

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA 3D PADA GALIAN DENGAN
SISTEM PERKUATAN STRUT DAN ANGKUR:
STUDI KASUS PLUIT LANDMARK**

TESIS



Oleh:

**Pio Kefas
8101901014**

Pembimbing:

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

Ko Pembimbing:

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

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
FEBRUARI 2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA 3D PADA GALIAN DENGAN
SISTEM PERKUATAN STRUT DAN ANGKUR, STUDI KASUS
PLUIT LANDMARK**



Oleh:

**Pio Kefas
8101901014**

Pembimbing:



Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.

Ko Pembimbing:



Aswin Lim, Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
FEBRUARI 2022**

PERNYATAAN

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

Nama : Pio Kefas
Nomor Pokok Mahasiswa : 8101901014
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR DENGAN METODE
ELEMEN HINGGA 3D PADA GALIAN DENGAN SISTEM
PERKUATAN STRUT DAN ANGKUR, STUDI KASUS PLUIT
LANDMARK

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 : 15 Februari 2022



Pio Kefas

**ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR DENGAN METODE
ELEMEN HINGGA 3D PADA GALIAN DENGAN SISTEM PERKUATAN
STRUT DAN ANGKUR:
STUDI KASUS PLUIT LANDMARK**

Pio Kefas (NPM : 8101901014)

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

Ko-pembimbing : Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Magister Teknik Sipil

Bandung

Januari 2022

ABSTRAK

Pekerjaan galian dalam dapat menimbulkan defleksi dinding dan penurunan tanah di sekitar galian yang menyebabkan kerusakan bangunan di sekitar galian. Konstruksi galian dalam memerlukan proteksi untuk mengontrol defleksi dan deformasi agar tidak menyebabkan kerusakan bangunan sekitar dan galian dapat dilakukan dengan aman. Penelitian ini dilakukan untuk meninjau performa galian pada tanah lunak yang diperkuat dua jenis sistem perkuatan, yaitu strut dan angkur. Galian dilakukan sedalam 8,5 m menggunakan metode *full open cut* dengan dua tipe *diaphragm wall*. Sisi galian dengan perkuatan strut dalam konfigurasi menyudut menghasilkan deformasi yang sangat besar dibandingkan dengan sisi galian dengan perkuatan angkur. Berdasarkan hasil monitoring yang dilakukan, deformasi sebesar 15 cm pada sisi galian dengan strut yang berbatasan dengan Hotel Sanno tidak menyebabkan kegagalan pada galian. Sementara sisi galian dengan angkur menunjukkan nilai deformasi sebesar 3.5cm pada tahap akhir galian. Analisa balik pemodelan 3D dilakukan untuk mengetahui performa aktual dari galian dan kedua jenis sistem perkuatan. Pada studi kasus ini, diketahui bahwa strut dengan konfigurasi menyudut menghasilkan deformasi yang lebih besar daripada dua lapis angkur. Faktor keamanan pada akhir galian didapat pada $FK = 1.7$ dan hasil analisa 3D menunjukkan bahwa *corner effect* pada galian menyebabkan defleksi dan deformasi sudut galian jauh lebih kecil dibandingkan sepanjang dinding galian.

Kata Kunci: galian dalam, strut, angkur, analisis balik, defleksi dinding, metode elemen hingga

**SOIL STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS USING 3D FINITE
ELEMENT METHOD IN *EXCAVATION* WITH STRUT AND ANCHOR
REINFORCEMENT SYSTEM:
CASE STUDY PLUIT LANDMARK**

Pio Kefas (NPM : 8101901014)

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

Co-Advisor : Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Magister of Civil Engineering

Bandung

Januari 2022

ABSTRACT

Deep *excavations* could initiate wall deflection and vertical ground deformation which could cause building damage or collapse. Protective efforts are required to prevent building damage and ensure *excavation* safety. This study aims to analyze the performance of *excavation* on soft soil reinforced by two types of supports; the strut and anchor. *Excavation* depth was 8.5 meters using full open cut method with two types of diaphragm walls. *Excavation* sides supported by struts in angular configuration resulted in a significantly larger deformation compared with sides supported by anchors. Anchor-supported sides produced 3.5 centimeters of deformation. Meanwhile, although the strut-supported sides adjacent to the Sanno Hotel produced a large, 15-centimeters deformation, it did not result in *excavation* failure. Three-dimensional model back analysis was carried out to analyze the actual performance of the two types of *excavation* supports. In this case study, angle-configured struts produced larger deformation than two layers of anchor. Safety factor in the end of *excavation* was $SF=1.7$, with 3D analysis showing corner effect produced significantly smaller deformation and deflection on *excavation* corners compared to its sides.

