

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR PADA
GALIAN DALAM MENGGUNAKAN METODE
KONSTRUKSI *TOP-DOWN* DENGAN
MEMPERHITUNGKAN URUTAN KONSTRUKSI
STUDI KASUS: MENARA ASTRA**

TESIS



Oleh:

Vinna Fransiska Chou

8101801024

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
MARET 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR PADA
GALIAN DALAM MENGGUNAKAN METODE KONSTRUKSI
TOP-DOWN DENGAN MEMPERHITUNGAN
URUTAN KONSTRUKSI
STUDI KASUS: MENARA ASTRA**



Oleh:

Vinna Fransiska Chou

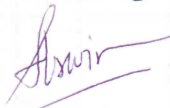
8101801024

Pembimbing 1:



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

Pembimbing 2:



Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
MARET 2021**

PERNYATAAN

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

Nama : Vinna Fransiska Chou
Nomor Pokok Mahasiswa : 8101801024
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR PADA GALIAN DALAM
MENGUNAKAN METODE KONSTRUKSI *TOP-DOWN* DENGAN
MEMPERHITUNGAN WAKTU KONSTRUKSI STUDI KASUS:
MENARA ASTRA

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 nonformal 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 Februari 2021



Vinna Fransiska Chou

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR PADA
GALIAN DALAM MENGGUNAKAN METODE KONSTRUKSI
TOP-DOWN DENGAN MEMPERHITUNGGAN
URUTAN KONSTRUKSI
STUDI KASUS: MENARA ASTRA**

Vinna Fransiska Chou (NPM: 8101801024)

Pembimbing 1: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2: Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Magister Teknik Sipil

Bandung

Maret 2021

ABSTRAK

Maraknya pembangunan *basement* pada bangunan gedung meningkatkan pekerjaan galian dalam. Pekerjaan galian dalam dapat menimbulkan defleksi dinding dan deformasi tanah yang jika berlebihan dapat memicu kerusakan pada struktur yang berdekatan dengan pekerjaan galian tersebut. Untuk itu, perlu dilakukan pengawasan di lapangan dengan menginstalasi instrumentasi. Hasil pengukuran instrumentasi dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan kajian analisis balik untuk mengukur performa dan keamanan pekerjaan galian. Penelitian ini berfokus pada analisis interaksi tanah struktur pada kasus galian sedalam 23,1 m pada tanah lempung kelanauan yang dikonstruksi menggunakan metode konstruksi *top-down*. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga 2D dan 3D. Material tanah dimodelkan menggunakan model material *Hardening Soil*. Parameter input yang digunakan pada analisis 3D diperoleh dari hasil analisis balik 2D. Analisis 3D menghasilkan defleksi dinding maksimum sebesar 24,8 mm, sedangkan analisis 2D menghasilkan defleksi maksimum 42,4 mm. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai *plane strain ratio* sebesar 0,59 yang mengindikasikan efek 3D berpengaruh signifikan sehingga diperoleh defleksi yang lebih kecil pada analisis 3D. Untuk studi kasus ini, parameter modulus tanah pada analisis 3D perlu direduksi hingga mencapai 80% agar diperoleh defleksi yang relevan terhadap hasil analisis 2D dan hasil pengukuran lapangan. Pada penelitian ini juga dilakukan peninjauan *heave* dan gaya-gaya yang bekerja pada dinding diafragma.

Kata Kunci: galian dalam, metode konstruksi *top-down*, metode elemen hingga, analisis balik, *plane strain ratio*, defleksi dinding

**SOIL STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS OF DEEP
EXCAVATION USING TOP-DOWN CONSTRUCTION METHOD
BY CONSIDERING CONSTRUCTION SEQUENCE
CASE STUDY: ASTRA TOWER**

Vinna Fransiska Chou (Student ID: 8101801024)

Adviser 1: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Adviser 2: Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Magister of Civil Engineering

Bandung

March 2021

ABSTRACT

Basement construction in high-rise buildings increases the deep excavation work. Deep excavation can cause wall deflection and soil deformation which if excessive, can lead to damage to adjacent structures. Hence, it is necessary to carry out field monitoring by installing instrumentations. Instrumentation measurements can be used as a reference in conducting back analysis to verify the performance and safety of excavation work. This study focuses on the analysis of soil-structure interaction in the 23.1 m depth of deep excavation case constructed in silty clay using top-down construction method. The analysis was performed using 2D and 3D finite element methods. Soil material was modeled using the Hardening Soil model. The input parameters used in the 3D analysis are obtained from the 2D back analysis result. The 3D analysis obtained 24.8 mm of maximum wall deflection, while the 2D analysis obtained 42.2 mm. Based on this result, the plane strain ratio is about 0.59 which indicates that the 3D effect performed significantly so that a smaller wall deflection was obtained in the 3D analysis. For this case study, the soil modulus in 3D analysis needs to be reduced until 80% to obtain a more relevant wall deflection compared to the 2D analysis result and field measurement. In this research, soil heaving and forces act on the diaphragm wall were also been reviewed.

