

SKRIPSI

ANALISIS PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN METODE KONSTRUKSI *MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE*. STUDI KASUS: TANAH LEMPUNG DI TIANJIN, CHINA



HARDIANSYAH

NPM: 2017410127

PEMBIMBING: Ir. Siska Rustiani Irawan, M.T.

Ko-PEMBIMBING: Ryan Alexander Lyman, 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

AGUSTUS 2021

SKRIPSI

ANALISIS PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN METODE KONSTRUKSI *MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE*. STUDI KASUS: TANAH LEMPUNG DI TIANJIN, CHINA



HARDIANSYAH

NPM: 2017410127

PEMBIMBING : Ir. Siska Rustiani Irawan, M.T.

Ko-PEMBIMBING : Ryan A. Lyman, S.T., M.T.

PENGUJI 1 : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.

PENGUJI 2 : Dr. Ir. Rinda Karlinasari Indrayana, 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

AGUSTUS 2021

PERNYATAAN

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

Nama : **Hardiansyah**

NPM : **2017410127**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi~~*) dengan judul:

ANALISIS PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN METODE KONSTRUKSI *MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE*. STUDI KASUS: TANAH LEMPUNG DI TIANJIN, CHINA

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: 7 Juni 2021



Hardiansyah

2017410127

*) coret yang tidak perlu

**ANALISIS PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN METODE
KONSTRUKSI *MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE*.
STUDI KASUS: TANAH LEMPUNG DI TIANJIN, CHINA**

**Hardiansyah
NPM: 2017410127**

**Pembimbing: Siska Rustiani Irawan, I.r., M.T.
Ko-Pembimbing: Ryan Alexander Lyman, 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
AGUSTUS 2021**

ABSTRAK

Galian dalam merupakan salah satu pemanfaatan ruang vertikal pada daerah padat penduduk. Pemilihan metode konstruksi galian dalam dapat memberikan pengaruh terhadap besarnya deformasi disekitar area galian. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perilaku deformasi galian dalam dengan metode konstruksi *multi-bench retained structure* di setiap tahapan penggalian dan pengaruh proses pembangunan terowongan terhadap perilaku deformasi galian eksisting dengan berbagai variasi posisi pembangunan pada lapisan tanah lempung di daerah Tianjin, China. Analisis perilaku deformasi galian menggunakan metode simplifikasi (perhitungan tangan) dan metode elemen hingga yang dibantu perangkat lunak PLAXIS 2D versi 20. Hasil analisis didapat bahwa perilaku deformasi galian dengan metode konstruksi *multi-bench retained structure* dapat didekati dengan metode simplifikasi dan metode elemen hingga. Hasil studi parametrik karakteristik perilaku deformasi galian eksisting terhadap pembangunan terowongan memperlihatkan bahwa semakin jauh posisi terowongan dari dinding galian maka pengaruhnya terhadap deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil, hal yang sama terjadi ketika terowongan dibangun semakin jauh dari permukaan tanah ditinjau.

Kata Kunci: Galian Dalam, *Multi-Bench Retained Structures*, Deformasi, Dinding Penahan Tanah, Metode Simplifikasi, Metode Elemen Hingga, Terowongan

BEHAVIOUR ANALYSIS OF DEEP EXCAVATION WITH MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE SYSTEM. A CASE STUDY: CLAY SOIL AT TIANJIN, CHINA

Hardiansyah
NPM: 2017410127

Advisor: Siska Rustiani Irawan, I.r., M.T.
Co-Advisor: Ryan Alexander Lyman, 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
AUGUST 2021

ABSTRACT

Deep excavation is one of the solutions for vertical space utilization in an urban area. Construction method selection for deep excavation will affect soil surface deformation around the excavation area. This research is intended to know the deformation behavior of deep excavation with multi-bench retained structure excavation method in every excavation stage and to analyze the influence of tunnel construction against deformation of existing excavation in clay at Tianjin, China. Deformation analysis uses the simplification method (hand calculation) and the finite element method with help from the software Plaxis 2D 20th version. Analyze result shows the field deformation can be approached by simplification method dan finite element method. Parametric study of characteristic results shows the further the tunnel is built from the retaining wall, the influence for the deformation of existing excavation getting smaller and same results showed if the further the tunnel is built from the soil surface.