Keywords: deep *excavation*, strut, anchor, back analysis, wall deflection, finite element method

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas cinta dan kasihNya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “ANALISIS INTERAKSI TANAH STRUKTUR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA 3D PADA GALIAN DENGAN SISTEM PERKUATAN STRUT DAN ANGKUR: STUDI KASUS PLUIT LANDMARK”. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-2 di Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Penulisan tesis ini tidak terlepas dari hambatan dan rintangan yang penulis hadapi dalam proses menyelesaikannya. Namun dengan bantuan, saran, nasehat, semangat, dan kritik yang penulis terima dari berbagai pihak, tesis ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D. dan Bapak Aswin Lim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. selaku pembimbing dari penelitian ini yang telah senantiasa meluangkan waktu, memberi banyak ilmu, masukan dan bantuan yang berguna bagi penulis dalam penyusunan tesis ini;
2. Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D. dan Ibu Dr. Nurindahsih Setionegoro 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. Orang tua yang senantiasa memberi dukungan dan semangat selama masa studi dan penyelesaian tesis;
5. Bapak Marcello, Andreas Erdian, dan rekan – rekan PT Geotekindo atas dukungannya selama masa studi dan proses penyelesaian tesis;
6. Welly, Stefanus Diaz, dan rekan – rekan PT Geotechnical Engineering Consultant atas bantuannya dalam pengumpulan data untuk penelitian

ini.

7. Rekan – rekan seangkatan yang telah menemani dan membantu penulis selama masa perkuliahan dan penyelesaian studi;
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis selama masa studi dan penyelesaian tesis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna, dan sangat berterima kasih kepada saran dan kritik yang dapat membuat tesis ini lebih baik lagi. Dibalik kekurangan yang ada, penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi perkembangan pengetahuan dikemudian hari.

Bandung, 19 Februari 2022

Pio Kefas

8101901014

DAFTAR ISI

Abstrak.....	iii
Abstract.....	v
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Notasi.....	xiii
Daftar Gambar.....	xvi
Daftar Tabel.....	xix
Daftar Lampiran.....	xxi
BAB 1 Pendahuluan.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.3 Lingkup Penelitian.....	1-3
1.4 Metode Penelitian.....	1-3
1.4.1 Studi Literatur.....	1-3
1.4.2 Pengumpulan Data Sekunder.....	1-4
1.4.3 Interpretasi dan Analisis Data.....	1-4
1.5 Sistematika Penulisan.....	1-4
1.6 Diagram Alir.....	1-5
BAB 2 Studi Pustaka.....	2-1
2.1 Teori Tegangan Efektif.....	2-1
2.2 Kuat Geser Tanah (<i>Shear Strength</i>).....	2-3
2.3 Galian Dalam.....	2-5
2.3.1 Dinding Penahan Tanah <i>Diaphragm wall</i>	2-7
2.3.2 <i>Braced excavation</i>	2-10
2.3.3 Sistem Strut.....	2-11
2.3.4 Galian Dengan Angkur.....	2-14
2.4 Deformasi Dinding Galian.....	2-18
2.5 <i>Settlement</i> Permukaan.....	2-20
2.5.1 Bentuk dari <i>Settlement</i> Permukaan.....	2-20
2.5.2 Magnitude <i>Settlement</i> dan Lokasi <i>Settlement</i>	2-22
2.6 Pengaruh Galian Terhadap Bangunan Sekitar.....	2-26

