

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK DEFORMASI
TEROWONGAN DI BAWAH *BASEMENT* GEDUNG**



**GILBERT CHANDRA
NPM : 2015410097**

PEMBIMBING: Aswin Lim, 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
JUNI 2019**

SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK DEFORMASI
TEROWONGAN DI BAWAH BASEMENT GEDUNG



GILBERT CHANDRA
NPM : 2015410097

BANDUNG, JUNI 2019
PEMBIMBING:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aswin', with a horizontal line underneath.

Aswin Lim, 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
JUNI 2019

PERNYATAAN

Surat yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Gilbert Chandra

NPM : 2015410097

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul: **Studi Karakteristik Deformasi Terowongan di Bawah Basement Gedung** adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 26 Juni 2019



Gilbert Chandra

2015410097

STUDI KARAKTERISTIK DEFORMASI TEROWONGAN DI BAWAH *BASEMENT* GEDUNG

**Gilbert Chandra
NPM: 2015410097**

Pembimbing: Aswin Lim, 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
JUNI 2019**

ABSTRAK

Terowongan merupakan suatu akses yang biasanya digunakan untuk digunakan sebagai jalur transportasi bawah tanah. Seiring dengan berkurangnya lahan, maka di kota-kota besar banyak gedung-gedung tinggi yang menggunakan *basement* sebagai lahan tambahan. *Basement* sendiri tentu membutuhkan suatu proses galian dalam, terowongan yang posisinya di bawah tanah dapat terganggu kestabilannya akibat galian dalam tersebut. Pada penelitian ini, peneliti ingin mengetahui karakteristik dari terowongan apabila posisi dari terowongan berada dekat di bawah galian dalam. Analisa dilakukan dengan metode elemen hingga yaitu program komputer PLAXIS 2D. Deformasi, gaya bidang momen, gaya lintang, dan gaya aksial merupakan komponen yang dianalisis dengan metode elemen hingga tersebut. Dari hasil analisis, dengan metode elemen hingga didapat bahwa jarak terowongan dengan dinding diafragma sebesar 4,025 m dan dengan galian dalam sebesar 4,025 m, 6,025 m, dan 8,025 m tidak aman karena memiliki besar deformasi maksimum lebih besar dari batas izin sebesar 20 mm oleh MOHURD, sedangkan terowongan yang memiliki jarak dengan dinding diafragma sebesar 11,3 m dan jarak dengan galian dalam sebesar 8,025 m dan 13,025 m cukup aman yaitu dengan memiliki besar deformasi maksimum lebih kecil dari 20 mm. Didapatkan juga besar momen lentur maksimum terowongan sebesar 244,4 kNm/m, gaya lintang maksimum terowongan sebesar 179,4 kN/m dan gaya aksial maksimum sebesar 1160 kN/m.

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

STUDY OF CHARACTERISTICS OF THE DEFORMATION OF TUNNELS UNDER THE BUILDING BASEMENT

Gilbert Chandra

NPM: 2015410097

Advisor: Aswin Lim, Ph.D.

**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

JUNE 2019

ABSTRACT

Tunnel is an access that is usually used to be used as an underground transportation route. As the available land gets smaller, in large cities many tall buildings use basements as additional land. Basement itself certainly requires a deep excavation process, tunnels that are underground can be disrupted due to the excavation. In this study, researchers wanted to know the characteristics of the tunnel if the position of the tunnel was near the bottom of the excavation. The analysis is done by the finite element method, namely the PLAXIS 2D computer program. Deformation, bending moment, shear force, axial force are components that are analyzed by the finite element method. From the results of the analysis, with the element method, it was found that the distance of the tunnel with the diaphragm wall was 4.025 m and with deep excavation of 4.025 m, 6.025 m and 8.025 m was not safe because it had a maximum deformation greater than the permit limit of 20 mm by MOHURD, while the tunnel has a distance from the diaphragm wall of 11.3 m and the distance with deep excavation of 8.025 m and 13.025 m is quite safe by having a maximum deformation smaller than 20 mm. Also obtained is the maximum tunnel bending moment of 244.4 kNm/m, the maximum tunnel latitude is 179.4 kN/m and the maximum axial force is 1160 kN/m.