Keyword: Deep Excavation, Multi-Bench Retained Structures, Deformation, Retaining Wall, Simplification Method, Finite Element Method, Tunnel

PRAKATA

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi yang berjudul “ANALISIS PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN METODE KONSTRUKSI *MULTI-BENCH RETAINED STRUCTURE*. STUDI KASUS: TANAH LEMPUNG DI TIANJIN, CHINA”. Skripsi ini adalah salah satu syarat akademik dalam penyelesaian studi tingkat sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyelesaian penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan, saran dan kritik dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Siska Rustiani Irawan, I.r., M.T. selaku pembimbing dan Bapak Ryan Alexander Lyman, S.T., M.T. selaku ko-pembimbing yang telah memberikan pengetahuan, ide, kritik dan saran yang membangun sehingga proses penelitian dan penyusunan skripsi terselesaikan dengan baik.
2. Para dosen Pusat Studi Geoteknik yang telah memberikan masukan selama proses penelitian dan penyusunan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Dikdik Hermansyah, Dewi Srimulyani dan Nurul Azzahra selaku keluarga yang telah memberikan segala bentuk dukungan untuk penulis dan selalu menjadi motivasi utama bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Diaz Hamda Awalia selaku teman dalam berbagai hal yang telah setia memotivasi, mendukung, memberi masukan dan menunggu hingga skripsi ini terselesaikan.
5. Charles Ley dan Thiffaldy selaku teman seperjuangan dalam proses penyelesaian skripsi.
6. Ridwan, Fahri, Fai, Garish, Viant dan semua warga *Bukit Jarian 52* selaku sahabat baik bagi penulis selama masa studi yang telah memberikan dukungan pada penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman Teknik Sipil Unpar Angkatan 2017 dan pihak-pihak lain yang membantu penulis selama masa studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Bandung, Juni 2021



Hardiansyah
2017410127

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Lingkup Penelitian	1-2
1.5 Metodologi Penelitian	1-3
1.6 Sistematika Penulisan	1-3
1.7 Diagram Alir Penelitian	1-5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 Galian dalam	2-1
2.1.1 Sistem perkuatan galian dalam.....	2-1
2.1.2 Metode konstruksi galian dalam	2-2
2.1.3 Alternatif metode galian dalam: <i>multi-bench retained structured</i>	2-6
2.2 Analisa deformasi galian dalam.....	2-7
2.2.1 Metode Simplifikasi	2-7
2.2.2 Metode elemen hingga	2-10
2.2.3 Kriteria desain dinding penahan tanah.....	2-11
2.3 Pengamatan Deformasi di Lapangan	2-12
2.3.1 Pengamatan deformasi horizontal	2-12
2.3.2 Pengamatan deformasi vertikal	2-13
2.4 Terowongan.....	2-13
2.4.1 Metode konstruksi terowongan – <i>Tunnel Boring Machines</i>	2-14
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	3-1
3.1 Analisis Galian Dalam dengan Sistem <i>Multi-Bench Retained Structures</i>	3-1