2.7	<i>Corner effect</i>	2-28
2.8	Metode Elemen Hingga.....	2-30
2.9	Model Konstitutif Tanah	2-31
BAB 3 Metodologi Penelitian		3-1
3.1	Pengumpulan Data	3-1
3.2	Model 3D Galian.....	3-2
3.2.1	Pengaturan Global	3-2
3.2.2	Pemodelan Lapisan Tanah dan Input Material Tanah.....	3-3
3.2.3	Input Geometri dan Pemodelan Galian	3-6
3.2.4	Pemodelan Elemen Struktur dan Input Material Struktur	3-8
3.3	Diskretisasi Elemen (<i>Meshing</i>)	3-11
3.4	Tahapan Model Konstruksi	3-12
3.5	Tahapan Interpretasi Hasil Analisis	3-14
BAB 4 Studi Kasus: Pluit Landmark Tower		4-1
4.1	Deskripsi Proyek	4-1
4.2	Kondisi Geologi	4-2
4.3	Pengujian Lapangan	4-3
4.3.1	Pengeboran Dalam dan Pengujian Standard Penetration Test (SPT).....	4-3
4.3.2	Pengujian <i>Cone Penetration Test</i> (CPT).....	4-4
4.3.3	<i>Vane Shear Test</i> (VST)	4-4
4.4	Pengujian Laboratorium.....	4-6
4.4.1	<i>Index Properties & Atterberg Limit</i>	4-6
4.4.2	<i>Triaksial Consolidated – Undrained (TX-CU) & Unconfined Compression Strength</i> (UCS).....	4-8
4.5	Penentuan Parameter Tanah	4-10
4.5.1	Berat Isi Tanah	4-10
4.5.2	Modulus.....	4-10
4.5.3	Kuat Geser Tanah.....	4-11
4.5.4	Permeabilitas	4-12
4.5.5	Interface.....	4-13
4.5.6	Ko dan OCR	4-13
4.6	Geometri Galian dan Sistem Perkuatan.....	4-14
4.6.1	Geometri Galian	4-14
4.6.2	Dinding Galian	4-14
4.6.3	Sistem Strut	4-16
4.6.4	Angkur.....	4-17

4.7	Monitoring Lapangan.....	4-18
4.7.1	<i>Piezometer Standpipe</i>	4-19
4.7.2	Inklinometer	4-19
4.8	Metode Konstruksi.....	4-20
4.9	Model 3D Galian.....	4-22
4.10	Hasil Analisa	4-23
4.10.1	Deformasi Dinding Galian	4-23
4.10.2	<i>Settlement</i> Permukaan dan Heaving.....	4-25
4.10.3	<i>Corner Effect</i>	4-29
4.10.4	Faktor Keamanan	4-30
4.10.5	Gaya Dalam Dinding Galian.....	4-31
BAB 5 Kesimpulan dan Saran		5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran	5-2
Daftar Pustaka.....		i
Lampiran 1		1
Lampiran 2		2
Lampiran 3		3
Lampiran 4		4

DAFTAR NOTASI

σ_v	= Tegangan vertikal total
σ_v'	= Tegangan vertikal efektif
γ_w	= Berat isi air
γ_{sat}	= Berat isi tanah pada kondisi jenuh air
γ	= Berat isi tanah
γ_d	= Berat isi tanah kering
h_A	= Jarak titik A ke muka air tanah
h	= Jarak permukaan tanah ke muka air tanah
H_e	= Kedalaman galian
u	= Tekanan air pori
c'	= Kohesi tanah efektif
ϕ'	= Sudut geser dalam efektif
c_u	= Kohesi tanah undrained
S_u	= Kuat geser tanah undrained
ψ	= Sudut dilatansi
K_a	= Koefisien tekanan aktif lateral
K_0	= Koefisien tekanan at rest
z	= Kedalaman dinding galian
t_{wall}	= Tebal dinding
δ_{hm}	= Deformasi/defleksi dinding arah lateral
δ_{vm}	= Deformasi/settlement permukaan
δ_{corner}	= Deformasi/defleksi dinding sudut galian
δ_{center}	= Deformasi/defleksi dinding tengah galian
A_s	= Luas dari gerakan dinding total dikurangi luas komponen kantilever
A_c	= Luas dari kantilever
D_m	= Jarak settlement terbesar ke dinding galian
E_{50}^{ref}	= Secant stiffness modulus pada 50% dari deviatoric stress pada $p^{ref} = 100 \text{ kPa}$
E_{oed}^{ref}	= Tangent stiffness modulus dari uji oedometer pada $p^{ref} = 100 \text{ kPa}$