Keywords: Tunnel, Deformation, Deep Excavation, Diaphragm Wall, Finite Element Method

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas cinta dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**STUDI KARAKTERISTIK KARAKTERISTIK DEFORMASI TEROWONGAN DI BAWAH BASEMENT GEDUNG**”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan jenjang pendidikan Strata 1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Penulis menyadari dalam menyusun skripsi ini telah terkendala banyak masalah. Namun berkat kritik, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak maka akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Aswin Lim, Ph.D. selaku dosen pembimbing dalam penyusunan skripsi ini yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, wawasan, serta masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Bapak Prof Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D., Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D., Ibu Anastasia Sri Lestari, Ir., MT., Ibu Siska Rustiani, Ir., M.T., dan Ibu Dr. Rinda Karlinasari, Ir., MT., selaku dosen yang memberikan saran dan kritik kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan lebih baik;
3. Irawan Chandra, Giam Mie Loe, dan Caroline Chandra selaku keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan semangat terutama doa tiada henti sehingga penulis tetap semangat dalam pengerjaan skripsi ini;
4. Levina Wirawan yang telah memberikan dukungan moral dan semangat serta doa bagi penulis dalam mengerjakan skripsi;
5. Andreas Benito, Cornelius Georgeshua, Alexander Gunawan, Evan Darian, Aldy Widjaja, David Kristian, Randy Wangsawihardja, Yohannes Suryadinata, Dea Ayu, Stanley Indrajaya, sebagai sahabat seperjuangan skripsi yang mengambil skripsi di bidang Geoteknik yang telah berbagi suka dan duka serta ilmu maupun bantuan selama proses

asistensi dan penulisan skripsi yang telah berjuang bersama selama menyusun skripsi ini;

6. Seluruh teman – teman angkatan 2015 yang telah bersama penulis dari awal semester perkuliahan di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan baik yang sudah lulus terlebih dahulu maupun yang belum selesai berjuang mendapatkan gelar S.T. pada semester ini;
7. Serta pihak – pihak yang membantu secara langsung dan tidak langsung yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat serta menambah wawasan bagi pihak yang membacanya.

Bandung, Juni 2019



Gilbert Chandra

2015410097

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Bagian Pendahuluan	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-2
1.4 Lingkup Penelitian	1-2
1.5 Metode Penelitian.....	1-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-3
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	1-5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 Dinding Penahan Tanah	2-1
2.2 Metode Galian	2-11
2.3 Terowongan.....	2-24
2.3.1. Persyaratan Dinding Terowongan	2-25
2.3.2. Pengaruh Konstruksi Struktur yang Berdekatan.....	2-25
2.3.3. Pengamatan Deformasi Terowongan.....	2-26
2.4 Hardening Soil Model	2-26

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	3-1
3.1 Metode Elemen Hingga Pada Program Komputer PLAXIS 2D.....	3-1
3.1.1. Analisis Menggunakan PLAXIS 2D.....	3-2
3.1.2. Create Borehole.....	3-2
3.1.3. Material Sets.....	3-3
3.1.4. Create Tunnel	3-3
3.1.5. Create Plate	3-3
3.1.6. Interface Elements.....	3-3
3.1.7. Mesh.....	3-3
3.1.8. Variasi Model.....	3-4
BAB 4 ANALISIS DATA.....	4-1
4.1 Deskripsi Proyek.....	4-1
4.2 Analisa Menggunakan Metode Elemen Hingga	4-2
4.2.1. Penentuan Parameter Tanah	4-3
4.2.2. Penentuan Parameter Dinding Diafragma.....	4-7
4.2.3. Penentuan Parameter Pelat Lantai Beton	4-7
4.2.4. Penentuan Parameter Dinding Terowongan.....	4-8
4.2.5. Verifikasi Model	4-8
4.2.6. Tahapan Konstruksi Galian Dalam	4-10
4.2.7. Simulation Plan	4-15
4.2.8. Hasil Analisis Deformasi Terowongan Dengan Menggunakan Program Komputer PLAXIS 2D	4-16
4.2.9. Hasil Analisis Gaya Dalam Terowongan Dengan Menggunakan Program Komputer PLAXIS 2D	4-21
4.2.10. Kapasitas Momen Terowongan.....	4-28
4.2.11. Hasil Analisis Besar Deformasi Dinding Penahan Tanah Dengan Menggunakan Program Komputer PLAXIS 2D	4-30

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran.....	5-1
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii

DAFTAR NOTASI

EI	: Kekakuan Fleksibel Material
SPT	: <i>Standard Penetration Test</i>
γ	: Berat Isi Tanah
K_0	: Koefisien Tekanan Tanah Kondisi Awal
S_u	: Kuat Gesert Tanah Tak Teralir
E_{50}	: Modulus Elastisitas Tanah <i>Secant Stiffness</i>
E_{50}^{ref}	: Referensi Modulus Elastisitas Tanah <i>Secant Stiffness</i>
E_{oed}^{ref}	: Referensi Modulus Elastisitas Tanah <i>Oedometer</i>
m	: <i>Power</i>
ν	: Angka <i>Poisson's</i>
f'_c	: Mutu Beton
d	: Ketebalan Material
E	: Modulus Elastisitas
w	: Berat Isi
H_e	: Kedalaman Galian
H_t	: Kedalaman Terowongan Dari Permukaan Tanah
L_t	: Jarak Horisontal Terowongan Terhadap Dinding Diafragma
PL	: Batas Plastis
LL	: Batas Cair
w	: Kadar Air
CPT	: <i>Cone Penetration Test</i>
q_c	: Tekanan Ujung Konus
f_s	: <i>Skin Friction</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Studi	1-5
Gambar 2.1 Jenis Dinding Penahan Tanah : (a) Gravity Wall ; (b) Semi Gravity Wall; (c) Cantilever Wall; (d) Counterfort Retaining Wall; (e) Crib Wall; (f) Reinforced Retaining Wall (Hardiyatmo 2014).....	2-3
Gambar 2.2 Proses Penggalian Dengan Metode The Masago Hydraulic Long Bucket (HML) Method (Ou 2006).....	2-4
Gambar 2.3 Prosedur konstruksi dari panel dinding diafragma: (a) Konstruksi Guided Wall; (b) Proses Penggalian; (c) Pemasangan Tulangan Baja; (d) Proses Pengecoran (Ou 2006).....	2-4
Gambar 2.4 Proses Konstruksi Dinding Diafragma: (a) Proses Penggalian; (b) Pemasangan Steel Pipe; (c) Pemasangan Rangkaian Tulangan Baja; (d) Proses Pengecoran (Ou 2006).....	2-5
Gambar 2.5 Bentuk-bentuk susunan turap kayu (Hardiyatmo 2014).....	2-7
Gambar 2.6 Turap Beton (Hardiyatmo 2014)	2-7
Gambar 2.7 Turap Baja (Hardiyatmo 2014).....	2-8
Gambar 2.8 Dinding turap kantilever (Hardiyatmo 2014)	2-8
Gambar 2.9 Dinding turap diangker (Hardiyatmo 2014)	2-9
Gambar 2.10 Dinding Turap Dengan Landasan (Platform) (Hardiyatmo 2014)	2-10
Gambar 2.11 Bendungan Elak Seluler (Hardiyatmo 2014).....	2-10
Gambar 2.12 Slope Open Cut Method (Ou 2006).....	2-12
Gambar 2.13 Cantilevered Open Cut Method (Ou 2006)	2-13
Gambar 2.14 Braced Excavation Method: (a) Potongan dan (b) Denah (Ou 2006)	2-13
Gambar 2.15 Braced Excavation Method (Ou 2006).....	2-14
Gambar 2.16 Detail Bagian Jangkar Pada Anchored Excavation Method (Ou 2006)	2-16
Gambar 2.17 Masalah M.A.T Tinggi Pada Granular Soils (Ou 2006).....	2-17
Gambar 2.18 Island Excavation Method (Ou 2006).....	2-18
Gambar 2.19 Denah Island Excavation Method (Ou 2006)	2-18
Gambar 2.20 Island Excavation Method Dengan Strut Tunggal (Ou 2006)....	2-19