Keywords: deep excavation, top-down construction method, finite element method, back analysis, plane strain ratio, wall deflection

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis yang berjudul “ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR PADA GALIAN DALAM MENGGUNAKAN METODE KONSTRUKSI *TOP-DOWN* DENGAN MEMPERHITUNGGAN URUTAN KONSTRUKSI STUDI KASUS: MENARA ASTRA”. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-2 di Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil Sekolah Pascasarjana, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis banyak mengalami kendala dan kesulitan. Namun berkat bimbingan, kritik, saran, dan dorongan semangat dari berbagai pihak, tesis ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D. dan Bapak Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah senantiasa sabar dalam membimbing dengan memberi banyak masukan, bantuan, dan ilmu pengetahuan yang berguna bagi penulis dalam penyusunan tesis ini;
2. Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D. dan Ibu Dr. Rinda Karlinasari selaku dosen penguji yang telah berkenan memberikan masukan kepada penulis sehingga tesis ini dapat disusun dengan lebih baik;
3. Seluruh dosen pengampu yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa studi di Sekolah Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan;

4. Keluarga, terutama kakak dan adik penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat selama masa studi dan masa penyusunan tesis;
5. Albert Johan yang senantiasa memberikan bantuan moril, dukungan, dan dorongan semangat serta senantiasa sabar menemani penulis melewati masa penyusunan tesis;
6. Rekan-rekan seangkatan yang telah menemani dan membantu penulis selama masa perkuliahan;
7. Rekan-rekan PT *Geotechnical Engineering Consultant* atas bantuannya dalam pengumpulan data untuk analisis;
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis selama proses penyusunan tesis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang bersifat konstruktif untuk perbaikan dan penyempurnaan tesis ini. Di balik kekurangsempurnaan ini, penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat sebagai sumber informasi maupun pengembangan pengetahuan bagi para pembaca.

Bandung, 22 Februari 2021

Vinna Fransiska Chou

8101801024

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Metode Penelitian.....	5
1.5.1 Studi Pustaka.....	5
1.5.2 Pengumpulan Data Sekunder.....	6
1.5.3 Interpretasi dan Analisis Data.....	6
1.5.4 Pemodelan Perangkat Komputer	6
1.5.5 Interpretasi Hasil.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
1.7 Diagram Alir.....	7
BAB 2 STUDI PUSTAKA	9
2.1 Pendahuluan.....	9
2.2 Studi Komparatif Metode Konstruksi Galian Dalam.....	10

2.3	Pemodelan Numerik.....	13
2.3.1	Geometri Pemodelan	13
2.3.2	Model Konstitutif Tanah	15
2.3.3	Model Konstitutif Struktur.....	21
2.3.4	Model Konstitutif <i>Interface</i> antara Tanah dengan Struktur.....	21
2.4	Kinerja <i>Diaphragm Wall (D-wall)</i> pada Galian Menggunakan Metode Konstruksi <i>Top-Down</i>	23
2.5	Kinerja Pelat Lantai pada Galian Menggunakan Metode Konstruksi <i>Top-Down</i>	29
2.6	Kinerja Pekerjaan Galian Dalam Berdasarkan Pengukuran Lapangan.....	32
2.6.1	Deformasi Dinding.....	34
2.6.2	Pergerakan Tanah.....	37
2.6.3	Tekanan Air Pori	39
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		41
3.1	Pengumpulan Data.....	41
3.2	Metode Analisis dengan Metode Elemen Hingga.....	42
3.3	Analisis Balik Menggunakan PLAXIS 2D.....	43
3.4	Pemodelan Galian Dalam Menggunakan PLAXIS 3D.....	56
3.4.1	Tahap Pemilihan Model Material.....	56
3.4.2	Tahap Pemodelan	58
3.4.3	Tahap Interpretasi Hasil Analisis	67
BAB 4 STUDI KASUS: MENARA ASTRA		69

4.1	Deskripsi Proyek.....	69
4.2	Kondisi Geologi.....	71
4.3	Pengujian Lapangan.....	71
4.3.1	Pengeboran Dalam dan Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	72
4.3.2	Pengujian <i>Pressuremeter</i> (PMT)	74
4.3.3	Pengujian Permeabilitas Lapangan	76
4.3.4	Kedalaman Muka Air Tanah.....	79
4.4	Pengujian Laboratorium.....	79
4.4.1	<i>Index Properties</i>	80
4.4.2	Kuat Geser Tanah	82
4.4.3	<i>Overconsolidation Ratio</i>	84
4.4.4	Koefisien Tekanan Tanah <i>at Rest</i>	86
4.5	<i>Monitoring</i> Lapangan.....	87
4.5.1	Inklinometer.....	88
4.5.2	Piezometer <i>Water Standpipe</i> dan <i>Vibrating Wire</i>	89
4.5.3	Ekstensometer	92
4.6	Metode Konstruksi.....	94
4.7	Pemodelan 2D FEM.....	96
4.8	Pemodelan 3D FEM.....	99
4.9	Hasil Analisis.....	100
4.9.1	Defleksi <i>D-Wall</i>	100
4.9.2	Gaya yang Bekerja pada <i>D-Wall</i>	108