E_{ur}^{ref}	= Unloading/reloading stiffness modulus pada $p^{ref} = 100 \text{ kPa}$
m	= Power (stress-level dependency of stiffness)
p^{ref}	= Reference pressure 1 atm (100 kPa)
E_u	= Modulus undrained tanah
q_c	= Nilai tahanan ujung konus CPT
w_n	= Kadar air
G_s	= Specific gravity
e_0	= Angka pori
PL	= Plastic Limit
LL	= Liquid Limit
PI	= Plasticity Index
LI	= Liquidity Index
OCR	= Overconsolidation Ratio
k	= Permeabilitas tanah
R_{inter}	= Interface elemen struktur & tanah
EA	= Axial stiffness
EI	= Bending stiffness
E_c	= Modulus kekakuan beton
f_c'	= Mutu kuat tekan beton
ν	= Poisson ratio
ν_{ur}	= Poisson ratio unloading
d	= Tebal elemen pelat
Q_{12}	= Gaya geser dinding arah 1-2
Q_{23}	= Gaya geser dinding arah 2-3
Q_{13}	= Gaya geser dinding arah 1-3
M_{11}	= Gaya momen dinding arah 1-1
M_{22}	= Gaya momen dinding arah 2-2
M_{12}	= Gaya momen dinding arah 1-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Diagram Alir Penelitian	1-6
Gambar 2-1 (a) Komponen Pada Tanah (B) Kondisi Tanah Natural (Braja, 2010).....	2-1
Gambar 2-2 Potongan Melintang Butir Tanah (Braja, 2010).....	2-2
Gambar 2-3 <i>Mohr – Coulomb Failure Criterion</i> (Braja, 2010)	2-4
Gambar 2-4 (a) <i>Open cut method with slopping</i> (b) <i>Cantilevered open cut method</i> (Ou, 2006)	2-6
Gambar 2-5 Konstruksi <i>diaphragm wall</i> (Indopora, 2020).....	2-9
Gambar 2-6 <i>Braced excavation</i> (Ou, 2006)	2-10
Gambar 2-7 Desain APD strut pada (a) soft to medium clay (b) stiff clay (Goh dkk, 2017)	2-11
Gambar 2-8 Normalized apparent earth pressure versus normalized depth for stiff walls in soft clay (Goh dkk. 2017).....	2-13
Gambar 2-9 Normalized apparent earth pressure versus normalized depth for stiff walls in stiff clay (Goh dkk. 2017)	2-13
Gambar 2-10 Ilustrasi galian yang digunakan dalam studi (Chowdhury dkk. 2006).....	2-14
Gambar 2-11 Komponen Angkur (Ou, 2006)	2-15
Gambar 2-12 Ketentuan Spasi Vertikal Dan Horizontal Untuk Angkur (FHWA Soil Nailing & Ground Anchor, 1999)	2-16
Gambar 2-13 Profil Tanah dan Perkuatan Angkur Kasus Galian di Chicago (Finno dan Roboski, 2005)	2-17
Gambar 2-14 Defleksi Dinding Galian (Finno dan Roboski, 2005)	2-18
Gambar 2-15 Hubungan antara defleksi dinding dengan kedalaman galian (Ou dkk, 1993)	2-19
Gambar 2-16 Hubungan bentuk deformasi dinding dengan kekakuan strut yang tinggi pada: (a) Galian tahap 1 (b) Galian tahap 2 (c) Galian tahap 3	2-20
Gambar 2-17 Hubungan bentuk deformasi dinding dengan kekakuan strut yang rendah pada: (a) Galian tahap 1 (b) Galian tahap 2 (c) Galian tahap 3	2-20
Gambar 2-18 Bentuk dari <i>settlement</i> permukaan akibat galian (Hsieh dan Ou, 1998) ..	2-21
Gambar 2-19 Definisi luas dari deformasi dinding kantilever (Hsieh dan Ou, 1998)....	2-22
Gambar 2-20 <i>Settlement</i> permukaan dan deformasi dinding lateral (Ou dkk. 1993)	2-23
Gambar 2-21 <i>Primary influence zone</i> (PIZ) dipengaruhi oleh (a) lebar galian (b) kedalaman tanah keras	2-24
Gambar 2-22 Deformasi lateral dinding dan <i>settlement</i> permukaan pada galian TNEC: (a) Deformasi dinding galian (b) <i>Settlement</i> permukaan (Ou dkk, 1998).....	2-24
Gambar 2-23 Estimasi <i>settlement</i> permukaan dengan metode Ou dan Hsieh (Ou dan Hsieh, 2000; Ou dkk., 2005)	2-25
Gambar 2-24 Perbandingan berbagai metode dalam mengestimasi <i>settlement</i> permukaan dengan hasil monitoring lapangan pada berbagai kasus galian (Ou dan Hsieh, 2000) ..	2-26
Gambar 2-25 Respon Gedung Terkait Dengan Profile Penurunan (Ou dkk., 2000).....	2-27
Gambar 2-26 Hasil Analisa Studi Kasus Dengan Model Tanah Hardening Soil (Lim dkk., 2010)	2-32
Gambar 2-27 Kurva Tegangan-Regangan Hiperbolik (Duncan dan Chang, 1970)	2-33
Gambar 2-28 Pebandingan Tegangan-Regangan Tanah Asli, MC Model, HS Model (Teo dan Wong, 2012)	2-33
Gambar 3-1 Geometri Galian.....	3-2
Gambar 3-2 Input Judul Proyek pada Tab Project	3-3
Gambar 3-3 Pengaturan Model, Satuan, dan Kontur Pada Tab Model	3-3

