

**KAJIAN NUMERIK PENGARUH GAYA *PRE-STRESS*  
TERHADAP GALIAN TERPROTEKSI DINDING  
PENAHAN TANAH DENGAN ANGKUR TANAH  
PADA PASIR**

**TESIS**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menempuh Pendidikan Pascasarjana**



**Oleh:**

**Antonius Steven Sutanto**

**2017831022**

**Pembimbing:**

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

**Ko-Pembimbing:**

**Dr. Aswin Lim, Ph.D.**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

**BANDUNG**

**SEPTEMBER 2020**



**HALAMAN PERSETUJUAN**

**KAJIAN NUMERIK PENGARUH GAYA *PRE-STRESS* TERHADAP  
GALIAN TERPROTEKSI DINDING PENAHAN TANAH DENGAN  
ANGKUR TANAH PADA PASIR**



Oleh:

**Anthonius Steven Sutanto**

**2017831022**

**Persetujuan Untuk Sidang Tesis pada Hari, Tanggal:  
Selasa, 8 September 2020**

**Pembimbing:**

A blue ink signature of Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D. is written over a white rectangular background.

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

**Ko-Pembimbing:**

A black ink signature of Dr. Aswin Lim, Ph.D. is written over a white rectangular background.

**Dr. Aswin Lim, Ph.D.**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
SEPTEMBER 2020**



## PERNYATAAN

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

Nama : Anthonius Steven Sutanto  
NPM : 2017831022  
Program Studi : Magister Teknik Sipil, Konsentrasi Geoteknik  
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

**KAJIAN NUMERIK PENGARUH GAYA PRE-STRESS TERHADAP GALIAN TERPROTEKSI DINDING  
PENAHAN TANAH DENGAN ANGKUR TANAH PADA PASIR**

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: 2 September 2020



Anthonius Steven Sutanto



# KAJIAN NUMERIK PENGARUH GAYA *PRE-STRESS* TERHADAP GALIAN TERPROTEKSI DINDING PENAHAN TANAH DENGAN ANGKUR TANAH PADA PASIR

Anthonius Steven Sutanto (NPM: 2017831022)

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

Ko-Pembimbing: Dr. Aswin Lim, Ph.D.

Magister Teknik Sipil

Bandung

September 2020

## ABSTRAK

Kajian parametrik terhadap galian dengan angkur tanah yang dipre-stress di pasir dilakukan untuk mempelajari efek besar gaya pre-stress angkur tanah pada galian terhadap defleksi dan tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah. Perhitungan gaya angkur dengan metode konvensional tidak mampu mempertimbangkan pengaruh besar gaya pre-stress terhadap defleksi dan tekanan tanah, sehingga dilakukan analisis dengan metode elemen hingga dengan variasi parameter. Perangkat lunak metode elemen hingga Plaxis 2D digunakan untuk mensimulasikan interaksi tanah-struktur dan perilaku model galian pasir plane strain, dan tanah dimodelkan menggunakan hardening soil. Model galian 2 dimensi untuk analisis memiliki angkur di elevasi -2 m dengan panjang total 20 m dan bersudut  $30^\circ$  dari horizontal. Parameter masukan yang divariasikan yaitu kedalaman galian ( $H_e$ ), panjang pembenaman dinding ( $H_p$ ), berat volume pasir ( $\gamma_s$ ), dan gaya pre-stress ( $F$ ). Hasil kajian menunjukkan bahwa rasio defleksi ujung atas dinding terhadap kedalaman galian,  $\delta_{h\_top}/H_e$ , cenderung bertambah ke sisi tertahan galian seiring dengan peningkatan besar gaya pre-stress ternormalisasi,  $F/(s \cdot p_a)$ . Selain itu, penambahan  $F$  sebesar 50 kN/m mampu mengurangi  $\delta_{h\_top}/H_e$  sebesar paling besar 0.08%. Gaya pre-stress mengakibatkan peningkatan tekanan tanah di sisi tertahan dinding, terutama di elevasi angkur tanah.

**Kata Kunci:** tekanan lateral tanah, metode elemen hingga, pasir, galian, *pre-stress*, angkur tanah





# NUMERICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF PRE-STRESS FORCE ON A TIEBACK ANCHORED RETAINING WALL EXCAVATION IN SANDY SOIL

Anthonius Steven Sutanto (SN: 2017831022)

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

Co-Advisor: Dr. Aswin Lim, Ph.D.

Master of Civil Engineering

Bandung

September 2020

## ABSTRACT

A parametric study on excavations with a pre-stressed ground anchor in sandy soil is conducted to study the effect of ground anchor pre-stress force on retaining wall deflection and lateral soil pressure. Ground anchor force calculation using conventional method has no consideration on the pre-stressing effect towards deflection and lateral pressure, thus finite method analysis is done using parameter variations. To simulate the soil-structure interaction and plane strain behaviour of excavation in sandy soil, Plaxis 2D is used and soil behaviour is modelled using hardening soil model. A ground anchor with total length of 20 m is installed in of a two-dimensional excavation model in the analysis at the elevation of -2 m and 30° from horizontal. Input parameters in variation are excavation depth ( $H_e$ ), wall embedment length ( $H_p$ ), unit weight of sand ( $\gamma_s$ ), and pre-stress force ( $F$ ). This study finds that increase in normalized pre-stress force,  $F/(s \cdot p_a)$ , causes wall to deflection to excavation depth ratio,  $\delta_{h\_top}/H_e$ , increase towards the retained side. Besides, 50 kN/m  $F$  increase can reduce  $\delta_{h\_top}/H_e$  up to 0.08%. Pre-stress force causes lateral soil pressure on retained side to increase, particularly in ground anchor elevation.

