

SKRIPSI

STUDI PERILAKU DEFORMASI TEROWONGAN
EKSISTING AKIBAT KONSTRUKSI GALIAN
DALAM DI SEKITARNYA DI WILAYAH JAKARTA
PUSAT



MUHAMMAD RIDWAN KARLIMAN

NPM: 2017410199

PEMBIMBING: Aswin Lim, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT /Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

SKRIPSI

STUDI PERILAKU DEFORMASI TEROWONGAN
EKSISTING AKIBAT KONSTRUKSI GALIAN
DALAM DI SEKITARNYA DI WILAYAH JAKARTA
PUSAT



MUHAMMAD RIDWAN KARLIMAN

NPM: 2017410199

PEMBIMBING: Aswin Lim, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT /Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

SKRIPSI

STUDI PERILAKU DEFORMASI TEROWONGAN EKSISTING AKIBAT KONSTRUKSI GALIAN DALAM DI SEKITARNYA DI WILAYAH JAKARTA PUSAT



MUHAMMAD RIDWAN KARLIMAN

NPM: 2017410199

PEMBIMBING

Aswin Lim, Ph.D.

KO-PEMBIMBING

Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T.

KETUA PUSAT STUDI GEOTEKNIK

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

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT /Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

PERNYATAAN

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

Nama : Muhammad Ridwan Karliman

NPM : 2017410199

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

“Studi Perilaku Deformasi Terowongan Eksisting Akibat Konstruksi Galian Dalam di Sekitarnya Di Wilayah Jakarta Pusat” adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. 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 non formal 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 Januari 2021



Muhammad Ridwan Karliman

2017410199

**STUDI PERILAKU DEFORMASI TEROWONGAN
EKSISTING AKIBAT KONSTRUKSI GALIAN
DALAM DI SEKITARNYA DI WILAYAH JAKARTA
PUSAT**

Muhammad Ridwan Karliman

NPM: 2017410199

Pembimbing: Aswin Lim, Ph.D.

Ko-Pembimbing: Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT /Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG
JANUARI 2021**

ABSTRAK

Terowongan diperlukan sebagai jaringan transportasi umum yang biasa dibangun melalui perbukitan atau melalui bawah tanah. Di samping itu, pembangunan infrastruktur yang terus meningkat membuat pembangunan gedung-gedung tinggi berkembang pesat sehingga dibutuhkan galian untuk *basement*. Terdapat beberapa permasalahan pada konstruksi galian *basement* apabila desain tidak dilakukan dengan komprehensif, diantaranya penurunan tanah sekitar area galian serta pergerakan (deformasi) struktur bawah tanah seperti terowongan sehingga dapat membahayakan stabilitas konstruksi terowongan apabila terjadi deformasi yang besar. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan besar deformasi pada terowongan, serta keamanan terowongan terhadap deformasi, apabila dilakukan variasi posisi terowongan terhadap lokasi galian di wilayah Jakarta Pusat. Tanah di lokasi merupakan tanah yang sangat lunak dan tebal dengan sedikit sisipan pasir. Analisis dilakukan dengan pendekatan Metode Elemen Hingga menggunakan bantuan Program PLAXIS 2D versi 20. Deformasi terowongan, defleksi dinding diafragma, serta gaya dalam terowongan dan dinding diafragma merupakan komponen yang dianalisis dalam penelitian ini. Dari hasil analisis yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak terowongan dari lokasi galian dan semakin dalam terowongan terbenam, maka semakin kecil pula deformasi yang terjadi pada terowongan sehingga lebih aman terhadap deformasi.

Kata Kunci: Terowongan, Galian Dalam, Dinding Diafragma, Deformasi, Defleksi, Metode Elemen Hingga

STUDY OF DEFORMATION BEHAVIOR OF THE EXISTING TUNNEL DUE TO ADJACENT DEEP EXCAVATION WORKS IN CENTRAL JAKARTA

Muhammad Ridwan Karliman

NPM: 2017410199

Advisor: Aswin Lim, Ph.D.

Co-Advisor: Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING**

(Accredited by SK BAN-PT Number:1788/SK/BAN-PT /Akred/S/VII/2018)

**BANDUNG
JANUARY 2021**

ABSTRACT

Tunnels are needed as a public transportation network built through hills or through underground. On the other hand, the increasing infrastructure development has made the construction of high rise buildings grow rapidly so that excavation for the basement is required. There are several problems in *basement* excavation construction if the design is not carried out comprehensively, such as land subsidence underground structures deformation for example is tunnel, so that it can endanger the stability of tunnel construction if the deformations are large. This research is intend to know the characteristics and magnitude of tunnel deformation, and also the stability of the tunnel against deformation, if the tunnel position is varied to the excavation where is in the Central Jakarta Area. The soil at the site is very soft and thick with little of sand. The analysis was carried out by Finite Element Methode approach using 20th version of PLAXIS 2D Program. Tunnel deformation, diaphragm wall deflection, and internal forces of the tunnel and diaphragm wall are the components to be analyzed in this research. Based on the results of analysis, it can be known that if the tunnel is farther from excavation location and deeper the tunnel is immersed, then the less deformation that occurs in the tunnel so that is safer against deformation.

