier pada Volume Ditunjukkan dengan Harga *Bulk Modulus* yang Konstan 21

2.2.6 Variasi Harga B terhadap Tegangan Vertikal 23

2.2.7 Uji Triaksial 26

2.3 PROGRAM KOMPUTER AXISHL 30

2.3.1 Respon Tanah 30

2.3.2 Respon Elemen Antar Muka 30

2.3.3 Respon Material Struktur 31

2.3.4 Perjanjian Tanda dan Sistem Koordinat 32

BAB 3 METODA PENELITIAN

3.1 PENELITIAN LAPANGAN 34

3.1.1 Pengamatan Pondasi Tiang Bor dengan Instrumen yang Dibebani Aksial 34

3.1.1.1 Uji Pembebanan Aksial 35

3.1.1.2 Interpretasi Hasil Uji 41

3.1.1.3 Pemasangan dan Pembacaan Instrumen 43

3.2 PENELITIAN DI LABORATORIUM 48

BAB 4 ANALISIS DATA LAPANGAN DAN PENURUNAN PARAMETER

4.1 DESKRIPSI PROYEK 49

4.2 KONDISI TANAH 49

4.3 PENGAMATAN DARI UJI LAPANGAN 51

4.3.1 Instrumentasi 54

4.3.1.1 *Vibrating Wire Strain Gages* (VWSG) 54

4.3.1.2 *Tell-tale Extensometer* 56

4.3.1.3 *Dial Gages* 56

4.3.2 Sistem Pembebanan dan Uji Pembebanan 56

4.3.3 Pengolahan Data 57

4.3.3.1 Perilaku Beban-Penurunan 57

4.3.3.2 Beban Aksial Hasil Perhitungan 62

4.3.3.3 Gesekan Selimut dan Peralihan 63

4.4 PENURUNAN PARAMETER

4.4.1 Penurunan Parameter Hiperbolik 65

4.4.2 Penurunan Parameter Elemen Antar Muka 65

BAB 5 PEMODELAN PERILAKU PONDASI TIANG BOR DENGAN BEBAN AKSIAL DAN INTERPRETASI HASIL ANALISIS

5.1 PENYUSUNAN *MESH* 79

5.2 HASIL ANALISIS DENGAN PROGRAM AXISHL 79

5.3 INTERPRETASI HASIL ANALISIS DAN PERBANDINGAN DENGAN PERILAKU PONDASI TIANG BOR DI LAPANGAN 79

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN 102

6.2 SARAN 103

DAFTAR PUSTAKA 104

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Model Hiperbolik dari Kurva Tegangan-Regangan	16
2.2	Variasi Harga *Initial Tangent Modulus* terhadap Tegangan Vertikal	18
2.3	Variasi Harga Parameter Kuat Geser Tanah terhadap Tegangan Vertikal	19
2.4	Modulus *Unloading-Reloading*	20
2.5	Perilaku Nonlinier dan Ketergantungan pada Tegangan dari Kurva Tegangan-Regangan dan Perubahan Volume	22
2.6	Variasi Harga *Bulk Modulus* terhadap Tegangan Vertikal	24
2.7	Diagram p-q	27
2.8	Lingkaran Mohr untuk Tanah NonKohesif	28
2.9	Variasi Harga ϕ terhadap Tegangan Vertikal	29
2.10	Model Hiperbolik Nonlinier yang Umum Digunakan untuk Mewakili Perilaku Tanah	31
2.11	Model Tegangan-Regangan yang Mewakili Perilaku Elemen Antar Muka	32
2.12	Perjanjian Tanda dan Sumbu-Sumbu Koordinat untuk Tegangan dan Peralihan	33
3.1	Pengujian Beban dengan Menggunakan Tiang Angker	35
3.2	Konstruksi Tumpuan Arloji Ukur	37
3.3	Pemasangan Arloji Ukur pada Tiang Percobaan	38

3.4	Pemasangan Arloji Ukur pada Meja Beban	39
3.5	Pengujian Tiang dengan Beban Kontra (*Kentledge*)	40
3.6	Jembatan *Wheatstone* pada Alat *Strain Gage*	45
3.7	Sel *Strain Gage*	45
3.8	Indikator Pembacaan Regangan Digital	46
3.9	*Multiple Tell-tale*	47
4.1	Lokasi Tiang Bor dan Pengambilan Sampel	50
4.2	Profil Tanah	52
4.3	Distribusi Ukuran Butiran	53
4.4	Tiang Bor yang Dianalisis	55
4.5	Grafik Beban-Penurunan	58
4.6	Kurva Beban-Penurunan (Data TT1, -9.7 m)	59
4.7	Kurva Beban-Penurunan (Data TT2, -22.0 m)	60
4.8	Kurva Beban-Penurunan (Data TT3, -32.0 m)	61
4.9	Kurva t-z Hasil Uji Pembebanan	64
4.10	Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 1, Kedalaman 9.7 – 10.2 m)	69
4.11	Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 2, Kedalaman 14.0 – 14.5 m)	70
4.12	Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 3, Kedalaman 18.4 – 18.8 m)	71
4.13	Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 4, Kedalaman 22.0 – 22.3 m)	72