**Keywords:** lateral earth pressure, finite element method, sands, excavations, pre-stress, ground anchor



## PRAKATA

Salah satu syarat akademik untuk menjadi seorang Magister adalah melakukan penelitian yang dituangkan dalam bentuk tesis disertai publikasi karya ilmiah berupa *paper* di jurnal internasional atau jurnal nasional terakreditasi. Hal tersebut juga berlaku di Universitas Katolik Parahyangan yang mensyaratkan tesis sebagai salah satu syarat akademik untuk menjadi Magister Teknik. Maka, penulis menyelesaikan sebuah tesis yang berjudul *Pengaruh Gaya Pre-stress Terhadap Galian Terproteksi Dinding Penahan Tanah Dengan Angkur Tanah Pada Pasir*.

Penulis sadar bahwa penyelesaian tesis ini penulis tidak hanya mengandalkan kemampuan individu penulis melainkan juga dibantu baik secara langsung maupun tidak langsung oleh berbagai pihak sehingga penulis merasa perlu berterima kasih, walaupun ucapan terima kasih mungkin tidak cukup untuk membalas kebaikan pihak-pihak di bawah ini:

Papa dan Mama yang selalu mendukung penulis dari segi moral dan finansial sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini. Demikian halnya dengan adik perempuan penulis, Jessy, yang selalu mendukung untuk menyelesaikan tesis.

Bapak Paulus Pramono Rahardjo selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dengan kesabaran, dan Bapak Aswin Lim selaku ko-pembimbing yang mendorong saya untuk melakukan presentasi pada setiap sesi asistensi, dan juga memberikan pengarahan di publikasi hasil penelitian.

Dosen-dosen geoteknik Universitas Katolik Parahyangan yang bersedia meminjamkan ruangan komputer untuk melakukan analisis metode elemen hingga dengan Plaxis 2D.

Teman-teman di Magister Teknik Sipil baik di bidang Geoteknik maupun lainnya yang memberikan semangat untuk menyelesaikan tesis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, maka penulis memohon masukan berupa kritik dan saran untuk mengembangkan penelitian ini agar berguna kepada orang-orang yang berkepentingan.



Bandung, 02 September 2020

Penulis



Anthonius Steven Sutanto

# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
<b>BAB 2 STUDI PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1 Angkur Tanah	6
2.2 Tekanan Lateral Tanah	10
2.2.1 Tekanan Lateral Tanah pada Kondisi <i>At Rest</i>	10
2.2.2 Teori Tekanan Lateral Tanah Rankine	11
2.2.3 Teori Tekanan Lateral Coulomb	14
2.2.4 Perbandingan Teori Rankine dan Teori Coulomb	16
2.2.5 Tekanan Lateral Tanah untuk Desain	22
2.3 Free Earth Support Method	23

2.4	<i>Fixed Earth Support Method</i>	24
2.5	Gaya <i>Pre-stress</i> dan Defleksi Dinding Penahan Tanah	26
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>		<b>34</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian	34
3.2	Metode Analisis	35
3.3	Model Mohr-Coulomb	37
3.4	Hardening Soil Model	41
3.4.1	Parameter kekakuan	41
3.4.2	Hubungan Hiperbolik Tegangan-Regangan	42
3.4.3	Aproksimasi Hiperbola <i>Hardening Soil Model</i>	45
3.5	Teori Deformasi pada Metode Elemen Hingga	46
3.5.1	Persamaan Dasar Deformasi Kontinum	46
3.6	Parameter Tanah untuk Studi	48
3.7	Model, Geometri, dan Dimensi Struktur	52
3.8	Tahapan Pemodelan Galian dalam PLAXIS 2D	53
3.8.1	<i>Input</i> Parameter Tanah	53
3.8.2	Geometri Model Galian	54
3.9	<i>Meshing</i> dan Muka Air Tanah	58
3.10	$K_0$ procedure	58
3.11	Fase-fase Analisis	59
3.11.1	Aktivasi Dinding Penahan Tanah dan Beban	59
3.11.2	Fase Galian	59
3.11.3	Angkur Tanah	60
3.12	Hasil Analisis	61

3.13	Tipikal Hasil Analisis	62
3.13.1	Acuan Positif-Negatif Defleksi dan Momen	62
<b>BAB 4 Hasil Analisis dan Pembahasan</b>		<b>64</b>
4.1	Tren Defleksi Dinding Galian	64
4.1.1	Korelasi Defleksi Galian dan Gaya <i>Pre-stress</i> Ternormalisasi	68
4.2	Tekanan di Sisi Tertahan dan di Sisi Tergali	77
4.3	Koefisien Tekanan Horizontal untuk Galian 8 m, Kedalaman Pembedaan Dinding 6 m	86
4.3.1	Perbandingan Tekanan Aktif-Pasif Tanah pada Kedalaman Pembedaan Berbeda untuk Galian 12 m, Pasir Sedang, Gaya <i>Pre-stress</i> 300 kN/m	92
4.3.2	Momen Tekuk ( <i>Bending Moment</i> ) pada Dinding	97
4.3.3	Gaya Geser pada Dinding	101
4.3.4	Koefisien Gaya <i>Pre-stress</i>	103
<b>BAB 5 STUDI KASUS: GALIAN TIEback di pasir di shenyang, tiongkok</b>		<b>106</b>
5.1	Deskripsi Kasus Galian	106
5.2	Parameter Tanah dan Angkur	108
5.3	Pemodelan dan Analisis MEH Galian Dua Dimensi	111
5.4	Pendekatan Superposisi dengan Kurva Defleksi	115
<b>BAB 6 Kesimpulan dan saran</b>		<b>120</b>
6.1	Kesimpulan Hasil Studi	120
6.2	Saran/Rekomendasi untuk Penelitian Lebih Lanjut	122
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>124</b>





## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

### Daftar Notasi

$A$  = luas total penampang *bonded length* ankur tanah

$A_g$  = luas penampang *grout* pada *bonded length* ankur tanah

$A_n$  = luas penampang *strand* pada *unbonded length* dan *bonded length* ankur tanah

$B_r$  = lebar sisi tertahan tanah pada model galian dua dimensi

$c'$  = kohesi efektif

$c'_w$  = adhesi antara dinding dan tanah

$d_b$  = diameter *bonded length* ankur tanah

$d_{plate}$  = tebal equivalen model *plate* di Plaxis 2D

$E_{eq}$  = modulus elastis ekuivalen *bonded length* ankur tanah

$E_g$  = modulus elastis *grout* pada *bonded length* ankur tanah

$E_i$  = modulus elastis tanah mula-mula

$E_n$  = modulus elastis *strand* pada *fixed length* ankur tanah

$E_{oed}$  = modulus *tangent* tanah dari pembebanan utama uji oedometer

$E_{oed}^{ref}$  = modulus *tangent* tanah dari pembebanan utama uji oedometer pada tegangan vertikal  $\sigma_1$  sebesar  $\sigma^{ref}$

$E_{ur}$  = modulus *unloading-reloading* tanah

$E_{ur}^{ref}$  = modulus *unloading-reloading* tanah pada tegangan vertikal  $\sigma_1$  sebesar  $\sigma^{ref}$

$E_{50}$  = modulus *secant* tanah pada uji triaksial teralir (*drained triaxial test*)

$EA$  = kekakuan aksial bagian *unbonded length* ankur tanah

$F$  = gaya pratarik/*pre-stress* pada ankur tanah

$H_e$  = kedalaman galian

$H_p$  = kedalaman pembenaman dinding penahan tanah di bawah dasar galian desain

$H_p'$  = kedalaman pembenaman dinding penahan tanah di bawah dasar galian

$K$  = koefisien tekanan lateral tanah

$K_a$  = koefisien tekanan lateral tanah aktif

$K_p$  = koefisien tekanan lateral tanah pasif

$K_0$  = koefisien tekanan lateral tanah *at rest*

$K_0^{nc}$  = koefisien tekanan lateral tanah *at rest* pada tanah terkonsolidasi normal

$L_a$  = panjang *bonded length* angkur tanah

$m$  = pangkat untuk formulasi tegangan, menyatakan ketergantungan tegangan (*stress dependency*)

OCR = rasio overkonsolidasi (*overconsolidation ratio*)

$P$  = reaksi dinding melawan bidang *wedge*

$P_a$  = gaya aktif tanah

$P_{a\_FEM}$  = gaya aktif tanah yang dihitung menggunakan MEH

$P_{a\_theory}$  = gaya pasif tanah yang dihitung secara analitik

$P_p$  = gaya pasif tanah

$P_{p\_FEM}$  = gaya pasif tanah yang dihitung menggunakan MEH

$P_{p\_theory}$  = gaya pasif tanah yang dihitung secara analitik

$p_a$  = tekanan atmosfer sebesar 101.325 kPa

$p^{ref}$  = tekanan referensi untuk kekakuan di *hardening soil model*

$R$  = reaksi tanah melawan bidang *wedge*

$s$  = spasi atau jarak horizontal antar angkur tanah

$s_u$  = kuat geser tak teralir tanah lempung

$T_{max, top}$  = gaya geser per panjang pada ujung atas *bonded length* angkur tanah

$T_{max, bot}$  = gaya geser per panjang pada ujung bawah *bonded length* angkur tanah

$T_u$  = gaya *ultimate* yang bekerja pada angkur tanah

$u$  = tekanan air pori

$W$  = berat tanah di belakang dinding penahan tanah pada teori tekanan lateral Coulomb

$w_{plate}$  = berat model *plate* di Plaxis 2D

$\gamma_{concrete}$  = berat volume beton

$\gamma_{eq}$  = berat volume ekuivalen *bonded length* ankur tanah

$\gamma_s$  = berat volume tanah

$\gamma'_s$  = berat volume tanah efektif

$\gamma_{s\_ave}$  = berat volume rata-rata tanah

$\gamma_{s\_sat}$  = berat volume tanah jenuh

$\gamma_{s\_unsat}$  = berat volume tanah tidak jenuh

$\gamma_{steel}$  = berat volume baja

$\delta$  = sudut friksi antara tanah dengan dinding/*bonded length* ankur tanah

$\delta_{h\_top}$  = defleksi horizontal yang terjadi pada ujung atas dinding penahan tanah galian

$\theta$  = sudut kemiringan dinding penahan tanah, umumnya pada dinding dari pasangan batu