Keywords: Tunnel, deep excavation, diaphragm wall, deflection, Finite Element Method

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat, serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI PERILAKU DEFORMASI TEROWONGAN EKSISTING AKIBAT PENGARUH DARI KONSTRUKSI GALIAN DALAM DI WILAYAH JAKARTA PUSAT” dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis mendapat dukungan baik secara material maupun moril dari berbagai pihak sehingga segala kendala dapat dapat diatasi dan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dukungan secara materil dan moril dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Aswin Lim., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Bapak Stefanus Diaz Alvi, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang telah berkenan untuk memberikan pengetahuan, ide, masukan serta saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini agar dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
3. Para dosen Program Studi Teknik Sipil yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan banyak arahan, masukan, serta saran agar dapat lebih menyempurnakan skripsi ini.
4. Bryan Jonathan, Gregorius Ivaldy, Juan Kevin, Azmi Fitra Darajat, Bimo Satria, Roy Adianto, Grisella Aglia, dan Kevin Lie selaku teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan kepada penulis.
5. Muhammad Fahri, Alvin Setiawan Rahardjo, Bryan, Fahreza Putra Fikri Aziz , dan Muhammad Thiffaldy Mahdika Putra selaku teman-teman

terdekat yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan kepada penulis.

6. Muhammad Fahri, Muhammad Danindra Riansa, Riowanata Surya Jatmika, Julius T A, Charles Max Williem, David Vandritanius, Richo Bryan, Elizabeth Joanna, dan Demo Maulana, selaku teman-teman diskusi penulis selama masa perkuliahan yang selalu memberikan semangat doa, serta dukungan kepada penulis.
7. Ghanny Sirat dan Moch. Demo Maulana selaku teman-teman indekos Ranca Bentang no. 127 yang selalu memberikan semangat doa, serta dukungan kepada penulis.
8. Jutawan Bangun P R S dan Fikri Lutfi Budiman selaku teman-teman terdekat selama masa SMA yang juga selalu memberikan semangat doa, serta dukungan kepada penulis.
9. Teman-teman Program Studi Teknik Sipil UNPAR Angkatan 2017 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, yang juga telah memberikan dukungan kepada penulis.
10. Dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi ini, yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, mengingat keterbatasan waktu serta kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis dengan lapang dada menerima semua saran serta masukan dari pembaca agar penulis dapat membangun penelitian ilmiah yang lebih baik kedepannya.

Bandung, 6 Januari 2021



Muhammad Ridwan Karliman

2017410199

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1. Latar Belakang Permasalahan	1-1
1.2. Inti Permasalahan	1-2
1.3. Tujuan Penelitian	1-2
1.4. Lingkup Penelitian	1-2
1.5. Metode Penelitian	1-2
1.6. Sistematika Penulisan	1-3
1.7. Diagram Alir Penelitian	1-4
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 Pengertian Galian Dalam	2-1
2.2 Metode Konstruksi Galian Dalam	2-1
2.2.1 <i>Slope Open Cut Method</i>	2-2
2.2.2 <i>Cantilever method</i>	2-2
2.2.3 <i>Braced Excavation Method</i>	2-2
2.2.4 <i>Anchored Excavation Method</i>	2-3
2.2.5 <i>Island Excavation Method</i>	2-3

2.2.6	<i>Top-Down Construction Method</i>	2-4
2.2.7	<i>Zoned Excavation Method</i>	2-5
2.2.8	<i>Butress Wall dan Cross Wall Method</i>	2-5
2.3	Jenis-jenis Sistem Proteksi <i>Retaining Wall</i> Galian Dalam	2-9
2.3.1	<i>Soldier piles</i>	2-9
2.3.2	<i>Sheet Piles</i>	2-9
2.3.3	<i>Diaphragm Wall (D-Wall)</i>	2-9
2.3.4	<i>Contiguous Bored Pile</i>	2-11
2.3.5	<i>Secant Pile</i>	2-11
2.4	Deformasi pada Galian Dalam.....	2-13
2.5	Pengertian Terowongan	2-15
2.6	Bentuk-Bentuk Terowongan.....	2-16
2.7	Metode Konstruksi Terowongan	2-17
2.7.1	<i>Open Face Construction Without a Shield</i>	2-17
2.7.2	<i>Tunnel Boring Machines (TBM)</i>	2-17
2.7.3	<i>Drill And Blast Tunnelling</i>	2-18
2.7.4	<i>New Austrian Tunnelling Method (NATM)</i>	2-18
2.7.5	<i>Cut-and-Cover Tunnel</i>	2-18
2.7.6	<i>Immersed Tube Tunnels</i>	2-19
2.7.7	<i>Jacked Box Tunnelling</i>	2-19
2.7.8	<i>Pipe Jacking and Micro Tunnelling</i>	2-20
2.7.9	<i>Horizontal Directional Drilling</i>	2-20
2.8	Kontraksi pada Terowongan.....	2-20
2.9	Penyelidikan dan Penentuan Parameter Tanah.....	2-20
2.9.1	Penyelidikan Geoteknik.....	20

2.9.2	Penentuan Parameter Tanah Berdasarkan Uji (<i>Standard Penetration Test</i>).....	2-22
2.10	Efek Galian terhadap Terowongan dan Bangunan Sekitar.....	2-26
2.11	<i>Hardening Soil Model</i>	2-29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		3-1
3.1.	Program Plaxis 2D.....	3-1
3.2.	Teori Metode Elemen Hingga	3-2
3.3.	Analisis Menggunakan Program Plaxis 2D v.20.....	3-2
3.3.1.	Input Program Plaxis 2D v.20.....	3-2
3.3.2.	Output Program Plaxis 2D V20	3-8
BAB 4 ANALISIS DATA		4-1
4.1	Deskripsi Proyek	4-1
4.2	Penentuan Parameter Tanah Desain	4-1
4.3	Penentuan Parameter Elemen Struktural	4-8
4.3.1	<i>Diaphragm Wall</i>	4-9
4.3.2	<i>Sheet Pile</i>	4-9
4.3.3	Pelat Lantai.....	4-10
4.3.4	<i>Terowongan</i>	4-10
4.4	Analisis Perbandingan Defleksi <i>Diaphragm Wall</i>	4-11
4.5	Pemodelan Konstruksi Terowongan dan Galian pada Kasus [$H_{tun} = 15$ m ; $L_{tun} = 10$ m]	4-14
4.5.1	Tahapan Konstruksi	4-17
4.5.2	Hasil Analisis Besar Deformasi Maksimum pada Terowongan Menggunakan Program PLAXIS 2D	4-26
4.5.3	Hasil Analisis Gaya Dalam pada Terowongan Menggunakan Program PLAXIS 2D.....	4-29

4.5.4	Desain Tulangan Longitudinal Terowongan	4-32
4.5.5	Hasil Analisis Besar Defleksi Maksimum pada <i>Diaphragm Wall</i> Menggunakan Program PLAXIS 2D	4-35
4.5.6	Hasil Analisis Gaya Dalam pada <i>Diaphragm Wall</i> Menggunakan Program PLAXIS 2D	4-38
4.6	Studi Parametrik Konstruksi Terowongan dan Galian Dalam.....	4-41
4.6.1	Studi Parametrik Terowongan Eksisting Berada di Samping Galian.....	4-42
4.6.2	Studi Parametrik Terowongan Eksisting berada di Bawah Dasar Galian.....	4-59
BAB 5	5-1
KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
DAFTAR PUSTAKA	xxiii



DAFTAR NOTASI

Δ_{x-a}	: Defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> ketika terowongan berada di samping galian (cm)
Δ_{x-b}	: Defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> ketika terowongan berada tepat di bawah galian (cm)
A_s	: Luas area tulangan longitudinal (mm ²)
c	: Kohesi (kPa)
c'	: Kohesi efektif (kPa)
C_c	: Koefisien kompresi
C_{ov}	: Selimut beton (cm)
C_s	: Koefisien kembang susut
C_v	: Koefisien konsolidasi
d	: Tinggi efektif (cm)
D_b	: Diameter tulangan longitudinal (mm)
E_{50}	: <i>Initial deviator modulus</i> (kPa)
EI	: Kekakuan lentur <i>diaphragm wall</i> (kN/m ²)
E_{oed}	: <i>primary compression modulus</i> (kPa)
E_{ur}	: <i>Unloading/ reloading modulus</i> (kPa)
f_y	: Kuat leleh beton (MPa)
δ	: Besar defleksi <i>diaphragm wall</i> pada chart defleksi maksimum Clough and O'Rourke (m)
H	: Tebal dinding terowongan (cm)

H_{avg}	: Jarak vertikal antar <i>strut</i> pada chart defleksi maksimum Clough and O'Rourke (m)
H_{bound}	: Kedalaman boundari dari dasar galian (m)
He	: Kedalaman galian pada chart defleksi maksimum Clough and O'Rourke (m)
H_{exc}	: Kedalaman galian (m)
HS D	: Hardening Soil-Drained
HS UD A	: Hardening Soil-Undrained A
H_{tun}	: Kedalaman terowongan dari permukaan tanah (m)
IP	: Indeks plastisitas
L	: Panjang segmen terowongan (m)
L_{bound}	: Lebar boundari dari tepi galian (m)
L_{exc}	: Lebar galian (m)
LI	: Indeks cair
LL	: Batas cair (%)
L_{tun}	: Jarak terowongan diluar galian ke tepi galian (m)
ω_n	: Kadar air (%)
n_b	: Jumlah tulangan longitudinal
\emptyset	: Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
\emptyset'	: Sudut geser dalam efektif ($^{\circ}$)
PL	: Batas plastis (%)
S	: Jarak antar tulangan longitudinal (mm)
Su	: <i>Undrained shear strength</i> (kPa)

U_{x-a} : Deformasi horizontal maksimum terowongan ketika terowongan berada di samping galian (cm)

U_{x-b} : Deformasi horizontal maksimum terowongan ketika terowongan berada di bawah galian (cm)

U_{y-a} : Deformasi vertikal maksimum terowongan ketika terowongan berada di samping galian (cm)

U_{y-b} : Deformasi vertikal maksimum terowongan ketika terowongan berada di bawah galian (cm)

γ_w : Berat jenis air (kN/m^3)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram alir penelitian	1-4
Gambar 2.1 Potongan melintang slope open cut method (Ou, 2006)	2-6
Gambar 2.2 Potongan melintang cantilever mothod (Ou, 2006).....	2-6
Gambar 2.3 : (a) Potongan melintang braced excavation method; (b) Tampak atas braced excavation method (Ou, 2006)	2-6
Gambar 2.4 : (a) Potongan melintang anchored excavation method; (b) Permasalahan pemasangan jangkar pada tanah non-koheisif dengan muka air tinggi (Ou, 2006)	2-7
Gambar 2.5 : (a) Potongan melintang island excavation method; (b) Potongan melintang island excavation method dengan banyak strut (Ou, 2006)	2-7
Gambar 2.6 Potongan melintang top-down construction method (Ou, 2006)....	2-7
Gambar 2.7 : (a) Tampak atas deformasi pada dinding galian; (b) Tampak atas dari pembagian area galian menjadi dua zona (A) dan (B) (Ou, 2006)	2-8
Gambar 2. 8 Cross wall method : (a) Tampak atas; (b) Potongan melintang (Ou, Lin, dan Hsieh 2006).....	2-8
Gambar 2.9 Buttress wall method : (a) Tampak atas; (b) Potongan melintang (Ou, Lin, dan Hsieh 2006).....	2-8
Gambar 2.10 : (a) Tampak samping soldier pile; (b) Tampak atas soldier pile (Ou, 2006)	2-12
Gambar 2.11 : (a) Tampak samping sheet pile; (a) Tampak atas sheet pile U (Ou, 2006)	2-12
Gambar 2.12 Foto metode konstruksi dinding penahan tanah metode <i>diaphragm wall</i> (Ou, 2006)	2-12
Gambar 2.13 : (a) Tampak atas contingous bored piles menggunakan campuran bentonite; (b) Tampak atas contingous bored piles yang tersusun dari bored piles (Wiswara dan Yassin, 2012)	2-12
Gambar 2.14 Tampak atas <i>secant piles wall</i>	2-13
Gambar 2.15 Hubungan antara pergerakan maksimum dinding, kekakuan strut, dan faktor keamanan basal heave (Clough & O'Rourke, 1990)	2-14

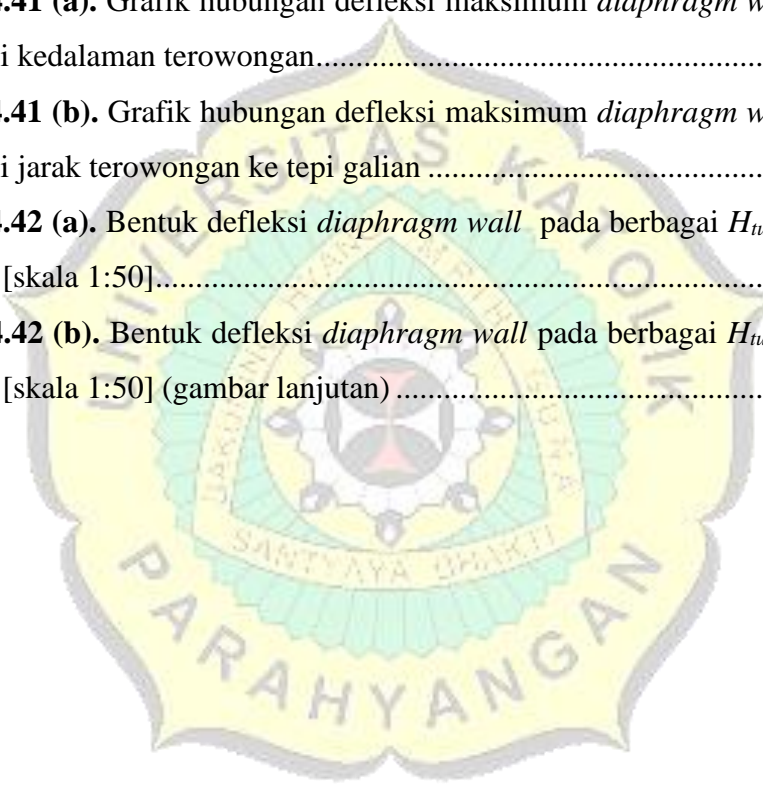
Gambar 2.16 Hubungan antara pergerakan lateral maksimum dinding dengan kedalaman (Ou & Shiau, 1993)	2-14
Gambar 2.17 Hubungan antara kedalaman penetrasi dinding dengan pergerakan lateral dinding (Ou, 2006)	2-15
Gambar 2.18 : Bentuk-bentuk terowongan	2-16
Gambar 2.19 Korelasi kepadatan relatif (D_r) dengan N_{SPT} (USBR 1974; Bazaraa, 1967)	2-22
Gambar 2.20 Korelasi empiris nilai N_{SPT} yang telah dikoreksi terhadap \emptyset (De Mello, 1971)	2-23
Gambar 2.21 Hubungan nilai \emptyset' dan $(N_1)_{60}$, (Mayne, 2001 yang dimodifikasi dari Hatanaka & Uchida, 1996)	2-24
Gambar 2.22 Perkiraan hubungan N_{SPT} terhadap S_u (Terzaghi & Peck, 1967; Sowers, 1979)	2-24
Gambar 2.23 Hubungan S_u dan nilai N_{SPT} (Hara dkk, 1974)	2-24
Gambar 2.24 Korelasi σ_p' terhadap N_{SPT} (Mayne et al, 1988)	2-25
Gambar 2.25 Koefisien modulus terkekang SPT vs PI (Stroud, 1974)	2-26
Gambar 2.26 Perkiraan penurunan tanah dibelakang dinding galian (Peck, 1969)	2-28
Gambar 2.27 Hubungan Hiperbolik <i>Stress-strain</i> pada hasil uji <i>triaxial</i> (Material Models, Manual PLAXIS v.20)	2-30
Gambar 2.28 Lokasi leleh berturut-turut untuk beberapa konstanta pada parameter hardening <i>triaxial</i> (Material Models, Manual PLAXIS v.20)	2-30
Gambar 3.1 (a) Plane strain; (b) Axisimetri (Brinkgreve R et al., 2019)	3-1
Gambar 3.2 <i>Project Properties</i> : (a); <i>Project</i> , (b) <i>Model</i> , (c) <i>Constants</i>	3-3
Gambar 3.3 Lembar kerja awal	3-4
Gambar 3.4 : (a) Pilihan menu pada <i>worksheet Soil</i> ; (b) <i>Material sets</i>	3-4
Gambar 3.5 Pilihan menu pada <i>worksheet Structures</i>	3-5
Gambar 3.6 : (a) Tingkat kekasaran mesh; (b) Pilihan menu pada <i>worksheet Mesh</i>	3-6
Gambar 3.7 Pilihan menu pada <i>worksheet Flow Condition</i>	3-7
Gambar 3.8 Pilihan menu pada <i>worksheet Staged Construction</i>	3-7

Gambar 3.9 : (a) Pilihan menu Deformation; (b) pilihan menu Stress.....	3-8
Gambar 4.1 <i>Index properties</i>	4-2
Gambar 4.2 <i>Compressibility</i>	4-3
Gambar 4.3 <i>Shear strength</i>	4-4
Gambar 4.4 <i>Modulus</i>	4-5
Gambar 4.5 Defleksi <i>diaphragm wall</i> pada pemodelan Program PLAXIS 2D.....	4-12
Gambar 4.6 Chart defleksi <i>diaphragm wall</i> metode Clough dan O'Rourke (1990)	4-13
Gambar 4.7 Potongan melintang terowongan dan galian.....	4-16
Gambar 4.8 <i>Initial condition</i>	4-17
Gambar 4.9 Pemasangan dinding terowongan	4-18
Gambar 4.10 (a) Kontraksi pada terowongan	4-19
Gambar 4.10 (b) Input nilai C_{ref} pada PLAXIS 2D	4-20
Gambar 4.11 Pemasangan <i>diaphragm wall</i> dan <i>sheet pile</i>	4-20
Gambar 4.12 (a) Galian dan <i>dewatering</i> pertama (<i>stage construction mode</i>)..	4-21
Gambar 4.12 (b) Galian dan <i>dewatering</i> pertama (<i>flow condition mode</i>).....	4-22
Gambar 4.13 Pemasangan pelat lantai pada elevasi -2,3 meter	4-22
Gambar 4.14 (a) . Galian dan <i>dewatering</i> kedua (<i>stage construction mode</i>)....	4-23
Gambar 4.14 (b) . Galian dan <i>dewatering</i> kedua (<i>flow condition mode</i>)	4-24
Gambar 4.15 Pemasangan pelat lantai pada elevasi -5,75 meter	4-24
Gambar 4.16 (a) . Galian dan <i>dewatering</i> ketiga (<i>stage construction mode</i>)....	4-25
Gambar 4.16 (b) . Galian dan <i>dewatering</i> ketiga (<i>flow condition mode</i>)	4-26
Gambar 4.17 (a) . Deformasi horizontal maksimum terowongan pada tiap tahap galian.....	4-27
Gambar 4.17 (b) . Deformasi vertikal maksimum terowongan pada tiap tahap galian.....	4-27
Gambar 4.18 Profil deformasi horizontal dan vertikal pada terowongan pada setiap tahapan galian [skala 1:200].....	4-28
Gambar 4.19 (a) . Hubungan antara besar momen lentur pada terowongan dengan tahapan galian.....	4-30

Gambar 4.19 (b). Hubungan antara besar gaya geser pada terowongan dengan tahapan galian	4-30
Gambar 4.19 (c). Hubungan antara besar gaya normal pada terowongan dengan tahapan galian	4-31
Gambar 4.20 Profil gaya dalam terowongan pada setiap tahapan galian	4-31
Gambar 4.21 (a). Desain tulangan pada dinding	4-32
Gambar 4.21 (b). Desain tulangan akhir pada dinding terowongan	4-34
Gambar 4.22 Defleksi maksimum pada <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-35
Gambar 4.23 Pola defleksi <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-36
Gambar 4.24 Profil defleksi <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian menggunakan bantuan Program PLAXIS 2D [skala 1:50]	4-38
Gambar 4.25 (a). Besar momen lentur <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-39
Gambar 4.25 (b). Besar gaya geser <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-39
Gambar 4.25 (c). Besar gaya normal <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-40
Gambar 4.26 (a). Profil dan besar gaya dalam <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian [skala 1:50]	4-40
Gambar 4.26 (b). Profil dan besar gaya dalam <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian [skala 1:50] (gambar lanjutan).....	4-41
Gambar 4.27 Sketsa geometri terowongan-galian pada kasus terowongan disamping galian.....	4-42
Gambar 4.28 (a). Contoh sketsa geometri kombinasi 1 kasus terowongan-galian	4-44
Gambar 4.28 (b). Contoh sketsa geometri kombinasi 30 kasus terowongan-galian	4-44
Gambar 4.29 (a). Grafik hubungan deformasi horizontal maksimum terowongan terhadap normalisasi kedalaman terowongan.....	4-47

Gambar 4.29 (b). Grafik hubungan deformasi horizontal maksimum terowongan terhadap normalisasi jarak terowongan ke tepi galian	4-47
Gambar 4.30 (a). Bentuk deformasi horizontal terowongan pada berbagai H_{tun-a}/H_{exc} dan L_{tun-a}/H_{exc} [skala 1:50]	4-49
Gambar 4.30 (b). Bentuk deformasi horizontal terowongan pada berbagai H_{tun-a}/H_{exc} dan L_{tun-a}/H_{exc} [skala 1:50] (gambar lanjutan)	4-50
Gambar 4.31 (a). Grafik hubungan deformasi vertikal maksimum terowongan terhadap normalisasi kedalaman terowongan	4-51
Gambar 4.31 (b). Grafik hubungan deformasi vertikal maksimum terowongan terhadap normalisasi jarak terowongan ke tepi galian	4-52
Gambar 4.32 Bentuk deformasi vertikal terowongan pada berbagai H_{tun-a}/H_{exc} dan L_{tun-a}/H_{exc} [skala 1:200] (gambar lanjutan)	4-54
Gambar 4.33 (a). Grafik hubungan defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> terhadap normalisasi kedalaman terowongan	4-55
Gambar 4.33 (b). Grafik hubungan defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> terhadap normalisasi jarak terowongan ke tepi galian	4-56
Gambar 4.34 (a). Bentuk defleksi <i>diaphragm wall</i> pada berbagai H_{tun-a}/H_{exc} dan L_{tun-a}/H_{exc} [skala 1;50]	4-58
Gambar 4.34 (b). Bentuk defleksi <i>diaphragm wall</i> pada berbagai H_{tun-a}/H_{exc} dan L_{tun-a}/H_{exc} [skala 1:50] (gambar lanjutan)	4-59
Gambar 4.35 Sketsa geometri terowongan-galian pada kasus terowongan dibawah dasar galian.....	4-60
Gambar 4.36 (a). Contoh sketsa geometri kombinasi 1 kasus terowongan-galian	4-60
Gambar 4.36 (b). Contoh sketsa geometri kombinasi 24 kasus terowongan-galian	4-60
Gambar 4.37 (a). Grafik hubungan deformasi horizontal maksimum terowongan terhadap normalisasi kedalaman terowongan	4-65
Gambar 4.37 (b). Grafik hubungan deformasi horizontal maksimum terowongan terhadap normalisasi jarak terowongan ke tepi galian	4-65

Gambar 4.38 Profil deformasi horizontal terowongan pada berbagai H_{tun-b}/H_{exc} dan L_{tun-b}/H_{exc} [skala 1:100].....	4-67
Gambar 4.39 (a). Grafik hubungan deformasi vertikal maksimum terowongan terhadap normalisasi kedalaman terowongan.....	4-68
Gambar 4.39 (b). Grafik hubungan deformasi vertikal maksimum terowongan terhadap normalisasi kedalaman terowongan.....	4-69
Gambar 4.40 Bentuk deformasi vertikal terowongan pada berbagai H_{tun-b}/H_{exc} dan L_{tun-b}/H_{exc} [skala 1:100].....	4-70
Gambar 4.41 (a). Grafik hubungan defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> terhadap normalisasi kedalaman terowongan.....	4-71
Gambar 4.41 (b). Grafik hubungan defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> terhadap normalisasi jarak terowongan ke tepi galian.....	4-72
Gambar 4.42 (a). Bentuk defleksi <i>diaphragm wall</i> pada berbagai H_{tun-b}/H_{exc} dan L_{tun-b}/H_{exc} [skala 1:50].....	4-74
Gambar 4.42 (b). Bentuk defleksi <i>diaphragm wall</i> pada berbagai H_{tun-b}/H_{exc} dan L_{tun-b}/H_{exc} [skala 1:50] (gambar lanjutan).....	4-75



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi kepadatan relatif (D_r) tanah pasir dengan nilai N_{SPT} (Terzaghi dan Peck).....	4-23
Tabel 4.1 Parameter tanah desain (<i>shear strength</i>)	4-7
Tabel 4.2 Parameter tanah desain (<i>Modulus</i>)	4-7
Tabel 4.3 Metode penentuan parameter desain (<i>shear strength</i>)	4-8
Tabel 4.4 Metode penentuan parameter desain (<i>Modulus</i>)	4-8
Tabel 4.5 Parameter <i>diaphragm wall</i>	4-9
Tabel 4.6 Parameter <i>Sheet pile</i>	4-9
Tabel 4.7 Parameter pelat lantai	4-10
Tabel 4.8 Parameter dinding terowongan.....	4-10
Tabel 4.9 Pemodelan material pada tiap jenis lapis tanah pada program PLAXIS 2D.....	4-11
Tabel 4.10 Tahapan konstruksi pada terowongan dan galian pada program PLAXIS	4-15
Tabel 4.11 Deformasi horizontal dan vertikal maksimum pada terowongan....	4-26
Tabel 4.12 Besar gaya dalam terowongan pada setiap tahapan galian.....	4-29
Tabel 4.13 Besar defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-35
Tabel 4.14 Gaya dalam <i>diaphragm wall</i> pada setiap tahapan galian	4-38
Tabel 4.15 Kombinasi jarak pusat terowongan ke tepi galian serta kedalaman terowongan dari permukaan tanah	4-43
Tabel 4.16 Deformasi maksimum terowongan dan defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i>	4-45
Tabel 4.17 Normalisasi H_{tun-a} dan L_{tun-a} terhadap H_{exc} serta besar deformasi horizontal maksimum terowongan	4-46
Tabel 4.18 Normalisasi H_{tun-a} dan L_{tun-a} terhadap H_{exc} serta deformasi vertikal maksimum terowongan	4-50
Tabel 4.19 Normalisasi H_{tun-a} dan L_{tun-a} terhadap H_{exc} serta defleksi maksimum <i>diaphragm wall</i>	4-55

Tabel 4.20 Kombinasi variasi jarak pusat terowongan ke tepi galian serta kedalaman terowongan dari dasar galian.....4-62

Tabel 4.21 Deformasi maksimum terowongan dan defleksi maksimum *diaphragm wall*4-63

Tabel 4.22 Normalisasi H_{tun-b} dan L_{tun-b} terhadap H_{exc} serta besar deformasi horizontal maksimum terowongan4-64

Tabel 4.23 Normalisasi H_{tun-b} dan L_{tun-b} terhadap H_{exc} serta besar deformasi vertikal maksimum terowongan4-68

Tabel 4. 24 Normalisasi H_{tun-b} dan L_{tun-b} terhadap H_{exc} serta defleksi maksimum *diaphragm wall*.....4-71



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Perkembangan infrastruktur yang terus meningkat di Indonesia membuat berbagai macam pekerjaan konstruksi bertambah banyak. Salah satu infrastruktur yang sering dijumpai dalam kota-kota besar adalah terowongan. Terowongan diperlukan sebagai jaringan transportasi umum yang biasa dibangun melalui perbukitan atau melalui bawah tanah. Di samping itu, pembangunan infrastruktur yang terus meningkat membuat pembangunan gedung-gedung tinggi berkembang pesat sehingga dibutuhkan galian untuk *basement* yang dapat berpengaruh pada kondisi terowongan *eksisting*. Ketika lokasi terowongan *eksisting* berada dekat dengan galian, maka umumnya terowongan akan bergerak menuju galian akibat hilangnya tegangan pada area sekitar galian (Sharma, J.S., 2001). Perilaku terowongan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti posisi relatif terowongan terhadap galian, kedalaman dan lebar galian, dimensi terowongan, kondisi pelapisan tanah, dan metode konstruksi yang digunakan pada galian (Zheng 2017).

Pada penelitian ini, digunakan pendekatan analisis Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*) dengan bantuan Program PLAXIS 2D v.20 dengan model material *Hardening Soil Model*. Output dari penelitian ini merupakan besaran deformasi terowongan *eksisting* akibat dilakukannya konstruksi galian di sekitar terowongan. Selain deformasi terowongan, besaran lainnya pun dianalisis seperti besar deformasi dinding diafragma pada galian dan gaya dalam terowongan serta dinding diafragma.

Parameter tanah desain yang digunakan dalam analisis diperoleh dari data sekunder hasil uji *in-situ* dan uji laboratorium pada sampel tanah di sekitar area galian. Adapun parameter-parameter tanah hasil uji lab dan uji *in-situ* yang dirasa kurang, maka akan dicari korelasi empiris yang paling logis dan konsisten untuk menentukan parameter desain. Untuk parameter elemen struktur seperti

terowongan, dinding diafragma, *sheet pile*, dan pelat lantai diperoleh dari data sekunder yang telah tersedia di lapangan.

1.2. Inti Permasalahan

Terowongan *Mass Rapid Transit* (MRT) Jakarta yang telah beroperasi dan akan dilakukan konstruksi galian di sekitarnya sehingga dapat menimbulkan pergerakan (deformasi) pada terowongan akibat pekerjaan galian.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku deformasi pada terowongan eksisting yang berada di sekitar area yang akan dilakukan konstruksi galian.

1.4. Lingkup Penelitian

Lingkup pada penelitian ini terdiri dari:

1. Penentuan pelapisan dan parameter tanah berdasarkan hasil uji lapangan, hasil uji laboratorium, serta korelasi empiris tanah di sekitar area galian.
2. Penentuan dimensi galian yang terdiri dari kedalaman galian (H_{exc}) dan lebar galian (L_{exc}), serta jarak horizontal antara pusat terowongan ke tepi galian (L_{tun}), dan kedalaman terowongan dari permukaan tanah serta dasar galian (H_{tun}).
3. Pemodelan galian, terowongan, dinding diafragma, pelat lantai, serta *sheet pile* menggunakan pendekatan Metode Elemen Hingga dengan bantuan Program PLAXIS 2D v.20

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari;

1. Studi Literatur
Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan data dari internet serta dari sumber lain yang bersifat ilmiah.
2. Pengumpulan Data
Data yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang akan diolah menjadi parameter desain.
3. Penentuan Input

Penentuan parameter tanah, terowongan, geometri galian, serta parameter elemen struktur yang berupa dinding diafragma, pelat beton, dan *sheet pile*.

4. Pemodelan dan Analisis

Pemodelan dan Analisis dilakukan dengan bantuan Program PLAXIS 2D v.20.

5. Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil analisis berupa besar defomasi pada terowongan akibat konstruksi galian di sekitar terowongan.

1.6. Sistematika Penulisan

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, inti permasalahan, tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, sistematika penulisan, serta diagram alir penelitian.

2. BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori serta konsep yang akan digunakan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah pelaksanaan penelitian menggunakan Program PLAXIS 2D v.20.

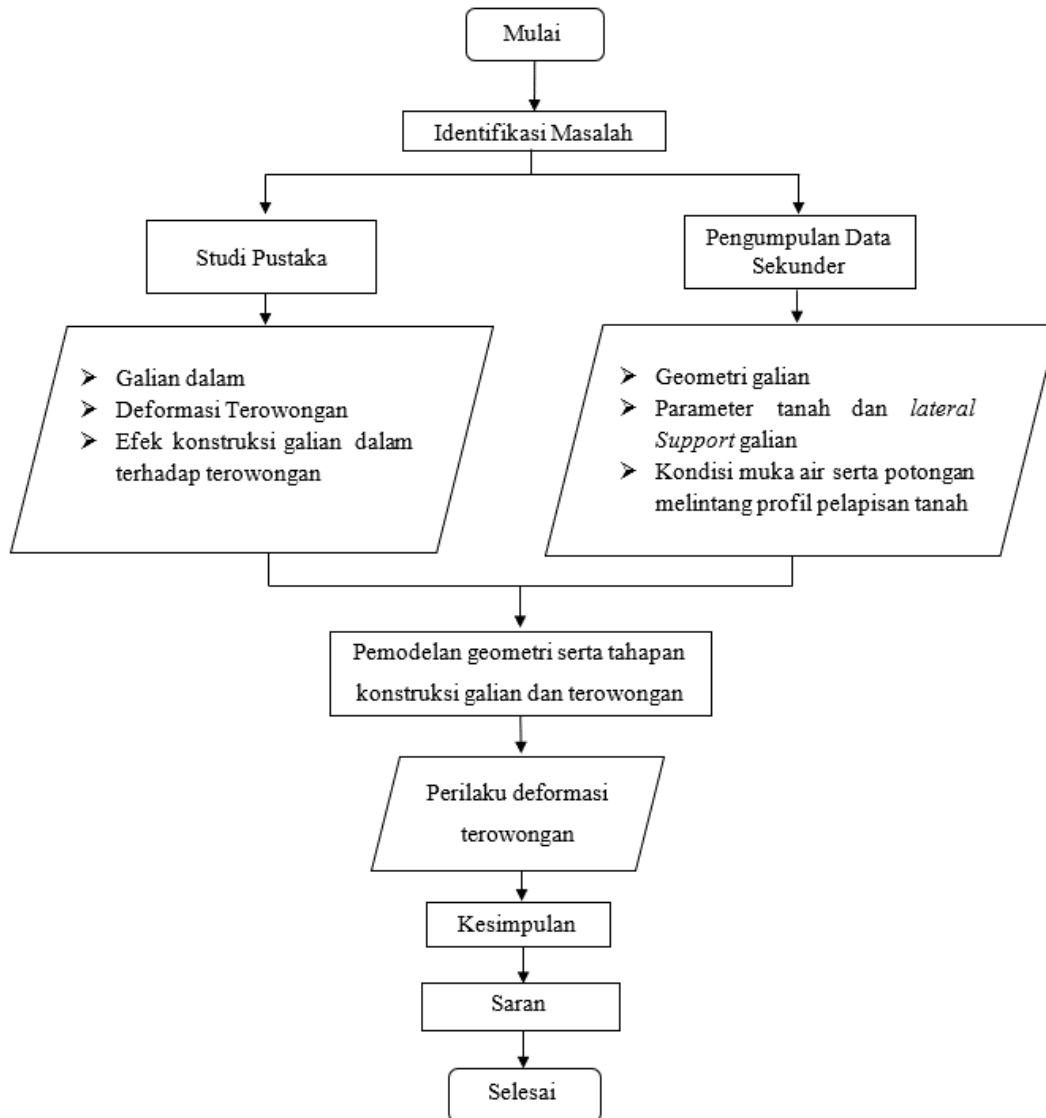
4. BAB 4 DATA DAN ANALISIS

Bab ini membahas tentang analisis serta pengolahan data yang diperoleh dari output Program PLAXIS 2D v.20.

5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

1.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