4.9.3	<i>Heave</i> pada Dasar Galian dan Deformasi pada Permukaan Tanah.....	113
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	115
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA		xiii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Daftar Notasi

Q_{av}	= <i>Alluvial Fan</i>
ν	= Angka Poisson
ν_{ur}	= Angka Poisson <i>Unloading-Reloading</i>
e_0	= Angka Pori
K_s	= <i>Anisotropic Undrained Ratio</i>
P_0	= <i>at Rest Pressure</i>
γ	= Berat Isi
G_s	= Berat Jenis
δ_{hm}	= Defleksi Maksimum <i>D-Wall</i>
δ_{vm}	= Deformasi Tanah Maksimum
S_r	= Derajat Kejenuhan
ψ'	= <i>Dilatancy Angle</i>
E_{50}^{ref}	= E_{50} saat Tegangan 100kPa
E_{oed}^{ref}	= E_{oed} saat Tegangan 100kPa
E_{ur}^{ref}	= E_{ur} saat Tegangan 100kPa
M	= <i>Frictional Constant</i>
λ	= <i>Isotropic Logarithmic Compression Index</i>

W_n	= Kadar Air
H_e	= Kedalaman Galian
d	= Ketebalan
K_0^{ref}	= K_0 pada <i>Primary One-Dimensional Compression</i>
K_0	= Koefisien Tanah <i>at Rest</i>
c	= Kohesi
c'	= Kohesi Efektif
LI	= <i>Liquidity Index</i>
σ_1	= <i>Major Principal Stress</i>
σ_3	= <i>Minor Principal Stress</i>
E	= Modulus Elastisitas
E_c	= Modulus Elastisitas Beton
E_m	= Modulus Elastisitas Hasil Pengujian PMT
E_{50}	= Modulus Elastisitas saat 50% Kekuatannya Termobilisasi
E_{oed}	= Modulus Elastisitas Oedometer
E_{ur}	= Modulus Elastisitas <i>Unloading-Reloading</i>
n	= <i>Modulus Exponent</i>
G	= Modulus Geser
E_i	= Modulus <i>Initial</i>
k	= <i>Modulus Number</i>

E_t	= Modulus <i>Tangent</i>
k_x	= Permeabilitas Arah Horizontal (sb-x)
k_x	= Permeabilitas Arah Horizontal (sb-y)
k_z	= Permeabilitas Arah Vertikal (sb-z)
PI	= <i>Plasticity Index</i>
m	= <i>Power</i>
R_f	= Rasio Keruntuhan
G_0^{ref}	= <i>Reference Shear Modulus pada Small Strain</i>
p^{ref}	= <i>Reference Stress Level</i>
ε	= Regangan Aksial
$\gamma_{0.7}$	= <i>Shear Modulus pada saat $0.7 G_0^{\text{ref}}$</i>
ϕ	= Sudut Geser Dalam
ϕ'	= Sudut Geser Dalam Efektif
κ	= <i>Swelling Index</i>
p_c	= Tegangan Prakonsolidasi
σ_v'	= Tegangan Vertikal Efektif
P_{atm}	= Tekanan Atmosfer
S_u	= <i>Undrained Shear Strength</i>
p_y	= <i>Yield Pressure</i>

Daftar Singkatan

2D	= 2-Dimensi
3D	= 3-Dimensi
BUM	= <i>Bottom-Up Method</i>
CU	= <i>Consolidated Undrained</i>
HS	= <i>Hardening Soil</i>
HS <i>Small</i>	= <i>Hardening Soil Small Strain</i>
MCC	= <i>Modified Cam Clay</i>
MEH	= Metode Elemen Hingga
OCR	= <i>Overconsolidation Ratio</i>
PSR	= <i>Plane Strain Ratio</i>
PMT	= <i>Pressuremeter</i>
SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
TDM	= <i>Top-Down Method</i>
UDS	= <i>Undisturbed Sample</i>
USC	= <i>Undrained Soft Clay</i>
USCS	= <i>Unified Soil Classification System</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian.....	8
Gambar 2.1 Metode <i>Top-Down Construction</i> (IStructE, 2004).....	11
Gambar 2.2 Kurva Hiperbolik Tegangan-Regangan (Duncan dan Chang, 1970)18	
Gambar 2.3 Prosedur Konstruksi Dinding Diafragma: (a) Penggalian <i>Trench</i> (b) Pemasangan Pipa Sambungan, (c) Peletakan Tulangan, (d) Pengecoran Beton (Xanthakos, 1994)	26
Gambar 2.4 Sambungan Panel Dinding Diafragma Metode <i>Connection Pipe</i> (Ou, 2006).....	26
Gambar 2.5 Sambungan Panel Dinding Diafragma Metode <i>End-Plate</i> (Ou, 2006)	27
Gambar 2.6 Sketsa Masuknya Air pada Sambungan Antarpanel (Town, 2012). 27	
Gambar 2.7 Instalasi <i>Center Post</i> pada <i>Cast-In-Place Pile</i> (Ou, 2006).....	29
Gambar 2.8 Mekanisme Pendistribusian Tahanan Pasif (Hwang dan Moh, 2007)	32
Gambar 2.9 Komponen Inklinometer (Dunnicliff, 1988).....	36
Gambar 2.10 Pemasangan Inklinometer pada Sisi Dalam <i>D-Wall</i> (Ou, 2006) ...	36
Gambar 2.11 Pemasangan Inklinometer pada Sisi Luar <i>D-Wall</i> (Ou, 2006)	37
Gambar 2.12 (a) <i>Rod Extensometer</i> (b) <i>Magnet Extensometer</i> (www. geo- observations.com)	38
Gambar 2.13 Skema Pemasangan Piezometer pada Lubang Bor: (a) <i>Standpipe</i> (b) <i>Vibrating Wire</i> (Dunnicliff, 1988; Arulrajah dkk., 2013)	40
Gambar 3.1 Geometri Galian.....	44
Gambar 3.2 Input Judul Proyek pada <i>Tab Project</i>	45