4.14 Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 5, Kedalaman 24.9 – 25.4 m) 73

4.15 Perbandingan antara Model Hiperbolik dengan Data Asli Sampel 6, Kedalaman 26.0 – 26.5 m) 74

4.16 Perbandingan Kurva t-z Model Hiperbolik dengan Hasil Uji Pembebanan 75

5.1 *Mesh* Elemen Hingga 80

5.2 Kurva Beban-Penurunan Hasil Analisis Elemen Hingga 82

5.3 Kurva Beban-Penurunan Hasil Uji Pembebanan dan Prediksi Elemen Hingga 83

5.4 Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 1 (250 ton) 84

5.5 Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 2 (500 ton) 85

5.6 Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 3 (750 ton) 86

5.7 Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 4 (1000 ton) 87

5.8 Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 5 (1250 ton) 88

5.9 Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –11.7 m 89

5.10 Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –23.75 m 90

5.11 Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –31.5 m 91

5.12 Kontur Tegangan Vertikal pada Siklus 1 (Beban 250 ton) 92

5.13 Kontur Tegangan Vertikal pada Siklus 2 (Beban 500 ton) 93

5.14 Kontur Tegangan Vertikal pada Siklus 3 (Beban 750 ton) 94

5.15 Kontur Tegangan Vertikal pada Siklus 4 (Beban 1000 ton) 95

5.16 Kontur Tegangan Vertikal pada Siklus 5 (Beban 1250 ton) 96

5.17 Kontur Penurunan Tiang dan Tanah pada Siklus 1 (Beban 250 ton) 97

5.18 Kontur Penurunan Tiang dan Tanah pada Siklus 2 (Beban 500 ton) 98

5.19 Kontur Penurunan Tiang dan Tanah pada Siklus 3 (Beban 750 ton) 99

5.20 Kontur Penurunan Tiang dan Tanah pada Siklus 4 (Beban 1000 ton) 100

5.21 Kontur Penurunan Tiang dan Tanah pada Siklus 5 (Beban 1250 ton) 101

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Ringkasan Parameter-Parameter Hiperbolik	25
4.1	Parameter Hiperbolik	66
4.2	Parameter Elemen Antar Muka	67
4.3	Parameter Hiperbolik yang Digunakan dalam Analisis	77
4.4	Parameter Elemen Antar Muka yang Digunakan dalam Analisis	78
5.1	Kurva Beban-Penurunan Hasil Uji Pembebanan dan Prediksi Elemen Hingga	83
5.2	Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 1 (250 ton)	84
5.3	Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 2 (500 ton)	85
5.4	Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 3 (750 ton)	86
5.5	Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 4 (1000 ton)	87
5.6	Perbandingan Kurva Transfer Beban pada Siklus 5 (1250 ton)	88
5.7	Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –11.7 m	89
5.8	Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –23.75 m	90
5.9	Gelincir yang Terjadi antara Elemen Tiang dan Tanah di Elevasi –31.5 m	91

DAFTAR NOTASI

A_c	= luas penampang beton
A_s	= luas penampang tulangan baja
B	= *bulk modulus*
c	= kohesi
$\Delta\varepsilon_x$, $\Delta\varepsilon_y$	= perubahan regangan normal
$\Delta\varepsilon_x$	= perubahan regangan volumetrik
$\Delta\gamma_{xy}$	= perubahan regangan geser
$\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$	= perubahan tegangan normal
$\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$, $\Delta\sigma_3$	= perubahan tegangan utama
$\Delta\tau_{xy}$	= perubahan tegangan geser
E	= modulus elastisitas
E_c	= modulus elastisitas beton
E_s	= modulus elastisitas baja
E_{ur}	= modulus *unloading-reloading*
E_i	= *initial tangent modulus*
ε	= regangan
ε_r	= regangan dalam arah radial
ε_z	= regangan dalam arah vertikal
ε_θ	= regangan dalam arah angular
γ_{rz}	= regangan geser dalam arah radial-vertikal
K	= konstanta modulus