Gambar 3-4 Pemodelan Lapisan Tanah	3-4
Gambar 3-5 Pemilihan Model Material dan Input Berat Isi Tanah.....	3-4
Gambar 3-6 Input Parameter Kuat Geser dan Kekakuan Tanah	3-5
Gambar 3-7 Input Permeabilitas Tanah	3-5
Gambar 3-8 Input Interface Tanah.....	3-6
Gambar 3-9 Input Ko dan OCR Tanah	3-6
Gambar 3-10 Pemodelan Surface Element	3-7
Gambar 3-11 Array Surface Sesuai dengan Kedalaman Desain	3-7
Gambar 3-12 Pemodelan Volume Galian	3-8
Gambar 3-13 Pemodelan D-Wall.....	3-8
Gambar 3-14 Pemodelan Interfaces	3-9
Gambar 3-15 Pemodelan Strut dengan Node to Node Anchor	3-9
Gambar 3-16 Pengaturan Parameter Elemen Strut	3-10
Gambar 3-17 Pemodelan Angkur dengan Node to Node Anchor dan Embedded Beam Element	3-10
Gambar 3-18 Input Material Grout Body Anchor.....	3-11
Gambar 3-19 Pengaturan Mesh.....	3-12
Gambar 3-20 Output Mesh	3-12
Gambar 3-21 Pemodelan Tahapan Konstruksi	3-13
Gambar 3-22 Tampilan Setelah Selesai Dikalkulasi.....	3-13
Gambar 4-1 Peta Lokasi Pluit Landmark.....	4-1
Gambar 4-2 Potongan Melintang Pluit Landmark	4-1
Gambar 4-3 Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Jakarta & Kepulauan Seribu (Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi, 1992)	4-2
Gambar 4-4 Distribusi Nilai SPT Terhadap Kedalaman Pada Proyek Pluit Landmark... 4-4	4-4
Gambar 4-5 Distribusi Nilai qc Terhadap Kedalaman Pada Proyek Pluit Landmark..... 4-5	4-5
Gambar 4-6 Hasil Uji VST	4-5
Gambar 4-7 Berat Isi, Kadar Air, Specify Gravity, Angka Pori Terhadap Kedalaman ... 4-7	4-7
Gambar 4-8 Batas – Batas Atterberg Terhadap Kedalaman	4-7
Gambar 4-9 Casagrande Plasticity Chart	4-8
Gambar 4-10 Hasil Uji Triaksial CU Terhadap Kedalaman	4-9
Gambar 4-11 Kuat Geser Tak Terdrainase (Su) Hasil Uji VST dan UCS	4-9
Gambar 4-12 Hubungan e_u/s_u Terhadap Nilai OCR (Duncan & Buchignani, 1976) .. 4-11	4-11
Gambar 4-13 Sudut Geser Dalam vs PI (Ameratunga, 2016).....	4-12
Gambar 4-14 Nilai Tipikal Permeabilitas Tanah (Burt Look, 2006)	4-13
Gambar 4-15 Geometri Galian Pluit Landmark.....	4-14
Gambar 4-16 Sketsa Kondisi Tanah Galian Pluit Landmark (dokumen perencanaan) 4-16	4-16
Gambar 4-17 Konfigurasi Strut di Sudut Galian Sisi Barat (Tampak Atas).....	4-17
Gambar 4-18 Foto – Foto Selama Proses Konstruksi Strut	4-17
Gambar 4-19 Ilustrasi Konstruksi Angkur.....	4-18
Gambar 4-20 Lokasi Pemasangan Instrumentasi.....	4-19
Gambar 4-21 Hasil Piezometer Standpipe	4-19
Gambar 4-22 Hasil Monitoring Inklinometer	4-20
Gambar 4-23 Ilustrasi Galian dan Profil Tanah	4-21
Gambar 4-24 Model 3D Galian	4-22
Gambar 4-25 Deformasi Dinding Galian Keseluruhan.....	4-23
Gambar 4-26 Defleksi Dinding Galian dan Hasil Monitoring Inklinometer	4-24
Gambar 4-27 Tampak Atas Model Strut Dengan Konfigurasi Menyudut	4-25

Gambar 4-28 Potongan Melintang Hasil Deformasi Pada Dwall Tipe 1 Dengan Angkur	4-26
Gambar 4-29 Potongan Melintang Hasil Deformasi Pada Dwall Tipe 2 Dengan Strut	4-26
Gambar 4-30 <i>Settlement</i> Permukaan dan Defleksi Dinding Pada Dwall Tipe 1	4-27
Gambar 4-31 <i>Settlement</i> Permukaan dan Defleksi Dinding Pada Dwall Tipe 2	4-27
Gambar 4-32 Heaving Pada Dasar Galian Dwall Tipe 1	4-28
Gambar 4-33 Heaving Pada Dasar Galian Dwall Tipe 2	4-28
Gambar 4-34 Tampak Atas Hasil Deformasi dan Corner Effect	4-29
Gambar 4-35 Defleksi Dinding di Sudut Galian Pertemuan Dwall Tipe 1 dan 2	4-29
Gambar 4-36 Defleksi Dinding di Sudut Galian Dwall Tipe 1	4-30
Gambar 4-37 Hasil Analisa Safety PLAXIS 3D	4-31
Gambar 4-38 Output Hasil Analisa Safety PLAXIS 3D	4-31

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Rekomendasi nilai K_a pada stiff wall (Goh dkk. 2017)	2-12
Tabel 4-1 Perlapisan Tanah di Area Galian	4-3
Tabel 4-2 Nilai Tipikal Permeabilitas Tanah (Das, 2018)	4-12
Tabel 4-3 Nilai Rinter Tipikal yang Disarankan (Brinkgreeve dan Shen, 2011).....	4-13
Tabel 4-4 Parameter Input <i>D-wall</i> Model 2D (Dokumen Perencana)	4-15
Tabel 4-5 Parameter Input <i>D-wall</i> Model 3D	4-15
Tabel 4-6 Parameter Input Angkur Model 3D.	4-18
Tabel 4-7 Urutan Konstruksi Galian Pluit Landmark.	4-21
Tabel 4-8 Estimasi Awal Parameter Tanah.....	4-22
Tabel 4-9 Parameter Tanah Hasil Analisa Balik.....	4-22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Resume Uji Laboratorium

Lampiran 2 Data Borlog

Lampiran 3 Data Sondir

Lampiran 4 Data Vane Shear Test

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan lahan serta kebutuhan tempat tinggal dan kantor di tengah kota besar menjadikan pemanfaatan pembangunan dalam tanah salah satu alternatif yang sering dipilih. Konstruksi bawah tanah yang paling umum dilakukan adalah pembuatan *basement*, terutama pada bangunan gedung kantor, apartemen, dan pusat perbelanjaan. Pekerjaan galian di tengah kota padat seperti Jakarta, dimana terdapat gedung dan bangunan tinggi di sekitar area galian, memerlukan proteksi untuk mencegah pergerakan berlebih akibat pekerjaan galian yang dapat membahayakan bangunan dan gedung di sekitar area galian. Terjadinya *settlement* permukaan yang berlebihan akibat adanya galian pada daerah perkotaan dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan fasilitas umum di sekitar galian (Wang dkk., 2010, Ou dkk., 2000).

Selain bangunan sekitar, faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan galian adalah jenis tanah yang akan digali. Galian pada tanah lunak dapat menyebabkan pergerakan yang besar dari dinding galian akibat dari rendahnya *passive resistance* dari terjadi *ground settlement* akibat kompresibilitas dari tanah lunak yang tinggi (Ou, 2006). Hal ini meningkatkan potensi kegagalan galian pada tanah lunak.

Berdasarkan penelitian Ou dkk. (1993) dari berbagai kasus galian dalam, besarnya defleksi dinding galian berada pada rentang 0.2 – 0.5% dari kedalaman galian. Mana dan Clough (1981) dan Ou dkk. (1993) menyebutkan bahwa *settlement* yang terjadi di permukaan belakang dinding galian sangat dipengaruhi oleh besarnya defleksi dinding galian. Dengan kata lain, semakin dalam galian yang dilakukan, semakin besar defleksi dinding yang terjadi dan semakin besar *settlement* permukaan yang terjadi di sekitar galian.