Gambar 3.3 Pengaturan Model, Satuan, dan Kontur pada <i>Tab Model</i>	45
Gambar 3.4 Pengaturan Nilai Konstanta pada <i>Tab Constants</i>	45
Gambar 3.5 Interpretasi Lapisan Tanah dengan <i>Tool Create Boreholes</i>	46
Gambar 3.6 Pengaturan Lapisan Tanah Sesuai <i>Borehole</i> yang Digunakan.....	46
Gambar 3.7 Input <i>Materials</i>	46
Gambar 3.8 Pengaturan <i>Material Model</i> dan <i>Properties</i> Tanah.....	47
Gambar 3.9 Input Parameter Kekakuan dan Kuat Geser Tanah	47
Gambar 3.10 Input Permeabilitas Tanah	47
Gambar 3.11 Pengaturan Parameter <i>Thermal</i>	48
Gambar 3.12 Pengaturan <i>Interfaces</i>	48
Gambar 3.13 Pengaturan Nilai K_0	48
Gambar 3.14 Penetapan Material Tanah Sesuai dengan Kondisi Pelapisan.....	49
Gambar 3.15 Pemodelan <i>D-Wall</i> pada <i>Tab Structure</i>	49
Gambar 3.16 Input Parameter Elemen Struktur yang Digunakan	50
Gambar 3.17 <i>Properties</i> Elemen Struktur.....	50
Gambar 3.18 Pemodelan <i>Interface</i> pada Elemen Struktur.....	51
Gambar 3.19 Pemodelan Poligon Tanah Sesuai dengan Kedalaman Galian.....	51
Gambar 3.20 Penyesuaian Material Tanah yang Digali	51
Gambar 3.21 Pemodelan <i>Slab</i> Lantai Sebagai <i>Fixed-End Anchor</i>	52
Gambar 3.22 Penambahan Parameter Material <i>Slab</i> Lantai	52
Gambar 3.23 <i>Properties Fixed-End Anchor</i> yang Perlu Diinput.....	52
Gambar 3.24 Penetapan Parameter <i>Fixed-End Anchor</i>	53
Gambar 3.25 Penginputan <i>Equivalent Length</i>	53
Gambar 3.26 Penetapan Parameter pada Setiap <i>Slab</i> Lantai	53

Gambar 3.27 Pemodelan Beban	54
Gambar 3.28 Penginputan Besaran Beban Sesuai Desain.....	54
Gambar 3.29 <i>Mesh</i> Sesuai dengan Tingkat Kekasaran yang Dibutuhkan.....	55
Gambar 3.30 Hasil <i>Mesh</i>	55
Gambar 3.31 Urutan Konstruksi.....	55
Gambar 3.32 Hubungan Tegangan Regangan pada HS <i>Model</i> PLAXIS (Brinkgreve dan Vermeer, 1998)	57
Gambar 3.33 Input Judul Proyek pada <i>Tab Project</i>	59
Gambar 3.34 Pengaturan Model, Satuan, dan Kontur pada <i>Tab Model</i>	59
Gambar 3.35 Pemodelan Lapisan Tanah dan Penetapan Parameter Tanah	60
Gambar 3.36 Pemilihan Model Material dan Input Berat Isi Tanah	60
Gambar 3.37 Input Parameter Kuat Geser dan Kekakuan Tanah.....	60
Gambar 3.38 Input Permeabilitas Tanah	61
Gambar 3.39 Input $R_{interface}$ Tanah.....	61
Gambar 3.40 Input OCR Tanah.....	61
Gambar 3.41 Pemodelan <i>Surface</i>	62
Gambar 3.42 Duplikasi <i>Surface</i> Sesuai dengan Kedalaman Desain	62
Gambar 3.43 Pemodelan Volume Galian	63
Gambar 3.44 Pengaturan Kedalaman Galian	63
Gambar 3.45 Pemodelan <i>D-Wall</i> dan <i>Interfaces</i>	64
Gambar 3.46 Pengaturan Parameter Elemen Struktur.....	64
Gambar 3.47 Input Parameter <i>Slab</i>	65
Gambar 3.48 Pengaturan <i>Mesh</i>	65
Gambar 3.49 Output <i>Mesh</i>	65