$\sigma_a$  = tekanan horizontal aktif total pada dinding penahan tanah

$\sigma_p$  = tekanan horizontal pasif total pada dinding penahan tanah

$\sigma'_a$  = tekanan horizontal aktif efektif pada dinding penahan tanah

$\sigma'_p$  = tekanan horizontal pasif efektif pada dinding penahan tanah

$\sigma_{ret\_bot}$  = tekanan horizontal di sisi tertahan dinding penahan tanah di ujung bawah dinding penahan tanah

$\sigma'_{ov}$  = tekanan *overburden* efektif tanah

$\tau_{ult}$  = friksi antara tanah dengan *fixed length* ankur tanah

$\phi$  = sudut geser tanah

$\phi'$  = sudut geser efektif tanah

### Daftar Singkatan

HS = *Hardening Soil*

MEH = Metode Elemen Hingga

NTUC = National Taipei

TNEC = Taipei National Enterprise Center

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian <i>ground anchor</i> (Ou, 2006).	6
Gambar 2.2 Posisi <i>free length</i> dari bidang keruntuhan yang diasumsikan (Ou, 2006).	7
Gambar 2.3 Tipe <i>bonded length</i> berdasarkan daya dukung ().	8
Gambar 2.4 Macam metode <i>grouting</i> pada <i>bonded length</i> (CICHE, 1998).	8
Gambar 2.5 Tekanan lateral tanah pada kondisi <i>at rest</i> (Ou, 2006).	11
Gambar 2.6 Teori tekanan lateral Rankine (Ou, 2006).	12
Gambar 2.7 Diagram tekanan aktif Coulomb (Ou, 2006)	15
Gambar 2.8 Diagram tekanan pasif Coulomb (Ou, 2006).	16
Gambar 2.9 Perbandingan antara bidang keruntuhan yang terjadi dan yang diasumsi menggunakan teori tekanan tanah Coulomb (Ou, 2006).	18
Gambar 2.10 Kurva perbandingan antara koefisien tekanan lateral aktif Rankine, Coulomb, dan Caquot-Kerisel (Ou, 2006).	19
Gambar 2.11 Kurva perbandingan antara koefisien tekanan lateral pasif Rankine, Coulomb, dan Caquot-Kerisel (Ou, 2006).	21
Gambar 2.12 Asumsi arah gaya lateral tanah dengan sudut sebesar $\delta$ (Ou, 2006).	21
Gambar 2.13 Diagram tekanan tanah dan momen pada <i>free earth support</i> pada tanah pasir (Tschebotarioff, 1978).	23
Gambar 2.14 Kurva tekanan aktif dan pasif, momen, dan gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah menurut teori Blum (Tschebotarioff, 1978).	25

Gambar 2.15 Defleksi dinding penahan tanah pada galian NTUH dengan gaya <i>pre-stress</i> 0%, dengan variasi panjang <i>fixed-end</i> 12 m, 20 m, dan 30 m (St. Clair, 2017).	27
Gambar 2.16 Defleksi dinding penahan tanah pada galian NTUH dengan gaya <i>pre-stress</i> 50%, dengan variasi panjang <i>fixed-end</i> 12 m, 20 m, dan 30 m (St. Clair, 2017).	28
Gambar 2.17 Defleksi dinding penahan tanah pada galian NTUH dengan gaya <i>pre-stress</i> 80%, dengan variasi panjang <i>fixed-end</i> 12 m, 20 m, dan 30 m (St. Clair, 2017).	29
Gambar 2.18 Defleksi dinding penahan tanah pada galian NTUH dengan gaya <i>pre-stress</i> 100%, dengan variasi panjang <i>fixed-end</i> 12 m, 20 m, dan 30 m (St. Clair, 2017).	30
Gambar 2.19 Defleksi dinding penahan tanah pada galian NTUH dengan gaya <i>pre-stress</i> 120%, dengan variasi panjang <i>fixed-end</i> 12 m, 20 m, dan 30 m (St. Clair, 2017).	31
Gambar 2.20 Defleksi dinding diafragma pada galian stasiun kereta Guangzhou Metro Maanshan Park dari 6 inklinometer berbeda (Elbaz et al., 2018).	32
Gambar 2.21 Model galian dengan angkur (Elhakim dkk, 2011)	33
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	35
Gambar 3.2 Teori Mohr: (a) Lingkaran Mohr, (b) kurva keruntuhan dari beberapa lingkaran Mohr (Ou, 2006).	38
Gambar 3.3 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, 2008).	39
Gambar 3.4 Perbandingan antara pengukuran lapangan dengan model Mohr-Coulomb (Lim et al., 2010).	40

Gambar 3.5 Perbandingan antara pengukuran lapangan dengan <i>hardening soil model</i> (Lim et al., 2010).	40
Gambar 3.6 Kurva keruntuhan Mohr-Coulomb pada tanah tanpa kohesi (Ou, 2006).	41
Gambar 3.7 Kurva tegangan-regangan pada uji triaksial teralir standar (PLAXIS, 2014).	44
Gambar 3.8 Model tipikal galian dengan dinding dan ankur tanah.	53
Gambar 3.9 Tampilan untuk memasukkan parameter tanah secara umum	53
Gambar 3.10 Tampilan masukan parameter khusus tanah bagian ke-1	54
Gambar 3.11 Tampilan masukan parameter khusus tanah bagian ke-2	54
Gambar 3.12 Tampilan untuk menentukan gradasi butir tanah dan parameter permeabilitas	54
Gambar 3.13 Model galian tipikal untuk analisis metode elemen hingga di Plaxis 2D	55
Gambar 3.14 Tampilan masukan karakteristik <i>interface</i> tanah.	56
Gambar 3.15 Tampilan untuk memasukkan parameter dinding penahan tanah.	56
Gambar 3.16 Tampilan untuk memasukkan parameter <i>unbonded length</i> ankur tanah.	57
Gambar 3.17 Tampilan untuk memasukkan parameter penampang, spasi, tahanan selimut, dan tahanan ujung <i>bonded length</i> ankur tanah.	57
Gambar 3.18 <i>Mesh</i> pada model galian di Plaxis 2D.	58
Gambar 3.19 Muka air tanah pada model galian di Plaxis 2D.	58
Gambar 3.20 Tampilan Initial Phase menggunakan $K_0$ <i>procedure</i> .	59
Gambar 3.21 Aktivasi dinding penahan tanah.	59

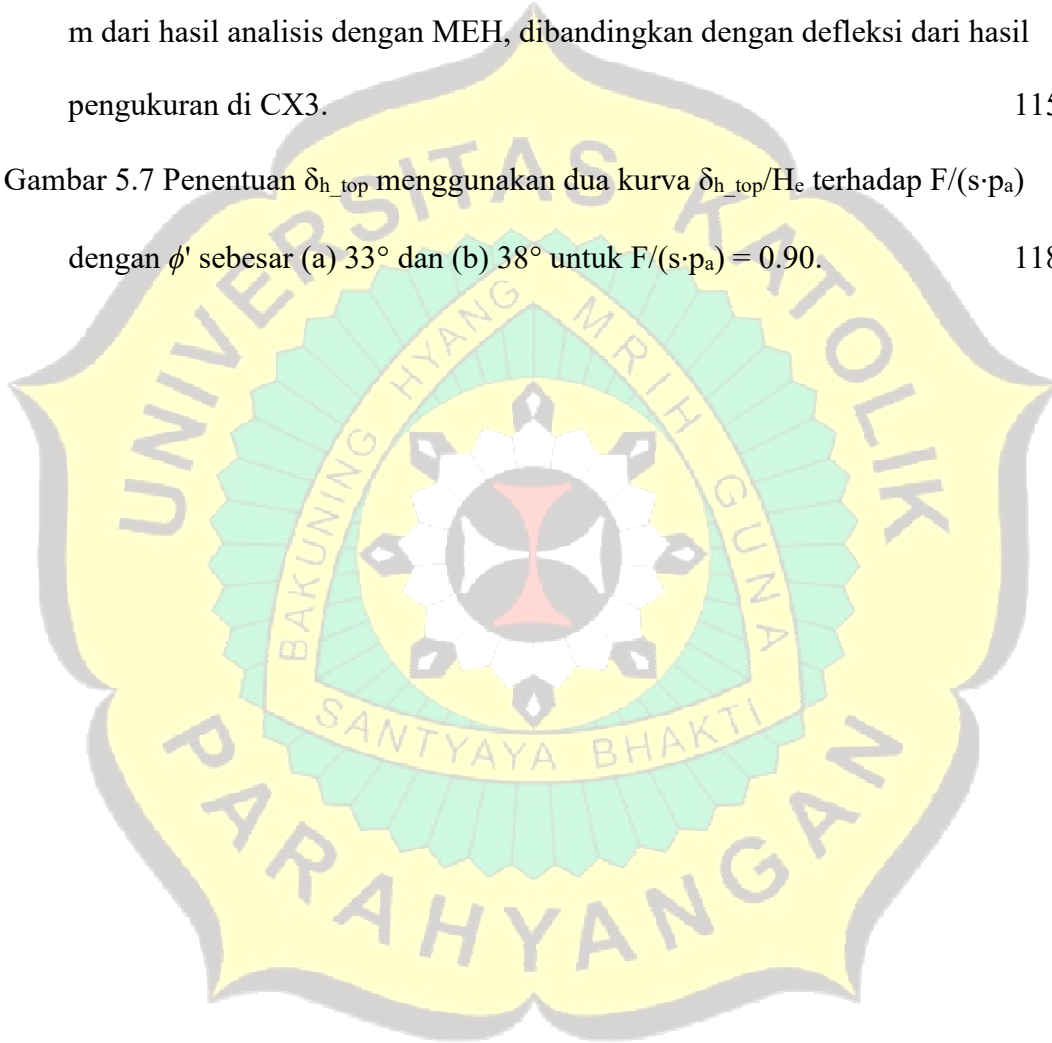
Gambar 3.22 Galian sedalam 2 m diaktifkan di model galian 8 m di Plaxis 2D.	60
Gambar 3.23 Galian sedalam 4 m diaktifkan di model galian 8 m di Plaxis 2D.	60
Gambar 3.24 Galian sedalam 6 m diaktifkan di model galian 8 m di Plaxis 2D.	60
Gambar 3.25 Galian sedalam 8 m diaktifkan di model galian 8 m di Plaxis 2D.	60
Gambar 3.26 Aktivasi <i>ground anchor</i> di Plaxis 2D.	61
Gambar 3.27 Diagram tekanan aktif dan pasif tanah tipikal.	62
Gambar 3.28 Diagram defleksi dinding tipikal dan lokasi $\delta_{max}$ .	62
Gambar 3.29 Notasi yang digunakan dalam penelitian.	63
Gambar 4.1 Pola defleksi dinding untuk galian 5 m, $\phi' = 28^\circ$ , dengan variasi $H_p/H_e$ sebesar (a) 0.5, (b) 0.75, (c) 1.0	64
Gambar 4.2 Pola defleksi dinding untuk galian 8 m, $\phi' = 28^\circ$ , dengan variasi $H_p/H_e$ sebesar (a) 0.5, (b) 0.75, (c) 1.0	65
Gambar 4.3 Pola defleksi dinding untuk galian 12 m, $\phi' = 28^\circ$ , dengan variasi $H_p/H_e$ sebesar (a) 0.5, (b) 0.75, (c) 1.0	65
Gambar 4.4 Kurva defleksi dinding pada galian 8 m, $H_p = 8$ m, untuk (a) $\phi' = 28^\circ$ , (b) $\phi' = 33^\circ$ , (c) $\phi' = 38^\circ$	68
Gambar 4.5 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 5$ m dan $\phi' = 28^\circ$	69
Gambar 4.6 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 5$ m dan $\phi' = 33^\circ$	69
Gambar 4.7 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 5$ m dan $\phi' = 38^\circ$	70
Gambar 4.8 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 8$ m dan $\phi' = 28^\circ$	70
Gambar 4.9 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 8$ m dan $\phi' = 33^\circ$	71
Gambar 4.10 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 8$ m dan $\phi' = 38^\circ$	71
Gambar 4.11 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 12$ m dan $\phi' = 28^\circ$	72

Gambar 4.12 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 12$ m dan $\phi' = 33^\circ$	72
Gambar 4.13 Kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap F di galian dengan $H_e = 12$ m dan $\phi' = 38^\circ$	73
Gambar 4.14 Kurva tekanan aktif-pasif tanah pada galian 5 m dengan $H_p/H_e = 0.5$ , $\phi' = 28^\circ$ , dan $F = 0$ kN/m	78
Gambar 4.15 Kurva tekanan aktif-pasif tanah pada galian 5 m dengan $H_p/H_e = 0.5$ , $\phi' = 28^\circ$ , dan $F = 50$ kN/m	79
Gambar 4.16 Kurva tekanan aktif-pasif tanah pada galian 5 m dengan $H_p/H_e = 0.5$ , $\phi' = 28^\circ$ , dan $F = 100$ kN/m	80
Gambar 4.17 Kurva tekanan aktif-pasif tanah pada galian 5 m dengan $H_p/H_e = 0.5$ , $\phi' = 28^\circ$ , dan $F = 300$ kN/m	81
Gambar 4.18 Kurva tekanan aktif-pasif tanah pada galian 5 m dengan $H_p/H_e = 0.5$ , $\phi' = 28^\circ$ , dan $F = 600$ kN/m	82
Gambar 4.19 Kurva-kurva tekanan tanah pada dinding galian 5 m, $H_p/H_e = 0.5$ , dan $F = 600$ kN/m, dengan variasi sudut geser tanah	84
Gambar 4.20 Kurva-kurva tekanan tanah pada dinding galian 5 m, $F = 300$ kN/m, dan $\phi' = 38^\circ$ , dengan variasi kedalaman pembenaman dinding	84
Gambar 4.21 Kurva koefisien K galian 5 m pada pasir lepas, <i>embedment length</i> 2.5 m, dengan F dari 0 sampai 600 kN/m	87
Gambar 4.22 Kurva koefisien K galian $H_e = 8$ m, $H_p/H_e = 0.75$ , pasir lepas, dengan F dari 0 sampai 600 kN/m	89
Gambar 4.23 Kurva koefisien K galian $H_e = 8$ m, $H_p/H_e = 0.75$ , pasir sedang, dengan F dari 0 sampai 600 kN/m	90



Gambar 4.24 Kurva koefisien K galian $H_e = 8$ m, $H_p/H_e = 0.75$ , pasir padat, dengan F dari 0 sampai 600 kN/m	91
Gambar 4.25 Kurva tekanan aktif-pasif galian 12 m, $\phi' = 33^\circ$ , $F = 300$ kN/m, $H_p/H_e = 0.5$	92
Gambar 4.26 Kurva tekanan aktif-pasif galian 12 m, $\phi' = 33^\circ$ , $F = 300$ kN/m, $H_p/H_e = 0.75$	93
Gambar 4.27 Kurva tekanan aktif-pasif galian 12 m, $\phi' = 33^\circ$ , $F = 300$ kN/m, $H_p/H_e = 1.0$	94
Gambar 4.28 Momen tekuk dinding untuk galian dengan $H_e = 8$ m, $H_p/H_e = 0.5$ , dan variasi $\phi'$ .	97
Gambar 4.29 Momen tekuk dinding untuk galian dengan $H_e = 8$ m, $\phi' = 33^\circ$ , dan variasi $H_p/H_e$ .	99
Gambar 4.30 Momen tekuk dinding galian dengan $\phi' = 38^\circ$ , $H_p/H_e = 0.75$ , dan variasi $H_e$ .	100
Gambar 4.31 Gaya geser dinding untuk galian dengan $H_e = 8$ m, $H_p/H_e = 0.5$ , dan variasi $\phi'$ .	101
Gambar 4.32 Gaya geser dinding untuk galian dengan $H_e = 8$ m, $\phi' = 33^\circ$ , dan variasi $H_p/H_e$ .	102
Gambar 4.33 Gaya geser dinding galian dengan $\phi' = 38^\circ$ , $H_p/H_e = 0.75$ , dan variasi $H_e$ .	103
Gambar 5.1 Denah galian area A dan B, titik inklinometer, dan sumur dewatering (Han et al., 2017).	107
Gambar 5.2 Penampang galian dan stratifikasi tanah (Han et al., 2017).	108

Gambar 5.3 Model galian dua dimensi kajian Han et al. (2017) dan Zhao et al. (2018).	111
Gambar 5.4 Muka air tanah pada model galian dua dimensi.	111
Gambar 5.5 Kurva defleksi dinding pada model galian di tahap galian terakhir.	113
Gambar 5.6 Defleksi dinding penahan tanah pada tahap penggalian kedalaman -22 m dari hasil analisis dengan MEH, dibandingkan dengan defleksi dari hasil pengukuran di CX3.	115
Gambar 5.7 Penentuan $\delta_{h\_top}$ menggunakan dua kurva $\delta_{h\_top}/H_e$ terhadap $F/(s \cdot p_a)$ dengan $\phi'$ sebesar (a) $33^\circ$ dan (b) $38^\circ$ untuk $F/(s \cdot p_a) = 0.90$ .	118



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Panjang <i>fixed length</i> ankur tanah yang disarankan (CICHE, 1998). ....	7
Tabel 2.2 <i>Ultimate bond stress</i> antara <i>bonded length</i> dan tanah atau batuan (PTI, 1996) .....	9
Tabel 2.3 Kuat geser <i>ultimate</i> dari <i>bonded length</i> ankur (JSF, 1990).....	10
Tabel 2.4 Variasi gaya <i>pre-stress</i> pada kajian numerik di proyek galian NTUH (St. Clair, 2017).....	26
Tabel 3.1 Variasi parameter untuk kajian numerik.....	48
Tabel 3.2 Data variasi parameter tanah pasir untuk analisis.....	49
Tabel 3.3 Nilai empiris untuk $D_r$ dan $\phi'$ dari tanah berbutir berdasarkan nilai N-SPT terkoreksi (Terzaghi dan Peck, 1948 dan Gibbs dan Holtz, 1957) .....	49
Tabel 3.4 Berat elemen dinding berdasarkan variasi parameter tanah yang digunakan untuk analisis.....	50
Tabel 3.5 Parameter <i>bonded length</i> ankur tanah untuk pemodelan.....	51
Tabel 3.6 Rekomendasi nilai $R_{inter}$ (Brinkgrvee dan Shen, 2011).....	55
Tabel 4.1 Tekanan tanah di sisi tertahan dinding di ujung bawah dinding.....	95
Tabel 4.2 Hasil kalkulasi nilai $\mu$ untuk semua model galian, kecuali $F = 0$ . ....	104
Tabel 5.1 Data lapisan dan parameter tanah di lokasi galian (Han et al., 2017).	109
Tabel 5.2 Data ankur tanah pada dinding galian.....	109
Tabel 5.3 Urutan tahap-tahap konstruksi galian dengan kedalaman dan gaya <i>pre-stress</i> yang diaplikasikan. ....	112
Tabel 5.4 Tabulasi parameter tanah galian untuk analisis dengan superposisi...	116
Tabel 5.5 Pembagian galian berdasarkan ankur tanah dan gaya <i>pre-stress</i> .....	118



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN</b>	<b>L-1</b>
L.1 Kurva Defleksi Dinding Galian	L-1
L.1.1 Galian 5 m	L-1
L.1.2 Galian 8 m	L-10
L.1.3 Galian 12 m	L-19
L.2 Kurva Tekanan Lateral	L-28
L.1.4 Galian 5 m, $H_p/H_e = 0.5$	L-28
L.1.5 Galian 5 m, $H_p/H_e = 0.75$	L-43
L.1.6 Galian 5 m, $H_p/H_e = 1.0$	L-58
L.1.7 Galian 8 m, $H_p/H_e = 0.5$	L-73
L.1.8 Galian 8 m, $H_p/H_e = 0.75$	L-88
L.1.9 Galian 8 m, $H_p/H_e = 1.0$	L-103
L.1.10 Galian 12 m, $H_p/H_e = 0.5$	L-118
L.1.11 Galian 12 m, $H_p/H_e = 0.75$	L-133
L.1.12 Galian 12 m, $H_p/H_e = 1.0$	L-148
L.3 Kurva Koefisien Tekanan Lateral	L-163
L.4 Kurva Momen yang Bekerja pada Dinding	L-190
L.5 Kurva Geser yang Bekerja pada Dinding	L-217



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Angkur tanah dengan *pre-stress*, disebut juga sebagai *tieback system*, sering digunakan untuk stabilisasi dinding penahan tanah pada proyek-proyek galian yang luas untuk mengurangi deformasi tanah. Galian *tieback system* berbiaya lebih rendah, lebih cepat, dan relatif lebih tidak memakan tempat dibandingkan dengan *braced excavation*, serta dapat diaplikasikan ke galian dengan luasan berbentuk tidak beraturan. Walaupun memiliki kelebihan-kelebihan tersebut, perizinan dan pelaksanaan galian *tieback system* di lokasi yang berdekatan dengan gedung-gedung eksisting dan terowongan di bawah jalan sulit dilakukan.