Selain dapat rusak akibat galian, bangunan dan infrastruktur di sekitar galian dapat menjadi beban tambahan yang memberi beban permukaan pada galian. Besarnya *settlement* permukaan perlu diprediksi dengan tepat untuk mengetahui

metode proteksi galian yang cocok untuk memenuhi kriteria keamanan galian agar bangunan sekitarnya tidak mengalami kerusakan. Terdapat berbagai jenis metode galian dan sistem proteksi galian yang dapat digunakan. Kesesuaian dan kecocokan tiap metode dan sistem proteksi galian tergantung dari beberapa faktor seperti geometri galian, jenis tanah dan lainnya.

Sistem proteksi seperti strut atau angkur merupakan sistem proteksi galian yang lazim digunakan pada banyak kasus galian. Kekakuan dari dinding serta sistem proteksi galian akan berpengaruh kepada besaran dan bentuk dari defleksi dinding galian. Selain dinding galian dan sistem proteksi galian, tahapan serta durasi konstruksi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya deformasi dinding maupun tanah. Menurut Clough dan O'Rourke (1990) serta Oudk (1998), defleksi dinding dan *settlement* permukaan tanah meningkat seiring dengan interval waktu setelah galian selesai dilakukan. Pada metode galian full open cut, galian dilakukan hingga mencapai kedalaman rencana kemudian dilanjutkan pembangunan dari bawah ke atas.

Dalam mendesain galian, umumnya pemodelan *plane strain* digunakan untuk mewakili analisa galian. Namun, analisa *plane strain* dapat dilakukan apabila dinding galian cukup panjang untuk dapat terwakilkan dengan analisa 2 dimensi (2D). Pada kasus galian dengan geometri yang tidak sederhana, pemodelan dengan 3 dimensi (3D) diperlukan untuk memodelkan geometri galian dengan lebih akurat. Dari berbagai penelitian yang dilakukan dengan menggunakan pemodelan 3D, terdapat *corner effect* yang tidak dapat dimodelkan pada analisa 2D *plane strain*. *Corner effect* umumnya memberi nilai deformasi yang lebih kecil pada sudut galian akibat kekakuan dari sudut galian. Oleh karena itu, pemodelan 3D dianggap lebih akurat dan mendekati kondisi aktual.

Pada kasus galian *Pluit Landmark*, terdapat 2 sistem perkuatan galian yaitu dinding sisi barat dengan *d-wall* setebal 80 cm dengan strut menyudut, dan dinding sisi lainnya dengan *d-wall* setebal 60 cm dengan 2 level angkur. Dari hasil pemantauan lapangan, pada dinding sisi barat terjadi defleksi sebesar 15 cm, sementara pada dinding sisi utara terjadi defleksi 3.5cm. Meskipun dinding sisi barat yang berbatasan dengan Hotel Sanno terjadi defleksi yang besar, namun

secara keseluruhan galian, tidak terjadi kegagalan terhadap konstruksi galian.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memahami karakteristik galian yang dilakukan pada tanah lempung lunak dengan proteksi galian berupa strut dan angkur serta pengaruh dari masing-masing sistem perkuatan terhadap bangunan di sekitar area galian melalui model 3D dengan metode elemen hingga.

1.3 Lingkup Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, lingkup penelitian meliputi:

1. Melakukan kajian literatur mengenai galian dalam, sistem perkuatan strut dan angkur, metode elemen hingga 3D, dan lainnya.
2. Melakukan *Back analysis* terhadap pekerjaan galian berdasarkan hasil data monitoring untuk mendapatkan parameter tanah.
3. Melakukan kajian pergerakan lateral dinding dan *settlement* permukaan terhadap sistem perkuatan yang digunakan.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan terdiri atas studi literatur, pengambilan data di lapangan, serta interpretasi dan analisis data.

1.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari literatur berupa buku teks, jurnal, artikel ilmiah, serta tesis peneliti terdahulu yang relevan sebagai acuan untuk melakukan analisis, pemodelan, dan interpretasi hasil.

1.4.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder berupa denah galian, pengujian CPT, pengujian NSPT di lapangan dan hasil monitoring.

1.4.3 Interpretasi dan Analisis Data

Hasil *back analysis* berupa parameter input pada tahapan analisis menggunakan program komputer. Hasil pengujian lapangan dan monitoring juga digunakan sebagai data pendukung untuk menginterpretasikan pelapisan tanah dan faktor lain yang memengaruhi besarnya pergerakan lateral dinding galian. Interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan defleksi dan gaya-gaya yang terjadi pada dinding galian dengan hasil monitoring.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Menguraikan dasar-dasar teori yang berkaitan dengan analisis galian, sistem proteksi galian, dan metode elemen hingga.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Memuat mengenai deskripsi proyek, data tanah dan monitoring yang dimiliki, kondisi galian, performance galian, serta mendiskusikan hasilnya berdasarkan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian sebelumnya.