Gambar 2.21 Island Excavation Method Dengan Multiple Level Struts (Ou 2006)	2-19
Gambar 2.22 Top-Down Construction Method (Ou 2006)	2-22
Gambar 2.23 Deformasi Dinding Penahan Pada Daerah Galian (Ou 2006)	2-23
Gambar 2.24 Daerah-Daerah Pada Zoned Excavation Method (Ou 2006)	2-23
Gambar 2.25 Bentuk Dinding Terowongan (JSCE 2007)	2-25
Gambar 2.26 Hubungan Hiperbolik Stress-strain pada hasil uji triaxial (Material Models Manual PLAXIS 2017)	2-27
Gambar 2.27 Lokasi leleh berturut-turut untuk beberapa konstanta pada parameter hardening	2-28
Gambar 3.1 Model Profil Tanah Keseluruhan Pada Program PLAXIS 2D	3-2
Gambar 4.1 Denah Lokasi Proyek Galian Dalam di Jakarta Pusat, Indonesia (Hsiung et al, 2018)	4-1
Gambar 4.2 Foto Kondisi Eksisting Proyek Galian Dalam (Hsiung et al 2018)	4-2
Gambar 4.3 Profil Tanah Galian (Hsiung et al 2018)	4-2
Gambar 4.4 Profil Uji Bor (a) Water Content, Plastic Limit, Liquid Limit, (b) Sand Content, (c) Fine Content, (d) Void Ratio. (Hsiung et al, 2018)	4-4
Gambar 4.5 Profil Uji Bor (a) SPT-N, (b) CPT-cone resistance; (c) CPT-friction resistance; dan (d) Shear Wave Velocity (Hsiung et al, 2018)	4-4
Gambar 4.6 Undrained Shear Strength With Depth (Hsiung et al, 2018)	4-5
Gambar 4.7 Besar Wall Deformation Sebagai Validasi Model (Hsiung et al 2018)	4-9
Gambar 4.8 Wall Deformation Model Pada Program Plaxis 2D Sebagai Validasi Model	4-10
Gambar 4.9 Initial Condition Pada Tahapan Konstruksi Program Plaxis 2D	4-10
Gambar 4.10 Install Diaphragm Wall Pada Tahapan Konstruksi Program Plaxis 2D	4-11
Gambar 4.11 Tahapan Galian Pertama Hingga Kedalaman -1.5 m Pada Tahapan Konstruksi Program Plaxis 2D	4-11
Gambar 4.12 Tahapan Pemasangan Pelat Lantai Pertama Pada Elevasi 0,0 Pada Tahapan Konstruksi	4-12

Gambar 4.13 Tahapan Galian Kedua Hingga Kedalaman -5,08 Pada Tahapan Konstruksi	4-12
Gambar 4.14 Tahapan Pemasangan Pelat Lantai Kedua Pada Elevasi -4,18 Tahapan Konstruksi	4-13
Gambar 4.15 Tahapan Galian Ketiga Hingga Kedalaman -11,18 Pada Tahapan Konstruksi	4-13
Gambar 4.16 Tahapan Pemasangan Pelat Lantai Ketiga Pada Tahapan Konstruksi	4-14
Gambar 4.17 Tahapan Galian Keempat Hingga Kedalaman -17,53 Pada Tahapan Konstruksi	4-14
Gambar 4.18 Tahapan Galian Akhir Hingga Kedalaman -18,93 Pada Tahapan Konstruksi	4-15
Gambar 4.19 Tahapan Pemasangan Pelat Lantai Akhir Pada Tahapan Konstruksi	4-15
Gambar 4. 20 Scenario Plan Pada Pemodelan Dengan Menggunakan Program PLAXIS 2D	4-16
Gambar 4.21 Kurva Hubungan Deformasi Terowongan Dengan Tahapan Galian Dengan Posisi Terowongan Terluar Berjarak 1m Dari Diafragma Wall	4-17
Gambar 4.22 Deformasi Yang Terjadi Pada Terowongan Pada Kondisi Lt = 4,025 m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m...	4-18
Gambar 4.23 Kurva Hubungan Deformasi Terowongan Dengan Tahapan Galian Dari Awal Hingga Akhir	4-19
Gambar 4.24 Deformasi Yang Terjadi Pada Terowongan Pada Kondisi Lt = 11,3 m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m...	4-20
Gambar 4.25 Kurva Hubungan Besar Deformasi Horizontal Maksimum Dengan Jarak Terowongan Dari Galian	4-20
Gambar 4.26 Kurva Hubungan Deformasi Vertikal Maksimum Dengan Jarak Terowongan Dari Galian	4-21
Gambar 4.27 Kurva Hubungan Gaya Dalam Momen Maksimum Dengan Jarak Terowongan Dari Galian	4-23
Gambar 4.28 Gaya Dalam Bidang Momen Pada Terowongan Dengan Lt = 4,025 m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m...	4-24