Besar gaya yang diperlukan untuk stabilisasi *tieback system* yang dihitung menggunakan metode konvensional tidak memperhitungkan gaya *pre-stress* pada angkur sehingga memerlukan analisis dengan metode elemen hingga (MEH).

Selain itu, pengukuran aktual di lapangan sangat jarang dilakukan di Indonesia karena keterbatasan biaya dan waktu serta kesadaran sebagian besar pemangku kepentingan proyek-proyek infrastruktur di Indonesia terhadap pentingnya pengukuran aktual yang rendah.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini membahas tentang pengaruh gaya *pre-stress* angkur tanah pada dinding penahan tanah dengan dua metode yaitu metode konvensional dan MEH. Metode konvensional yang dimaksud adalah metode keseimbangan gaya-gaya tanah yang tidak memperhitungkan pengaruh gaya *pre-stress* terhadap besar tekanan tanah yang bekerja di dinding penahan tanah. MEH digunakan karena pada saat ini MEH dapat menghasilkan defleksi dan tekanan tanah mendekati hasil aktual di lapangan. Selain itu, sudah ada *software* untuk menjalankan analisis dengan MEH sehingga analisis dapat dilakukan dengan mudah dan cepat.

## 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh gaya *pre-stress* angkur tanah terhadap dinding penahan tanah yang dianalisis menggunakan MEH. Tujuan dari tesis ini adalah memperoleh defleksi dinding penahan tanah, tekanan-tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan tanah, dan rasio gaya *pre-stress* dari analisis MEH terhadap gaya angkur dari metode konvensional terhadap kedalaman galian dan panjang pembedaman dinding penahan tanah (*embedment length*). Hasil penelitian dimaksudkan sebagai tambahan terhadap metode perhitungan gaya angkur pada dinding penahan tanah yang diajarkan di perkuliahan dan untuk penentuan gaya angkur tanah dengan *pre-stress* secara sederhana. Defleksi dinding penahan tanah yang dihasilkan dari analisis diolah ke dalam *chart* yang dapat digunakan untuk perhitungan gaya *pre-stress* angkur yang diperlukan secara cepat sebelum dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak MEH.



#### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian pada tesis ini dibatasi pada model geometri metode elemen hingga, data tanah, dan model tanah pada metode elemen hingga. Model geometri yang dianalisis berupa model galian dalam dua dimensi. Data untuk pemodelan berupa data sintetik, yaitu data berdasarkan asumsi dengan batasan di tanah pasir dengan  $\phi'$  sebesar  $28^\circ$ ,  $33^\circ$ , dan  $38^\circ$ , dengan model tanah *hardening soil* (HS). HS model digunakan karena mampu mengakomodasi modulus elastis tanah pada kondisi-kondisi berbeda pada saat pekerjaan galian dilaksanakan. Selain itu, model untuk penelitian ini dibatasi pada jenis tanah pasir homogen. Angkur tanah diposisikan di kedalaman 2 m dari permukaan tanah dan bersudut  $30^\circ$  terhadap permukaan tanah.

Variasi model ada di kedalaman galian ( $H_e$ ) yaitu 5 m, 8 m, dan 12 m; *embedment depth* (kedalaman penetrasi,  $H_p$ ) dinding sebanyak tiga variasi yaitu  $0.5 H_e$ ,  $0.75 H_e$ , dan  $1.0 H_e$ ; dan gaya *pre-stress* pada angkur ( $F$ ) sebesar 0 kN/m, 50 kN/m, 100 kN/m, 300 kN/m, dan 600 kN/m. Variasi tanah dilakukan pada sudut geser tanah ( $\phi'$ ) yang merepresentasikan kepadatan pasir, yaitu sebesar  $28^\circ$  (*loose sand*),  $33^\circ$  (*medium sand*), dan  $38^\circ$  (*dense sand*).

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Penelitian ini ditulis sebanyak lima bab mengikuti sistematika sebagai berikut:

BAB I – PENDAHULUAN.

Pada bab ini penulis menjelaskan Latar Belakang Penelitian, Perumusan Masalah, Maksud dan Tujuan, Ruang Lingkup Penelitian, Sistematika Penulisan, dan Diagram Alir.

## BAB II – KAJIAN PUSTAKA.

Pada bab ini, penulis membahas teori-teori tekanan tanah konvensional, yaitu Teori Tekanan Tanah Coulomb dan Rankine, serta perbandingan antara kedua metode tersebut. Selain itu, *ground anchor* juga dibahas di bab ini.

## BAB III – METODE PENELITIAN.

Pada bab ini, penulis membahas model tanah *Hardening Soil Model*, model galian 2 dimensi, properti dari material tanah, dinding, dan *ground anchor*. Pada bab ini juga dibahas langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis menggunakan *software* PLAXIS 2D.

## BAB IV – STUDI PARAMETRIK, HASIL ANALISIS, DAN PEMBAHASAN.

Pada bab ini dibahas parameter-parameter yang dimasukkan dalam studi parametrik, hasil analisis dari metode konvensional, metode elemen hingga, dan perbandingan kedua hasil metode tersebut.

## BAB V – STUDI KASUS: GALIAN TIEBACK DI PASIR DI SHENYANG, TIONGKOK

Pada bab ini dibahas analisis metode elemen hingga dan metode grafis superposisi terhadap studi kasus pada galian *tieback* di pasir di Shenyang, Tiongkok.

## BAB VI – KESIMPULAN DAN SARAN.

Bab ini memuat simpulan dari analisis dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