Gambar 3.50 Urutan Konstruksi	66
Gambar 3.51 Tampilan Pasca Dikalkulasi	66
Gambar 4.1 Peta Lokasi Menara Astra	69
Gambar 4.2 Potongan Melintang Menara Astra	70
Gambar 4.3 Peta Geologi Lokasi Proyek (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992).....	72
Gambar 4.4 Persebaran Lokasi Titik Pengeboran Dalam	73
Gambar 4.5 Distribusi N_{SPT} terhadap Kedalaman Berdasarkan BH-6.....	74
Gambar 4.6 Hubungan Modulus Elastisitas Tanah Hasil PMT dengan N_{SPT}	75
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran PMT-1	77
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran PMT-2.....	77
Gambar 4.9 Variasi Kedalaman Muka Air Tanah	79
Gambar 4.10 Berat Isi, Kadar Air, dan Angka Pori terhadap Kedalaman.....	80
Gambar 4.11 Batas-Batas Atterberg terhadap Kedalaman	81
Gambar 4.12 <i>Casagrande's Plasticity Chart</i>	82
Gambar 4.13 Korelasi Nilai S_u terhadap N_{SPT}	83
Gambar 4.14 Korelasi <i>Drained Shear Strength</i> dengan <i>Undrained Shear Strength</i>	83
Gambar 4.15 Distribusi <i>Effective Shear Strength</i> terhadap <i>Plasticity Index</i>	84
Gambar 4.16 Sebaran Nilai OCR terhadap Kedalaman.....	86
Gambar 4.17 Sebaran Lokasi Pemasangan Instrumentasi	88
Gambar 4.18 Hasil Pembacaan Inklinometer IC-10	89
Gambar 4.19 Hasil Pembacaan GWL pada Area <i>Annex</i> Menggunakan Piezometer <i>Water Standpipe</i>	90

Gambar 4.20 Hasil Pembacaan GWL pada Area <i>Tower</i> Menggunakan Piezometer <i>Water Standpipe</i>	91
Gambar 4.21 Hasil Pembacaan Tekanan Air Pori pada Area <i>Annex</i>	91
Gambar 4.22 Hasil Pembacaan GWL pada Area <i>Annex</i> Menggunakan Piezometer <i>Vibrating Wire</i>	91
Gambar 4.23 Hasil Pembacaan Tekanan Air Pori pada Area <i>Tower</i>	91
Gambar 4.24 Hasil Pembacaan GWL pada Area <i>Tower</i> Menggunakan Piezometer <i>Vibrating Wire</i>	92
Gambar 4.25 Hasil Pembacaan Ekstensometer SE-02	93
Gambar 4.26 Hasil Pembacaan Ekstensometer SE-01 <i>New</i>	93
Gambar 4.27 Hasil Pembacaan Ekstensometer SE-02 <i>New</i>	93
Gambar 4.28 Elevasi Tiap Lantai <i>Basement</i>	95
Gambar 4.29 Pemodelan Galian secara 2D	96
Gambar 4.30 Perbandingan Defleksi Dinding Hasil Analisis PLAXIS 2D dengan Hasil Pengukuran Menggunakan IC-10	98
Gambar 4.31 Pemodelan Galian secara 3D	99
Gambar 4.32 Defleksi <i>D-Wall</i> Hasil Analisis 3D.....	102
Gambar 4.33 Perbandingan Defleksi <i>D-Wall</i> Hasil Analisis 2D, 3D, dan Pengukuran Inklinometer	102
Gambar 4.34 Perbandingan Defleksi <i>D-Wall</i> Setelah Iterasi Nilai Modulus Tanah dengan Hasil Pengukuran Inklinometer	105
Gambar 4.35 Defleksi <i>D-Wall</i> Hasil Analisis 3D Setelah Iterasi Nilai Modulus Tanah.....	105

Gambar 4.36 Hubungan Defleksi <i>D-Wall</i> dengan Kedalaman Galian (Clough dan O'Rourke, 1990)	106
Gambar 4.37 Hubungan Defleksi <i>D-Wall</i> dengan Kedalaman Galian (Oudk., 1993).....	106
Gambar 4.38 Perbandingan Defleksi Dinding Hasil Analisis 3D dengan Hasil Pengukuran pada IC-02, IC-03, IC-05, dan IC-07	107
Gambar 4.39 Perbandingan Defleksi Dinding Hasil Analisis 3D dengan Hasil Pengukuran pada IC-08, IC-09, IC-11, dan IC-15	107
Gambar 4.40 Gaya Geser Q_{12} pada Urutan Konstruksi Terakhir	108
Gambar 4.41 Gaya Geser Q_{23} pada Urutan Konstruksi Terakhir	109
Gambar 4.42 Gaya Geser Q_{13} pada Urutan Konstruksi Terakhir	109
Gambar 4.43 Gaya Geser terhadap Kedalaman yang Bekerja pada <i>D-Wall</i>	110
Gambar 4.44 Momen M_{11} pada Urutan Konstruksi Terakhir	111
Gambar 4.45 Momen M_{22} pada Urutan Konstruksi Terakhir	111
Gambar 4.46 Momen M_{12} pada Urutan Konstruksi Terakhir	112
Gambar 4.47 Momen terhadap Kedalaman yang Bekerja pada <i>D-Wall</i>	112
Gambar 4.48 Profil Deformasi pada Permukaan Tanah	114
Gambar 4.49 Hubungan Deformasi Tanah dengan Kedalaman Galian (Clough dan O'Rourke, 1990)	114
Gambar 4.50 Hubungan Deformasi Tanah dengan Kedalaman Galian (Oudk., 1993).....	114