Gambar 4.29 Gaya Dalam Bidang Momen Pada Terowongan Dengan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-24
Gambar 4.30 Kurva Hubungan Gaya Lintang Maksimum Dengan Jarak Terowongan Dari Galian	4-25
Gambar 4.31 Gaya Dalam Lintang Pada Terowongan Dengan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-26
Gambar 4.32 Gaya Dalam Lintang Pada Terowongan Dengan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-26
Gambar 4.33 Kurva Hubungan Gaya Aksial Maksimum Dengan Jarak Terowongan Dari Galian	4-27
Gambar 4.34 Gaya Dalam Aksial Pada Terowongan Dengan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-28
Gambar 4.35 Gaya Dalam Aksial Pada Terowongan Dengan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-28
Gambar 4.36 Kurva Hubungan Besar Deformasi Horizontal Pada Posisi Jarak Terowongan Dengan Dasar Galian Yang Berbeda-beda Dengan $L_t = 4,025$ m	4-31
Gambar 4.37 Deformasi Yang Terjadi Pada DPT Pada Kondisi Terowongan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-32
Gambar 4.38 Kurva Hubungan Besar Deformasi Horizontal Pada Posisi Jarak Terowongan Dengan Dasar Galian Yang Berbeda-beda Dengan $L_t = 11,3$ m	4-33
Gambar 4.39 Deformasi Yang Terjadi Pada DPT Pada Kondisi Terowongan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-34
Gambar 4.40 Kurva Hubungan Besar Deformasi Maksimum DPT Terhadap Jarak Terowongan Dari Dasar Galian	4-35
Gambar 4.41 Kurva Hubungan Momen Lentur Maksimum DPT Dengan Jarak Terowongan Dari Dasar Galian	4-36
Gambar 4.42 Gaya Dalam Bidang Momen Pada DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m	4-37

- Gambar 4.43** Gaya Dalam Bidang Momen Pada DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m..... 4-38
- Gambar 4.44** Kurva Hubungan Gaya Lintang Maksimum DPT Dengan Jarak Terowongan Dari Dasar Galian 4-38
- Gambar 4.45** Gaya Dalam Lintang Pada DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m 4-39
- Gambar 4.46** Gaya Dalam Lintang Pada DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m 4-40
- Gambar 4.47** Kurva Hubungan Gaya Aksial Maksimum DPT Dengan Jarak Terowongan Dari Dasar Galian 4-40
- Gambar 4.48** Gaya Dalam Aksial DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 4,025$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m..... 4-41
- Gambar 4.49** Gaya Dalam Aksial DPT Dengan Posisi Terowongan $L_t = 11,3$ m dan kedalaman (Ht): (a) 4,025 m; (b) 6,025 m; (c) 8,025 m; (d) 13,025 m..... 4-42

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter Tanah yang Digunakan Dalam Program PLAXIS 2D (Hsiung et al 2018).....	4-6
Tabel 4.2 Parameter Dinding Diafragma Pada Plaxis 2D	4-7
Tabel 4.3 Parameter Pelat Beton Pada Plaxis 2D.....	4-7
Tabel 4.4 Parameter Dinding Terowongan	4-8
Tabel 4.5 Scenario Plan.....	4-16
Tabel 4.6 Besar deformasi maksimum terowongan dengan jarak lapisan terluar terowongan dengan dinding DPT sebesar 1m.....	4-17
Tabel 4.7 Besar deformasi maksimum terowongan dengan posisi terowongan pada tengah galian	4-18
Tabel 4.8 Besar Gaya Dalam Terowongan Maksimum	4-22
Tabel 4.9 Besar Gaya Dalam Terowongan Maksimum	4-22
Tabel 4.10 Besar Deformasi Horizontal Dinding Diafragma Pada Posisi $L_t = 4,025$ m.....	4-30
Tabel 4.11 Besar Deformasi Horizontal Dinding Diafragma Pada Posisi $L_t = 11,3$ m.....	4-32
Tabel 4.12 Besar Gaya Dalam Dinding Penahan Tanah Dengan $L_t = 4,025$ m.	4-35
Tabel 4.13 Gaya Dalam Dinding Penahan Tanah Dengan $L_t = 11,3$ m.....	4-36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1-1 Deformasi Total Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m ...	L1-1
Lampiran 1-2 Deformasi Total Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m ...	L1-1
Lampiran 1-3 Deformasi Total Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m ...	L1-2
Lampiran 1-4 Deformasi Total Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m .	L1-2
Lampiran 1-5 Deformasi Total Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m	L1-3
Lampiran 1-6 Deformasi Total Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m	L1-3
Lampiran 1-7 Deformasi Total Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m	L1-4
Lampiran 1-8 Deformasi Total Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m ...	L1-4
Lampiran 1-9 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m	L1-5
Lampiran 1-10 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.	L1-5
Lampiran 1-11 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m	L1-6
Lampiran 1-12 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht =13,025 m	L1-6
Lampiran 1-13 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht =4,025 m	L1-7
Lampiran 1-14 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht =6,025 m	L1-7
Lampiran 1-15 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht =8,025 m	L1-8
Lampiran 1-16 Deformasi Horizontal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht =13,025 m L1-8	
Lampiran 1-17 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m	L1-9
Lampiran 1-18 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m	L1-9
Lampiran 1-19 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m	L1-10

Lampiran 1-20 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m	L1-10
Lampiran 1-21 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m..	L1-11
Lampiran 1-22 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m..	L1-11
Lampiran 1-23 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m..	L1-12
Lampiran 1-24 Deformasi Vertikal Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m	L1-12
Lampiran 2-1 Momen Lentur Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L2-1
Lampiran 2-2 Momen Lentur Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L2-1
Lampiran 2-3 Momen Lentur Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m.....	L2-2
Lampiran 2-4 Momen Lentur Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m...	L2-2
Lampiran 2-5 Momen Lentur Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m.....	L2-3
Lampiran 2-6 Momen Lentur Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m.....	L2-3
Lampiran 2-7 Momen Lentur Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m.....	L2-4
Lampiran 2-8 Momen Lentur Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m.....	L2-4
Lampiran 2-9 Gaya Lintang Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L2-5
Lampiran 2-10 Gaya Lintang Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L2-5
Lampiran 2-11 Gaya Lintang Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m.....	L2-6
Lampiran 2-12 Gaya Lintang Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m...	L2-6
Lampiran 2-13 Gaya Lintang Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m.....	L2-7
Lampiran 2-14 Gaya Lintang Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m.....	L2-7
Lampiran 2- 15 Gaya Lintang Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m.....	L2-8
Lampiran 2- 16 Gaya Lintang Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m....	L2-8
Lampiran 2-17 Gaya Aksial Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L2-9
Lampiran 2-18 Gaya Aksial Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L2-9
Lampiran 2- 19 Gaya Aksial Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m....	L2-10
Lampiran 2- 20 Gaya Aksial Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m..	L2-10
Lampiran 2-21 Gaya Aksial Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m.....	L2-11
Lampiran 2-22 Gaya Aksial Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m.....	L2-11

Lampiran 2- 23 Gaya Aksial Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m.....	L2-12
Lampiran 2- 24 Gaya Aksial Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m.....	L2-12
Lampiran 3- 1 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m	L3-1
Lampiran 3- 2 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m	L3-1
Lampiran 3- 3 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m	L3-2
Lampiran 3- 4 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m	L3-2
Lampiran 3- 5 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m	L3-3
Lampiran 3- 6 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m	L3-3
Lampiran 3- 7 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m	L3-4
Lampiran 3- 8 Deformasi Maksimum Horizontal DPT Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m	L3-4
Lampiran 3- 9 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m	L3-5
Lampiran 3- 10 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m	L3-5
Lampiran 3- 11 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m	L3-6
Lampiran 3- 12 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m	L3-6
Lampiran 3- 13 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m	L3-7
Lampiran 3- 14 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m	L3-7
Lampiran 3- 15 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m	L3-8

Lampiran 3- 16 Momen Lentur Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 13,025 m	L3-8
Lampiran 3- 17 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L3-9
Lampiran 3- 18 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L3-9
Lampiran 3- 19 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L3-10
Lampiran 3- 20 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L3-10
Lampiran 3- 21 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L3-11
Lampiran 3- 22 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L3-11
Lampiran 3- 23 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m.....	L3-12
Lampiran 3- 24 Gaya Lintang Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m.....	L3-12
Lampiran 3- 25 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 4,025 m.....	L3-13
Lampiran 3- 26 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 6,025 m.....	L3-13
Lampiran 3- 27 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 8,025 m.....	L3-14
Lampiran 3- 28 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 4,025 m & Ht = 13,025 m.....	L3-14
Lampiran 3- 29 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 4,025 m.....	L3-15
Lampiran 3- 30 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 6,025 m.....	L3-15
Lampiran 3- 31 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt = 11,3 m & Ht = 8,025 m.....	L3-16

Lampiran 3- 32 Gaya Aksial Dinding Penahan Tanah Dengan Terowongan Lt =
11,3 m & Ht = 8,025 mL3-16

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Bagian Pendahuluan

Jakarta merupakan kota dengan penduduk terbesar di Negara Republik Indonesia. Dengan jumlah penduduk yang semakin bertambah seiring dengan pertumbuhan ekonomi dari kota tersebut dan terbatasnya jaringan transportasi umum, maka penambahan jaringan transportasi bawah tanah diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut yang tentunya sangat dipengaruhi oleh galian dalam yang posisinya berdekatan dengan jalur bawah tanah tersebut. Kereta bawah tanah merupakan salah satu pilihan yang digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan kemacetan di kota-kota besar. Ketika lokasi terowongan berdekatan dengan galian, maka umumnya terowongan akan bergerak *horizontal* menuju galian *basement* akibat *stress relief* (Sharma, J.S., 2001). Perilaku terowongan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti posisi relatif terowongan untuk penggalian, kedalaman penggalian, deformasi penahan struktur, kondisi tanah, dan metode konstruksi yang digunakan (Zheng, 2017).

Parameter tanah yang akan digunakan sebagai analisis merupakan tanah lempung yang diambil dari parameter tanah di Jakarta Pusat serta metode konstruksi dari galian yang digunakan adalah *top-down*. Parameter dan kondisi tanah yang didapat merupakan hasil uji tanah *in situ*, dan uji laboratorium, sedangkan parameter untuk terowongan yang akan digunakan untuk analisis yaitu pada terowongan *Mass Rapid Transit (MRT)* yang berada di daerah Jakarta.

Dikarenakan banyaknya proyek pembangunan gedung tinggi yang umumnya menggunakan pondasi ataupun membutuhkan *basement*, proses dari pembuatan gedung tersebut tentunya akan diawali dengan proses penggalian yang cukup dalam. Galian dalam tersebut bila posisinya berdekatan dengan terowongan yang sudah ada di bawah maupun di samping galian maka galian tersebut akan mempengaruhi posisi dari terowongan yang sudah ada.

Dalam pemodelan ini, akan menggunakan *finite element method (FEM)* menggunakan *Hardening Soil model*, mempunyai keakuratan yang baik dalam menganalisis memprediksi deformasi dari terowongan dan pergerakan tanah.

Dengan menggunakan *Hardening Soil model*, deformasi dari dinding penahan tanah pada tahap penggalian terakhir akan memiliki nilai yang berdekatan dengan keadaan aslinya, tetapi akan memiliki nilai yang lebih besar pada tahap penggalian lainnya (Aswin Lim, 2010)

1.2 Inti Permasalahan

Terowongan *Mass Rapid Transit (MRT)* yang telah dibangun pemerintah saat ini di daerah Jakarta khususnya di bawah tanah sudah memiliki posisi yang tetap. Pekerjaan galian yang dilaksanakan pada lokasi pembangunan yang berdekatan dan tepat di atas terowongan *Mass Rapid Transit (MRT)* dapat mempengaruhi posisi dari terowongan tersebut. Maka dari itu analisis yang dilakukan mengenai reaksi terowongan akibat pekerjaan galian dalam menggunakan pemodelan metode elemen hingga dengan aplikasi Plaxis 2D.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini mengetahui karakteristik deformasi terowongan akibat galian dalam yang berada di atas terowongan dengan pemodelan dengan menggunakan PLAXIS 2D.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian pada penelitian ini terdiri dari:

1. Penentuan jenis tanah dan parameter tanah berdasarkan hasil uji lapangan dan hasil uji laboratorium, dan analisa balik kasus galian di Jakarta Pusat;
2. Pemodelan terowongan, dinding diafragma dan lempengan beton bertulang menggunakan elemen hingga;
3. Metode galian *top-down* yang digunakan untuk pemodelan pekerjaan galian dalam;
4. Faktor-faktor yang dipertimbangkan menentukan deformasi terowongan yaitu kedalaman galian (H_g), kedalaman terowongan terhadap permukaan tanah (H_t), dan jarak horizontal terowongan terhadap dinding diafragma (L_t);
5. Pemodelan desain pada program menggunakan kondisi "*plane strain*".

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi Pustaka

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan literatur sebagai acuan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan sebagai bahan penelitian berupa data sekunder.

3. Analisis

Analisis dilakukan untuk mendesain galian dalam yang berada di atas terowongan yang sudah ada pada jarak tertentu, mengetahui deformasi dari terowongan pada posisi yang telah ditentukan akibat galian tersebut.

4. Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 2D sebagai uji coba pengaplikasian galian dalam terhadap terowongan.

5. Interpretasi Hasil

Menyimpulkan hasil pemodelan yang telah disimulasikan beserta besar deformasi yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini mencakup:

BAB 1 PENDAHULUAN terdiri dari latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

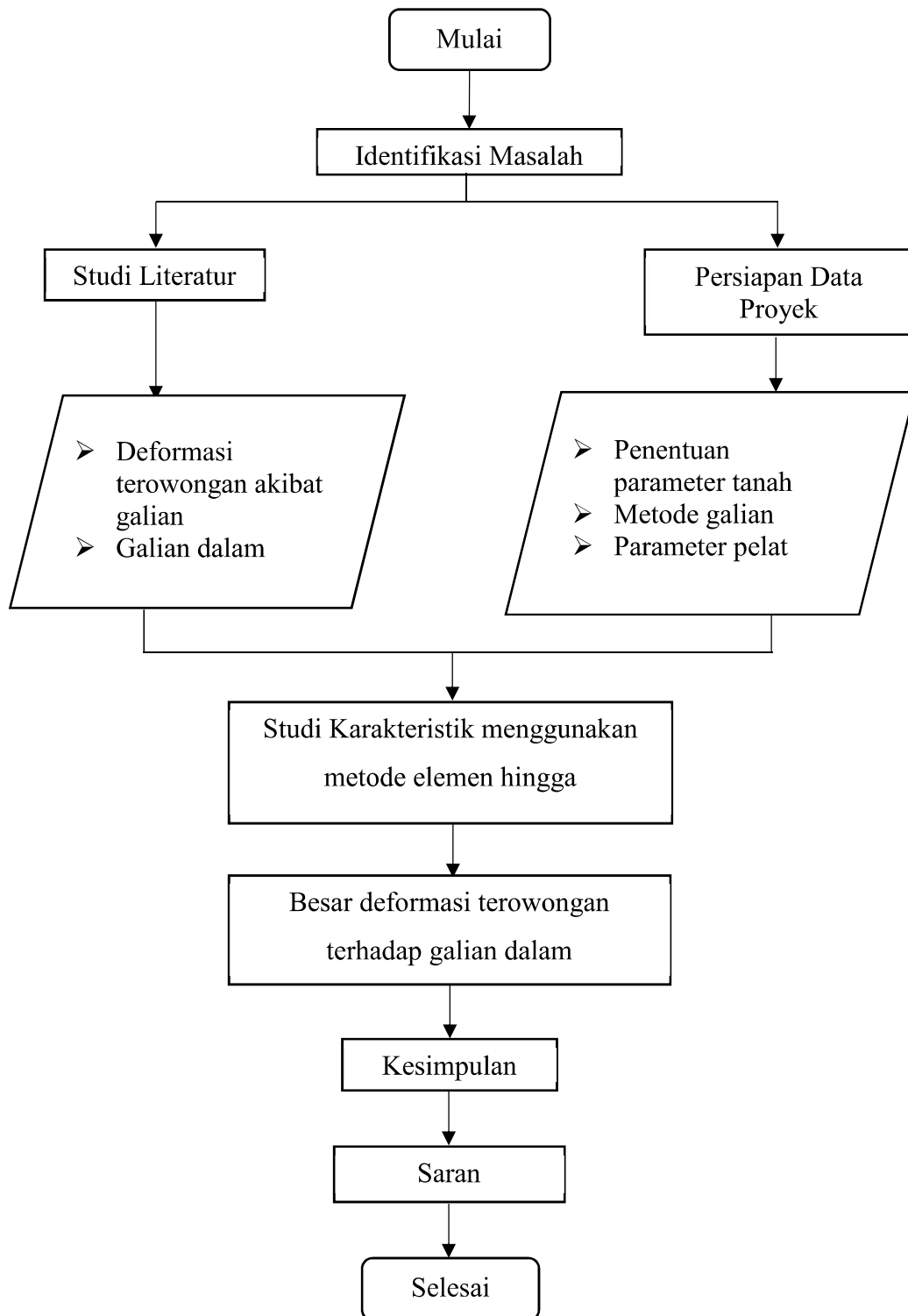
BAB 2 STUDI PUSTAKA berisi pemaparan literatur mengenai parameter daya dukung tanah, metode galian, struktur dinding penahan tanah, parameter dimensi dan material dari terowongan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN membahas tentang metode kerja yang akan digunakan dalam penelitian meliputi besar deformasi yang akan terjadi pada terowongan yang berada di bawah galian yang di modelkan pada posisi yang berbeda-beda.

BAB 4 DATA DAN ANALISIS DATA membahas tentang hasil penelitian besar deformasi terowongan yang telah dimodelkan pada arah horizontal dan vertikal pada posisi terowongan yang berbeda-beda.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN berisi tentang kesimpulan dari hasil analisis yang telah diperoleh beserta saran yang diperuntukkan untuk penelitian lebih lanjut.

1.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.1 Diagram Alir Studi