3.1.1	Memperkirakan deformasi dinding dan penurunan permukaan tanah 3-1	3-1
3.1.2	Metode elemen hingga: Pemodelan galian dalam.....	3-1
3.1.3	Metode elemen hingga: Hasil Analisis	3-12
3.1.4	Verifikasi hasil Pemodelan	3-13
3.1.5	Analisa deformasi dengan metode elemen hingga.....	3-13
3.1.6	Analisis gaya dalam yang dialami dinding	3-13
3.1.7	Perbandingan hasil deformasi pada setiap metode.....	3-13
3.2	Studi parametrik karakteristik galian dalam terhadap terowongan.....	3-13
3.2.1	Pemodelan galian dalam-terowongan	3-14
3.2.2	Hasil analisis pemodelan galian dalam-terowongan	3-17
3.2.3	Perbandingan hasil setiap variasi	3-17
BAB 4 DATA DAN ANALISIS.....		4-1
4.1	DESKRIPSI PROYEK	4-1
4.2	Analisis galian dalam – Perkiraan deformasi, Metode simplifikasi.....	4-3
4.2.1	Deformasi Horizontal Terbesar Dinding.....	4-3
4.2.2	Penurunan Terbesar Permukaan Tanah.....	4-3
4.2.3	Profil Penurunan Permukaan Tanah	4-4
4.3	Analisis galian dalam lebih lanjut – metode elemen hingga.....	4-6
4.3.1	Verifikasi Pemodelan dan Input Parameter yang Digunakan	4-6
4.3.2	Analisis deformasi dinding dan penurunan permukaan tanah	4-8
4.3.3	Analisis Gaya Dalam yang dialami Dinding Penahan Tanah	4-9
4.4	Perbandingan hasil deformasi setiap metode dengan hasil pengukuran ..	4-12
4.5	Studi parametrik karakteristik galian dalam-terowongan	4-13
4.6	Deformasi terowongan pada studi parametrik karakteristik galian dalam	4-17
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran.....	5-3
DAFTAR PUSTAKA		1
LAMPIRAN 1. ANALISA GALIAN DALAM dengan FEM.....		L1
LAMPIRAN 2. DEFORMASI DINDING PENAHAN TANAH.....		L2
LAMPIRAN 3. DEFORMASI PERMUKAAN TANAH DIBELAKANG DPT		L3

LAMPIRAN 4. DEFORMASI DINDING TEROWONGAN.....L4



DAFTAR NOTASI

Parameter Tanah

- γ = berat isi tanah (kN/m^3)
- γ_c = berat isi beton (kN/m^3)
- ϕ' = sudut geser tanah efektif ($^\circ$)
- c' = nilai kohesif tanah efektif (kN/m^2)
- e = angka pori
- $\gamma_{0,7}$ = threshold shear – strain
- G_0^{ref} = reference shear modulus at very small strain (kN/m^2)
- E_{ur}^{ref} = Unloading/reloading stiffness (kPa)
- E_{oed}^{ref} = tangent stiffness for primary oedometer loading (kPa)
- E_{50}^{ref} = secant stiffness in standard drained triaxial test (kPa)
- m = power for stress – level dependency of stiffness

Parameter Gaya Dalam

- M = Momen Lentur (kNm)
- V = Gaya Geser (kN)

Parameter Metode Simplifikasi

- a_d = luas defleksi horizontal dinding
- d = jarak dari dinding (m)
- D = influence range of ground settlement (m), Metode Capse 1966
- H_f = kedalaman bawah tanah clay (m)
- H_g = Kedalaman tahanan keras (m)
- l_x = jarak dari titik terjauh pengaruh penurunan tanah (m), metode Bowles's
- PIZ_1 = zona kegagalan potensial (m)
- PIZ_2 = zona kegagalan potensial (m)
- PIZ = Primary influence zone (m)

Parameter Geometri Galian Dalam

- B = Lebar Galian (m)
- H_e = Kedalaman Galian (m)
- H_{TA} = jarak as terowongan dari permukaan tanah dibelakang dinding (m)
- H_{TB} = jarak as terowongan dari permukaan tanah galian didepan dinding (m)
- L_T = jarak as terowongan dari dinding penahan tanah (m)
- δ_h = deformasi horizontal (mm)
- δ_{hm} = deformasi horizontal maksimum (mm)
- δ_v = penurunan tanah (mm)
- δ_{vm} = penurunan tanah maksimum (mm)
- δ = deformasi total (mm)
- δ_m = deformasi total maksimum (mm)