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Kondisi Lapisan Tanah pada Lokasi Kajian.....	73
Tabel 4.2 Resume Hasil PMT	75
Tabel 4.3 Hasil Uji Permeabilitas Lapangan.....	78
Tabel 4.4 Koefisien Permeabilitas untuk Berbagai Jenis Tanah (Budhu, 2011)..	78
Tabel 4.5 Resume Parameter Desain Tanah.....	87
Tabel 4.6 Urutan Konstruksi	95
Tabel 4.7 Resume Parameter Input Tanah	97
Tabel 4.8 Parameter Input Koefisien Permeabilitas Tanah	97
Tabel 4.9 Parameter Input <i>D-Wall</i> pada PLAXIS 2D	97
Tabel 4.10 Parameter Input <i>Slab</i> Lantai pada PLAXIS 2D	97
Tabel 4.11 Resume Parameter Input <i>D-Wall</i> pada PLAXIS 3D	100
Tabel 4.12 Resume Parameter Input <i>Slab</i> Lantai pada PLAXIS 3D.....	100
Tabel 4.13 Nilai Modulus Tanah Hasil Iterasi Menggunakan PLAXIS 3D.....	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Drilling Logs*

Lampiran 2 Hasil Pengukuran Inklinometer

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin terbatasnya lahan di Indonesia, pemanfaatan ruang bawah tanah sebagai *basement* semakin lazim dilakukan. Pembangunan *basement* yang bertingkat-tingkat memicu peningkatan pekerjaan galian dalam. Galian dalam menyebabkan perubahan tegangan yang sangat signifikan dan memicu terjadinya deformasi pada tanah sekitarnya (Long, 2001). Pemilihan metode galian dalam menjadi hal yang sangat krusial terutama pada daerah perkotaan karena penurunan tanah yang berlebihan sering sekali merusak struktur di sekitarnya (Wang dkk., 2010; Ou dkk., 2000). Hasil studi Paek dan Ockz (1996), Ou (1998), dan Wang (2010) menyebutkan bahwa galian dalam dengan menggunakan metode konstruksi *top-down* memberikan banyak keuntungan terhadap kontrol deformasi.

Kontrol deformasi yang baik merupakan salah satu penentu performa suatu pekerjaan galian dalam. Besarnya deformasi baik pada dinding, tanah, maupun pada struktur lainnya berkaitan erat dengan urutan dan masa konstruksi. Total masa konstruksi pekerjaan galian dalam terdiri dari masa penggalian tanah, masa pemasangan sistem penyokong (*strut* atau pelat lantai), dan interval waktu antara kedua masa tersebut. Pada metode konstruksi *top-down*, pekerjaan struktur atas simultan dengan pekerjaan galian sehingga memiliki interval waktu yang lebih lama dibandingkan metode lainnya. Berdasarkan pengukuran lapangan, Clough dan O'Rourke (1990), Ou dkk. (1998) melaporkan bahwa defleksi dinding dan

penurunan tanah mengalami peningkatan seiring dengan interval waktu dan masa setelah galian selesai dilakukan. Defleksi pada dinding ini juga diprediksi akan berdampak terhadap defleksi pada *king post*. Perilaku *time-dependent* ini salah satunya dapat dipicu oleh konsolidasi atau *creep*.

Terlebih lagi, Finno dan Harahap (1992) dan Ou dkk. (1998) melakukan penelitian mengenai perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Tekanan air pori pada area bawah galian menurun secara tiba-tiba pada fase galian dan kemudian kembali seiring dengan rentang waktu konstruksi. Penurunan tekanan air pori ini menunjukkan adanya tekanan air pori eksese negatif. Menurut Ou dan Lai (1994), disipasi tekanan air pori eksese dapat menyebabkan menurunnya defleksi dinding dan penurunan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan muka air tanah akan menyebabkan aliran yang menimbulkan perubahan tekanan air pori. Perubahan tekanan ini memengaruhi perilaku interaksi tanah struktur. Isu ini layak untuk mendapatkan perhatian khusus karena berpengaruh terhadap kinerja galian dalam dan dapat dikontrol melalui pengawasan di lapangan.

Persoalan galian dalam secara umum merupakan persoalan interaksi tanah struktur. Pada galian dalam terdapat bidang kontak yang luas antara tanah dengan struktur, contohnya dinding penahan, tiang, dan elemen struktur lainnya. Pengurangan friksi antara bidang kontak elemen tanah dengan elemen struktur dimodelkan dengan suatu elemen *interface*. Pemodelan elemen *interface* ini menambah kekompleksan pada pemodelan galian dalam. Kompleksitas pemodelan galian dalam dipengaruhi pula oleh detail struktur dan material, urutan konstruksi, geometri galian, dan faktor lainnya. Oleh karena tingkat kompleksitas yang tinggi pada pekerjaan galian dalam, galian dalam lebih tepat dimodelkan secara 3-Dimensi

(3D). Hal ini didukung oleh pernyataan Ou dkk. (1996), yang menyatakan bahwa galian secara alamiah merupakan persoalan 3D.