K_b	= konstanta *bulk modulus*
K_{ur}	= konstanta *modulus* untuk *unloading-reloading*
ν	= *Poisson's ratio*
m	= eksponen *bulk modulus*
n	= eksponen
P	= beban yang diberikan
ϕ	= sudut geser dalam
R_f	= rasio keruntuhan
σ	= tegangan
σ_r	= tegangan dalam arah radial
σ_Z	= tegangan dalam arah vertikal
σ_θ	= tegangan dalam arah angular
$(\sigma_1-\sigma_3)$	= tegangan deviator
τ	= tegangan geser
τ_{rz}	= tegangan geser dalam arah radial-vertikal

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

A Kondisi Lapangan

B Data Uji Pembebanan

C Data *Strain Gage & Tell-tale*

D Data Uji Laboratorium

E Hasil Analisis Program AXISHL

F Foto-Foto

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG DAN TUJUAN PENELITIAN

Metoda elemen hingga merupakan teknik yang sangat berguna dalam analisis tegangan dan pergerakan massa tanah dan telah digunakan dalam analisis pada sejumlah masalah di lapangan, misalnya pada bendungan tipe urugan, galian terbuka, dan berbagai masalah interaksi tanah-struktur.

Analisis deformasi tanah seharusnya memberikan hasil yang realistis. Oleh karena itu, karakteristik tegangan-regangan tanah menjadi sangat penting untuk dianalisis dengan cara yang baik dan benar. Tetapi hal ini sulit untuk dilakukan karena karakteristik tegangan-regangan tanah sangat kompleks dan perilaku tanah yang nonlinier, inelastis, dan sangat tergantung kepada besarnya tegangan yang bekerja pada tanah.

Oleh karena itu, hubungan tegangan-regangan hiperbolik dikembangkan sebagai suatu usaha untuk menemukan cara kerja sederhana yang meliputi karakteristik perilaku tegangan-regangan tanah yang paling penting dengan menggunakan data-data yang tersedia dari uji laboratorium.

Wong dan Duncan [21] mengusulkan prosedur untuk menentukan tegangan-regangan dan parameter perubahan volume yang digunakan dalam analisis tegangan dan pergerakan massa tanah dengan menggunakan metoda elemen hingga nonlinier. Mereka mengusulkan parameter yang digunakan untuk

menggambarkan perilaku tegangan-regangan dan perubahan volume yang nonlinier dan tergantung kepada besarnya tegangan, yaitu :

1. Harga tangen dari *modulus Young* (E_t) yang bervariasi menurut tegangan vertikal dan persentase kekuatan yang dimobilisasi
2. Harga tangen dari *Poisson's ratio* yang bervariasi menurut tegangan vertikal dan persentase kekuatan yang dimobilisasi

Studi lebih lanjut menemukan bahwa perilaku perubahan volume tanah dapat dimodelkan dengan akurasi yang sama dengan mengasumsikan bahwa *bulk modulus* tanah bervariasi menurut tegangan vertikal dan tidak tergantung kepada persentase kekuatan yang dimobilisasi. Pada kondisi tegangan besar, asumsi ini dapat diterima karena menunjukkan sifat-sifat mekanis tanah.

Duncan, et. al. [8] menggunakan parameter-parameter berikut ini untuk menggambarkan perilaku tegangan-regangan dan perubahan volume yang nonlinier dan tergantung kepada besarnya tegangan, yaitu :

1. Harga tangen dari *modulus Young* (E_t) yang bervariasi menurut tegangan vertikal dan persentase kekuatan yang dimobilisasi
2. Harga *bulk modulus* (B) yang bervariasi menurut tegangan vertikal dan tidak tergantung kepada persentase kekuatan yang dimobilisasi

Dalam tesis ini, parameter-parameter tersebut di atas dianalisis dengan metoda elemen hingga. Analisis metoda elemen hingga ini menggunakan prinsip kompatibilitas dalam menghitung pergerakan titik nodal dan tidak memperbolehkan terjadinya pergerakan relatif antar elemen yang berdekatan, walaupun jenis

materialnya berbeda. Goodman, et. al. [11] mengembangkan elemen satu dimensi yang mampu mengalami pergerakan relatif tersebut. Elemen ini menghubungkan elemen dua dimensi yang berdekatan di sepanjang batas antar elemen. Elemen satu dimensi ini disebut elemen antar muka (*interface element*). Oleh karena itu, diperlukan parameter-parameter khusus untuk elemen antar muka yang dalam penelitian ini diperoleh melalui data *strain gage* di lapangan.