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMODELAN FEM

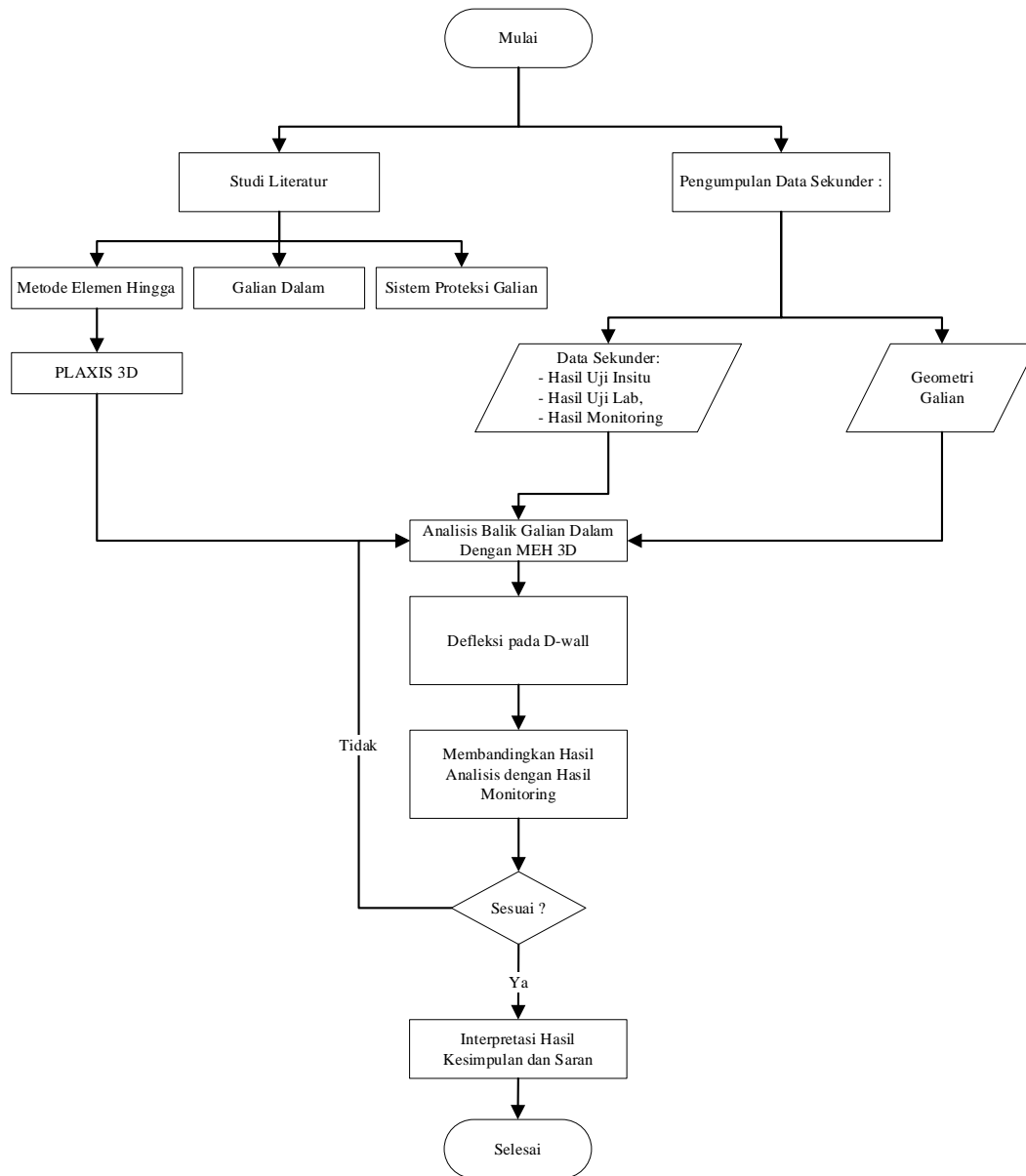
Melakukan pemodelan terhadap galian serta melakukan verifikasi dengan data monitoring lapangan yang tersedia menggunakan metode elemen hingga dengan pemodelan 3D.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan mengenai hasil analisis galian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Diagram Alir

Untuk menunjukkan proses penelitian yang akan dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini maka dibuatlah diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1-1.



Gambar 1-1 Diagram Alir Penelitian