Efek 3D menyebabkan kekakuan yang lebih besar pada sudut galian yang memicu pergerakan tanah yang lebih kecil di area yang berdekatan dengan sudut dan pergerakan tanah yang lebih besar pada area pusat galian. Akibat adanya efek pengkakuan pada sudut galian, analisis menggunakan 3D dan *plane strain* tidak memberikan hasil yang koresponden. Analisis *plane strain* umumnya menghasilkan hasil yang lebih konservatif, namun analisis 3D dapat memprediksi perilaku aktual galian secara lebih realistis. Penting untuk diketahui kapan metode berbasis efek 3D dapat digunakan untuk meminimalisir pergerakan tanah maksimum. Selain itu, penting juga untuk diketahui kapan galian cukup dimodelkan sebagai *plane strain* untuk membedakan antara efek pengkakuan pada sudut dan respon tanah konstitutif tanpa menggunakan simulasi galian secara 3D (Finno dkk., 2007).

1.2 Inti Permasalahan

Urutan dan masa konstruksi memengaruhi kinerja pada suatu pekerjaan galian dalam, terutama galian dengan menggunakan metode konstruksi *top-down* yang mana pekerjaan substruktur simultan dengan pekerjaan superstruktur sehingga tiap pekerjaan berdampak satu sama lain. Perhatian utama pada pekerjaan galian dalam yaitu defleksi *d-wall*. Defleksi pada *d-wall* menjadi isu yang krusial karena defleksi yang berlebihan dapat memicu berkurangnya kinerja elemen struktur dan menimbulkan kerusakan pada struktur di sekitarnya. Pada area dengan elevasi muka air yang tinggi, pekerjaan galian menyebabkan perubahan elevasi muka air tanah

sehingga terjadi peristiwa aliran. Aliran ini menyebabkan perubahan tekanan air pori yang berdampak pada perilaku interaksi tanah struktur. Terakhir isu yang tidak kalah penting adalah kemungkinan terjadinya *heave* di dasar galian.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan inti permasalahan yang telah diuraikan di atas, maksud penelitian ini adalah :

1. Mengkaji parameter yang digunakan dalam melakukan analisis.
2. Melakukan pemodelan dan analisis galian dalam secara 2D dan 3D.
3. Menentukan defleksi pada *d-wall*.
4. Melakukan analisis *heave* akibat galian.
5. Meninjau gaya-gaya pada *d-wall*.
6. Meninjau isu-isu yang muncul terkait dengan urutan konstruksi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Melakukan analisis balik mekanisme dan urutan pekerjaan galian dalam.
2. Memastikan bahwa pekerjaan galian dalam tersebut aman.

1.4 Lingkup Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, adapun lingkup penelitian meliputi:

1. Melakukan kajian literatur mengenai pembahasan-pembahasan yang berkaitan dengan topik penelitian, yaitu galian dalam, instrumentasi, metode elemen hingga 2D dan 3D, dan lainnya.
2. Memodelkan stratifikasi tanah berdasarkan dari hasil pengeboran dalam.

3. Menentukan parameter tanah yang terdiri dari *index properties*, parameter kuat geser tanah, dan parameter kekakuan tanah dari hasil uji laboratorium.
4. Menentukan parameter struktur (*d-wall* dan *slab* lantai) berdasarkan spesifikasi yang sesuai.
5. Melakukan pemodelan numerik elemen hingga menggunakan program komputer PLAXIS 2D dan 3D sesuai dengan urutan konstruksi di lapangan.
6. Mengkaji defleksi dan gaya pada *d-wall*, *heave*, serta isu-isu yang muncul terkait dengan urutan konstruksi.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan terdiri atas studi pustaka, pengumpulan data sekunder, interpretasi dan analisis data, pemodelan dengan menggunakan perangkat komputer, dan interpretasi hasil.

1.5.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dalam penelitian ini digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih dengan cara menghimpun data, informasi, dan literatur yang berhubungan dengan topik penelitian. Studi pustaka dapat diperoleh dari berbagai sumber referensi antara lain berasal dari *textbook*, *e-book*, jurnal penelitian, tulisan/makalah ilmiah, berita, manual program komputer yang relevan sebagai acuan dalam melakukan pemodelan, analisis, dan interpretasi hasil.

1.5.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari uji lapangan dan uji laboratorium. Data sekunder berupa denah penyelidikan tanah, hasil penyelidikan tanah, hasil uji laboratorium, dan hasil *monitoring*.

1.5.3 Interpretasi dan Analisis Data

Hasil pengujian laboratorium digunakan sebagai parameter input pada tahapan analisis yang menggunakan program komputer. Selain itu, hasil penyelidikan tanah juga digunakan sebagai data pendukung untuk menginterpretasi pelapisan tanah dan juga digunakan untuk interpretasi parameter tanah dengan menggunakan korelasi empirik.