DAFTAR GAMBAR

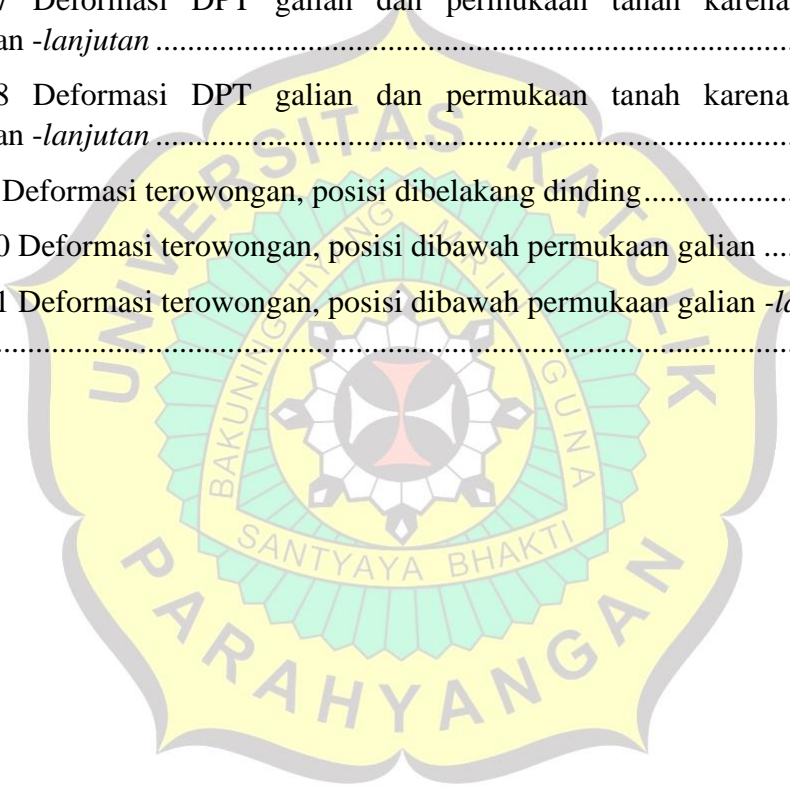
Gambar 2.1 Tipikal Sistem Perkuatan: (a) Strut dan (b) Angkur (sumber: Ou, 2006)	2-2
Gambar 2.2 Tipikal full open cut excavation method: (a) the Slope (b) Cantilever (sumber: Ou, 2006)	2-3
Gambar 2.3 Full Open Cut Excavation Method: (a) The Slope (b) The Cantilever (google)	2-3
Gambar 2.4 Tipikal Desain <i>Braced Excavation Method</i> (sumber: Ou, 2006)	2-4
Gambar 2.5 Tipikal <i>Anchored Excavation Method</i> (sumber: Ou, 2006)	2-4
Gambar 2.6 Galian di <i>the National Centre for the Performing Arts</i> , China (sumber: Zhou et al, 2020)	2-6
Gambar 2.7 Perkiraan deformasi vertikal permukaan tanah, Bowles's (1966) (sumber: Ou, 2006)	2-8
Gambar 2.8 Korelasi defleksi dinding dan defleksi penurunan tanah, Ou et al. (1993) (sumber: Ou, 2006)	2-9
Gambar 2.9 <i>Settlement Envelope</i> , Clough & O'Rourke's (1990) (sumber: Ou, 2006)	2-9
Gambar 2.10 <i>Zona pengaruh, PIZ</i> : (a) PIZ_1 ; (b) PIZ_2 , Ou and Hsieh (2000) (sumber: Ou, 2006)	2-10
Gambar 2.11 Jalur penurunan permukaan tanah, Ou dan Hsieh (2000) (sumber: Ou, 2006)	2-10
Gambar 2.12 (a) Tipikal instrument inklinometer (b) Konsep pengukuran inklinometer (sumber: ASTM D 6230 – 98)	2-12
Gambar 2.13 Tipikal <i>settlement plate/ settlement platform</i> (sumber: ASTM D 6598-00)	2-13
Gambar 2.14 Tipikal alat TBM untuk konstruksi terowongan pada tanah lunak (sumber: Chapman, 2018)	2-14
Gambar 2.15 Tipikal profil penurunan akibat <i>shield tunneling</i> (sumber: Rahardjo, 2019)	2-14
Gambar 3.1 Memulai pemodelan: Tab awal, input judul	3-2
Gambar 3.2 Memulai pemodelan: Pemilihan tipe model dan dimensi geometri tanah	3-2
Gambar 3.3 Pemodelan pelapisan tanah: pembuatan <i>borehole</i>	3-3
Gambar 3.4 Pemodelan pelapisan tanah: input pelapisan tanah pada <i>borehole</i> ..	3-3
Gambar 3.5 Input data tanah: <i>Generals</i>	3-4
Gambar 3.6 Input data tanah: stiffness, strength dan small strain parameter	3-4

Gambar 3.7 Pemodelan pelapisan tanah, data pelapisan tanah yang selesai di input.	3-4
Gambar 3.8 Geometri hasil pemodelan pelapisan tanah.....	3-5
Gambar 3.9 Pemodelan struktural, <i>shortcut</i> yang digunakan	3-5
Gambar 3.10 Input parameter struktural	3-6
Gambar 3.11 Hasil input parameter struktur.....	3-6
Gambar 3.12 Pemodelan geometri struktur	3-6
Gambar 3.13 Pembuatan <i>interface element</i>	3-7
Gambar 3.14 Hasil pemodelan geometri.....	3-7
Gambar 3.15 <i>Mesh</i>	3-7
Gambar 3.16 Generate mesh.....	3-8
Gambar 3.17 Hasil <i>meshing</i>	3-8
Gambar 3.18 Halaman <i>stage construction</i>	3-9
Gambar 3.19 Pemodelan tahapan konstruksi pertama, konstruksi struktur.....	3-9
Gambar 3.20 Hasil pemodelan tahap konstruksi dinding	3-9
Gambar 3.21 Pemodelan tahap 2, penggalian pertama -2.9m.....	3-10
Gambar 3.22 Deaktifasi tanah sebagai pemodelan konstruksi penggalian	3-10
Gambar 3.23 Halaman <i>flow condition</i> untuk pemodelan penurunan muka air..	3-10
Gambar 3.24 Generalisasi muka air baru sebagai model penurunan MAT	3-11
Gambar 3.25 Tahapan konstruksi yang telah dimodelkan	3-11
Gambar 3.26 Pemodelan tahapan konstruksi, penggalian akhir	3-11
Gambar 3.27 Hasil Analisis, Output pemodelan: Penurunan permukaan tanah	3-12
Gambar 3.28 Hasil Analisis, Output pemodelan: Deformasi horizontal dinding <i>D1b</i>	3-12
Gambar 3.29 Hasil Analisis, Output pemodelan: Momen lentur yang dialami dinding <i>D1b</i>	3-12
Gambar 3.30 Pemodelan terowongan	3-14
Gambar 3.31 Pemodelan geometri terowongan	3-14
Gambar 3.32 Input dimensi terowongan.....	3-15
Gambar 3.33 Pemodelan dinding, kontraksi dan <i>interface</i> terowongan	3-15
Gambar 3.34 Input parameter dinding dan parameter kontraksi.....	3-15
Gambar 3.35 Hasil pemodelan geometri terowongan.....	3-16
Gambar 3.36 Tahap <i>Lining</i> , Aktifasi dinding terowongan	3-16

Gambar 3.37 Tahap <i>Lining</i> , De-aktifasi tanah	3-16
Gambar 3.38 Tahap akhir: <i>Contracting</i> , Pemberian kontraksi pada dinding	3-17
Gambar 3.39 Contoh hasil analisis, output pemodelan: deformasi DPT galian	3-17
Gambar 4.1 Lokasi proyek saat konstruksi galian berlangsung (sumber: Zhou et al, 2020)	4-1
Gambar 4.2 Posisi instrument pengamatan, denah galian dan posisi pemasangan dinding (sumber: Zhou et al, 2020)	4-2
Gambar 4.3 Pelapisan dan parameter tanah pada artikel (sumber: Zhou et al, 2020)	4-2
Gambar 4.4 Deformasi hasil pengamatan dilapangan (sumber: Zhou et al, 2020)...	4-3
Gambar 4.5 Profil penurunan permukaan tanah, metode simpifikasi	4-6
Gambar 4.6 Verifikasi profil deformasi dinding hasil pemodelan terhadap hasil pengukuran	4-7
Gambar 4.7 Profil deformasi dinding disetiap tahapan penggalian	4-8
Gambar 4.8 Profil penurunan permukaan tanah disetiap tahapan penggalian	4-8
Gambar 4.9 Input (a)material struktur, (b)dimensi struktur dan (c)pemodelan tiang bor	4-10
Gambar 4.10 Hasil analisis kapasitas gaya dalam 1 tiang bor	4-10
Gambar 4.11 Profil momen lentur yang dialami dinding	4-11
Gambar 4.12 Profil gaya geser yang dialami dinding	4-11
Gambar 4.13 Perbandingan deformasi horizontal dinding setiap metode dan pengukuran	4-12
Gambar 4.14 Perbandingan penurunan permukaan tanah berbagai metode	4-12
Gambar 4.15 Variasi posisi pembangunan terowongan	4-13
Gambar 4.16 Grafik pengaruh posisi terowongan terhadap deformasi horizontal dinding eksisting pada proses <i>lining</i> terowongan	4-15
Gambar 4.17 Grafik pengaruh posisi terowongan terhadap deformasi horizontal dinding eksisting pada proses <i>contracting</i> terowongan	4-16
Gambar 4.18 Grafik pengaruh penurunan permukaan tanah oleh posisi terowongan terhadap galian dalam eksisting pada proses <i>lining</i> terowongan	4-16
Gambar 4.19 Grafik pengaruh penurunan permukaan tanah oleh posisi terowongan terhadap galian dalam eksisting pada proses <i>contracting</i> terowongan	4-17
Gambar 4.20 Grafik Deformasi Dinding Terowongan terhadap Normalisasi Jarak dari Dinding	4-19

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Metode Bowles, 1986, profil penurunan permukaan tanah	4-5
Tabel 4.2 Metode Clough & O'Rourke, 1990, profil penurunan permukaan tanah	4-5
Tabel 4.3 Metode Ou & Hsieh, 2005, profil penurunan permukaan tanah	4-6
Tabel 4.4 Data parameter tanah yang digunakan	4-7
Tabel 4.5 Variasi Posisi Terowongan	4-13
Tabel 4.6 Deformasi DPT galian dan permukaan tanah karena pengaruh terowongan	4-14
Tabel 4.7 Deformasi DPT galian dan permukaan tanah karena pengaruh terowongan <i>-lanjutan</i>	4-14
Tabel 4.8 Deformasi DPT galian dan permukaan tanah karena pengaruh terowongan <i>-lanjutan</i>	4-15
Tabel 4.9 Deformasi terowongan, posisi dibelakang dinding	4-17
Tabel 4.10 Deformasi terowongan, posisi dibawah permukaan galian	4-18
Tabel 4.11 Deformasi terowongan, posisi dibawah permukaan galian <i>-lanjutan</i>	4-18



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagai salah satu kota yang memiliki penduduk terbanyak di China, Tianjin membutuhkan berbagai infrastruktur yang mendukung kebutuhan masyarakatnya. Pembangunan secara vertical seperti bangunan tingkat tinggi (*high-rise building*) menjadi salah satu solusi atas kebutuhan infrastruktur yang perlu galian dalam sebagai salah satu penunjang konstruksi.

Galian dalam berpengaruh langsung terhadap penurunan permukaan tanah yang bisa berdampak pada keselamatan dan kemananan bangunan-bangunan disekitar galian dalam (Ou, 2006). Perkuatan menggunakan angkur menjadi hal yang sangat umum digunakan khususnya pada galian dalam berskala besar dengan sistem yang mengikat dinding penahan tanah disekitar galian dalam. Namun, penggunaan angkur bisa berdampak pada konstruksi disekitar jalur angkur pada kawasan padat penduduk seperti Tianjin, China. Selain itu, penggunaan angkur bergantung pada kekuatan lapisan tanah dan tidak cocok pada lapisan tanah yang memiliki kekuatan rendah. Metode lain yang dapat diterapkan pada kawasan padat penduduk untuk pembangunan galian dalam adalah sistem *multi-bench retaining structure* (Zhou et al., 2020).

Penelitian ini memiliki lingkup pada galian dalam untuk pembangunan *high-rise building* di Tianjin, China. Galian dalam menggunakan sistem *multi-bench* yang memiliki kedalaman maksimum 10,8m dengan dominasi tanah lempung pada pelapisan tanahnya (Zhou et al., 2020).

1.2 Inti Permasalahan

Penulis ingin mengetahui dan menganalisis perilaku deformasi horizontal dinding penahan tanah dan perilaku penurunan permukaan tanah pada galian yang menggunakan metode konstruksi *multi-bench retaining structure* melalui studi kasus dengan mayoritas pelapisan tanah lempung di Tianjin, China.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis deformasi dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah dengan menggunakan metode simplifikasi (*hand calculation*).
2. Mendapatkan parameter tanah dari hasil analisis balik menggunakan metode elemen hingga terhadap profil deformasi horizontal dinding yang telah diamati di lapangan.
3. Menganalisis deformasi horizontal dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah pada setiap tahapan penggalian.
4. Menganalisis perilaku deformasi dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah pada galian dalam eksisting terhadap proses pembangunan terowongan.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian atau batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan berdasarkan pada artikel Acta Geotechnica (2020) 15:2691–2703 sebagai data sekunder dalam penelitian ini.
2. Perilaku dari galian dalam menggunakan analisis jangka pendek.
3. Metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisis perilaku galian dalam dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *PLAXIS 2D*.
4. Data geometri terowongan pada studi parametrik karakteristik galian dalam eksisting terhadap proses pembangunan terowongan dirujuk pada *Manuals PLAXIS 2D v20, Chapter 6-Settlement Due to Tunnel Construction*.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Pengumpulan literatur dan studi pada galian dalam dilakukan untuk memahami konsep perilaku galian dan hal-hal lainnya yang mendukung penelitian ini.

2. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk dianalisis pada penelitian ini. Data sekunder didapat dari artikel *Acta Geotechnica* (2020) 15:2691–2703. Data berupa kondisi pelapisan tanah, posisi muka air tanah awal, denah galian dalam, penempatan dinding penahan tanah dan hasil observasi deformasi dinding serta permukaan tanah.

3. Analisis data

Analisis data dilakukan dengan metode simplifikasi dan metode elemen hingga untuk mengetahui deformasi dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah.

4. Hasil analisis dan interpretasi hasil

Penarikan kesimpulan terhadap hasil analisis deformasi horizontal dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah pada galian akan dilakukan. Hasil analisis deformasi horizontal dinding penahan tanah dan penurunan permukaan tanah pada studi paramterik karakteristik pengaruh pembangunan terowongan terhadap deformasi pada galian eksisting. akan dibandingkan dan diambil kesimpulannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini mencakup tentang permasalahan yang diangkat sebagai bahasan penelitian melalui penulisan inti permasalahan, tujuan penelitian, lingkup

penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang digambarkan dengan diagram alir.

2. Bab 2 Studi Pustaka

Bab ini mencakup penjabaran dan penjelasan mengenai dasar teori tentang galian dalam, metode konstruksi galian dalam, metode analisis galian dalam, pengamatan deformasi dilapangan dan metode konstruksi terowongan.

3. Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini mencakup penjabaran urutan analisis yang dilakukan pada penelitian ini. Analisis perilaku galian dalam diawali dengan menggunakan metode simplifikasi dan dilanjutkan dengan metode elemen hingga yang dimulai dari analisis balik terhadap parameter tanah, pemodelan galian dalam, hasil deformasi dari pemodelan galian dalam dan hasil gaya dalam yang dialami dinding pada pemodelan. Analisis studi parametrik karakteristik berupa pemodelan galian dalam-terowongan, hasil pemodelan dan perbandingan hasil setiap variasi parametrik.

4. Bab 4 Data dan Analisis

Bab ini mencakup penjabaran data sekunder, hasil analisis deformasi dinding dan penurunan permukaan tanah pada galian dalam dan hasil studi parametrik karakteristik deformasi galian dalam eksisting terhadap proses pembangunan terowongan.

5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini mencakup tentang kesimpulan dan saran penulis terkait hasil analisis deformasi dinding dan penurunan permukaan tanah pada galian dalam dan hasil studi parametrik karakteristik deformasi galian dalam eksisting terhadap proses pembangunan terowongan

1.7 Diagram Alir Penelitian