1.2 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini menyelidiki pemodelan perilaku pondasi tiang bor yang dibebani aksial dengan metoda elemen hingga. Lokasi pondasi tiang bor yang diteliti adalah pondasi tiang bor (diberi kode TP-31 D) pada proyek Apartemen *Four Seasons* di Jakarta. Pada awal pembangunannya telah dilakukan penyelidikan tanah baik di lapangan maupun di laboratorium. Data-data tersebut digunakan sebagai masukan awal mengenai sifat dan karakteristik tanah di lokasi proyek. Di samping itu, dilakukan pengambilan sampel tanah langsung pada lokasi proyek. Sampel diambil pada kedalaman di mana alat *strain gages* dipasang.

Sampel tanah yang diambil di lapangan diuji di laboratorium dengan menggunakan uji triaksial untuk memperoleh parameter-parameter hiperbolik yang digunakan dalam analisis. Untuk mengetahui parameter-parameter elemen antar muka yaitu antara beton dan tanah, digunakan data dari instrumen *strain gage* yang dipasang pada pondasi tiang bor.

Kemudian parameter-parameter yang diperoleh digunakan dalam analisis metoda elemen hingga dengan menggunakan program komputer AXISHL. Pada tesis ini, masalah yang diteliti dibatasi pada lingkup bahasan yang masih dapat

ditinjau dan bahasannya yang tidak terlalu luas, sehingga diharapkan masalah yang diteliti dapat ditinjau dengan lebih mendalam.

Pembahasan masalah pada tesis ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Pondasi yang ditinjau adalah pondasi tiang bor berinstrumen berupa tiang tunggal dan bulat vertikal ke arah memanjang
2. Beban yang bekerja hanya dalam arah vertikal dan sejajar arah tiang (beban aksial)
3. Perpindahan relatif tanah yang ditinjau hanya dalam arah vertikal

1.3 METODOLOGI PENELITIAN

1.3.1 Teknik Pengujian

Pada penelitian ini, lingkup pekerjaannya adalah : pengujian di laboratorium, analisis data lapangan, dan analisis dengan menggunakan program komputer.

Pada pengujian di laboratorium dilakukan uji triaksial. Penggunaan alat ini dimaksudkan untuk memperoleh parameter hiperbolik berdasarkan data kurva tegangan-regangan. Prosedur uji triaksial yang digunakan mengikuti SK SNI M-05-1990-F yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Indonesia.

Dari data lapangan diketahui perilaku pondasi tiang bor terhadap beban aksial, yaitu kurva transfer beban yang terjadi. Di samping itu diperoleh kurva tegangan geser-pergerakan untuk elemen antar muka yang diturunkan dari data *strain gage*.

Program komputer yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini adalah program AXISHL yang merupakan modifikasi dari program SOILSTRUCT yang

dikembangkan pertama kali oleh G. Wayne Clough (1969). Program ini telah di*compile* dengan menggunakan Microsoft FORTRAN 5.0. Program ini merupakan program elemen hingga yang digunakan untuk menyelesaikan masalah interaksi tanah-struktur pada kondisi sumbu simetri (*axial symmetry*) seperti pada kasus pembebanan aksial terhadap sebuah tiang.

1.3.2 Teknik Analisis

Dari data *strain gage* diperoleh kurva hubungan antara tegangan geser dan pergerakan pada sampel tanah-beton (bahan tiang). Sedangkan dari hasil uji triaksial diperoleh kurva tegangan-regangan dan parameter kuat geser tanah.

Data-data hasil dari kedua uji laboratorium tersebut digunakan sebagai masukan untuk program komputer AXISHL. Hasil keluaran dari program ini merupakan peralihan dan tegangan yang terjadi.

1.4 SISTEMATIKA ISI

Secara garis besar, tesis ini dibagi dalam enam bab termasuk beberapa sub bab pada masing-masing bab. Pembahasan pada tiap bab secara umum adalah sebagai berikut :

Bab 1 : berisikan latar belakang dan tujuan, metodologi penelitian, pembatasan masalah yang ditinjau, dan sistematika isi dari tesis

Bab 2 : membahas studi literatur tentang konsep dasar metoda elemen hingga, teori dari model hiperbolik, dan program komputer AXISHL

Bab 3 : berisikan tentang penelitian di lapangan dan di laboratorium

Bab 4 : berisikan analisis data lapangan dan penurunan parameter hiperbolik dan elemen antar muka

Bab 5 : berisikan analisis elemen hingga dengan menggunakan program komputer AXISHL

Bab 6 : merupakan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan saran-saran