1.5.4 Pemodelan Perangkat Komputer

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode elemen hingga yaitu program komputer PLAXIS 2D dan 3D untuk melakukan analisis balik sehingga dapat diketahui defleksi dan gaya-gaya yang terjadi pada *d-wall*, serta *heave* pada dasar galian.

1.5.5 Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan defleksi dan gaya-gaya yang terjadi pada *d-wall* dengan hasil *monitoring*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini dibagi ke dalam 5 (lima) bab sebagai berikut :

BAB 1 - PENDAHULUAN

Bab 1 memuat latar belakang masalah, inti permasalahan, maksud dan tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian yang digunakan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 - STUDI PUSTAKA

Bab 2 memuat landasan teori atau tinjauan literatur terkait studi terdahulu mengenai galian dalam meliputi metode konstruksi, kinerja pekerjaan galian, instrumentasi, metode elemen hingga, dan lainnya.

BAB 3 - METODOLOGI PENELITIAN

Bab 3 memuat urutan dan prosedur pelaksanaan penelitian.

BAB 4 - STUDI KASUS: MENARA ASTRA

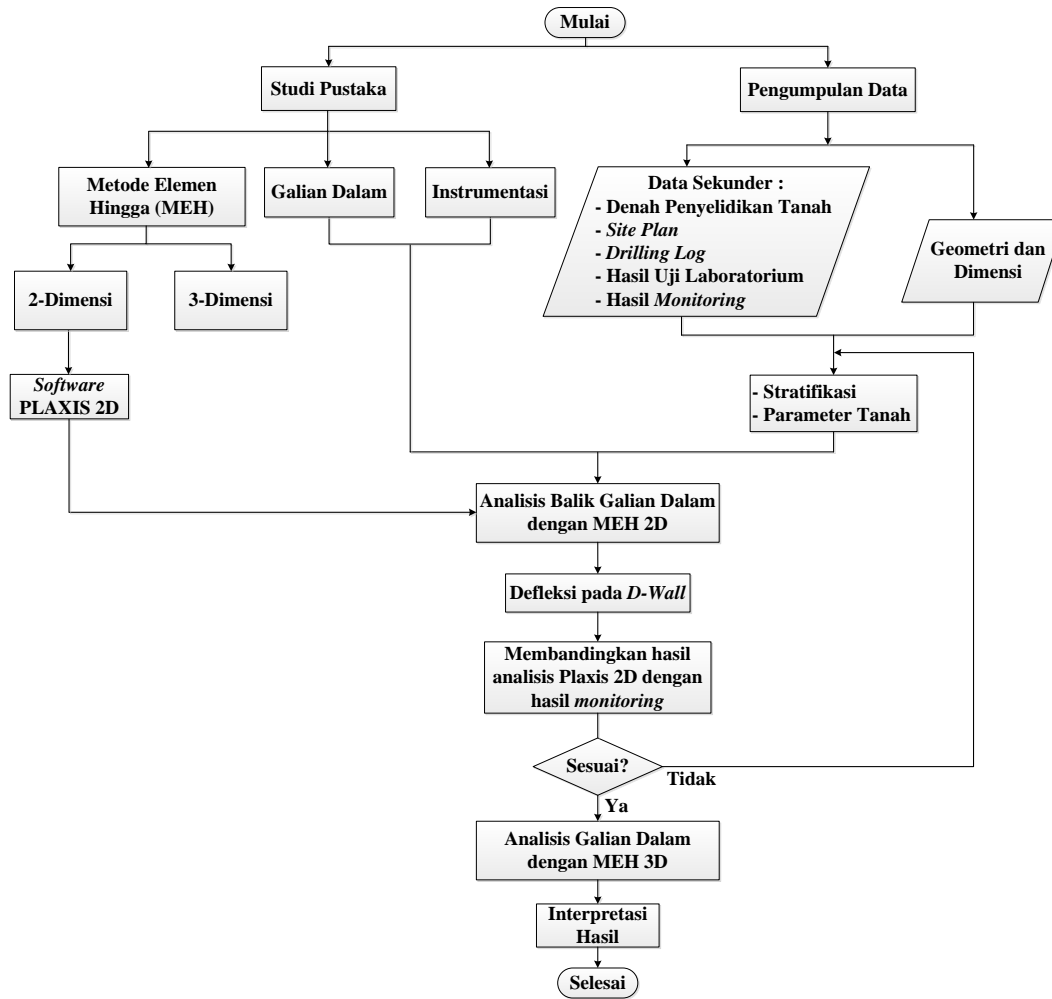
Bab 4 memuat mengenai deskripsi proyek, pengujian laboratorium, pengujian lapangan, pemodelan menggunakan metode elemen hingga, serta menyajikan hasil analisis galian dalam menggunakan metode konstruksi *top-down* dengan program komputer PLAXIS 2D dan 3D beserta pembahasannya.

BAB 5 - KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 5 memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Diagram Alir

Untuk menunjukkan proses penelitian yang akan dilakukan dalam penyelesaian tesis ini, maka dibuat diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian