

SKRIPSI

***BACK ANALYSIS* PROTEKSI GALIAN DALAM
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA,
STUDI KASUS PROYEK GUBENG DI SURABAYA**



**EKKY KURNIASANDY
NPM: 2014410152**

PEMBIMBING: Siska Rustiani, Ir., 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
DESEMBER 2019**

SKRIPSI

***BACK ANALYSIS* PROTEKSI GALIAN DALAM
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA,
STUDI KASUS PROYEK GUBENG DI SURABAYA**



**EKKY KURNIASANDY
NPM : 2014410152**

BANDUNG, 19 DESEMBER 2019

PEMBIMBING:

Siska Rustiani, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING:

Ryan Alexander, 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
2019**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Ekky Kurniasandy

NPM : 2014410152

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: *Back Analysis* Proteksi Galian Dalam Menggunakan Metode Elemen Hingga, Studi Kasus Proyek Gubeng di Surabaya adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 10 Desember 2019



Ekky Kurniasandy

ANALISIS BALIK PROTEKSI GALIAN DALAM DENGAN MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA, STUDI KASUS PROYEK GUBENG DI SURABAYA

**Ekky Kurniasandy
2014410152**

**Pembimbing: Siska Rustiani, Ir., 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
DESEMBER 2019**

ABSTRAK

Terdapat beberapa jenis model tanah yang umum digunakan dalam analisis galian dalam. Salah satu dari beberapa jenis model tersebut adalah model Mohr-Coulomb. Melalui studi kasus penulis ingin mengetahui apakah model Mohr-Coulomb dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan pada kasus galian dalam. Studi dilakukan dengan menganalisis galian dalam dengan menggunakan metode elemen hingga. Setelah itu dilakukan interpretasi hasil analisis. Kemudian hasil analisis berupa deformasi dinding penahan tanah dibandingkan dengan data terukur yaitu data inklinometer. Dari perbandingan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa model Mohr-Coulomb memberikan bentuk deformasi dinding penahan tanah yang sama dengan data terukur meskipun nilai deformasinya masih jauh dengan data terukur.

Kata kunci: Model Mohr-Coulomb, Galian Dalam, Metode Elemen Hingga

BACK ANALYSIS OF DEEP EXCAVATION PROTECTION USING FINITE ELEMENT METHOD, CASE STUDY OF GUBENG PROJECT IN SURABAYA

**Ekky Kurniasandy
2014410152**

**Advisor: Siska Rustiani, Ir., M.T.
Co-Advisor: Ryan Alexander Lyman, S.T. M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT No: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DECEMBER 2019**

ABSTRACT

There are some soils models that commonly used in deep excavation analysis. One of them is Mohr-Coulomb model. Through this case study writer wants to know that Mohr-Coulomb model can describe or not, the actual condition happens in site for deep excavation. Study will be done with analyzing deep excavation problem using finite element method. Then the result of analysis will be interpreted. The result of analysis of deformation profile of retaining wall, will be compared to the inclinometer reading. From the result of comparison, writer can conclude that Mohr-Coulomb model gives similar deformation profile compared to inclinometer although the value of deformation is not close enough from inclinometer reading.

Keywords: Mohr-Coulomb Model, Deep Excavation, Finite Element Method

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas kehendak, ridha, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Back Analysis* Proteksi Galian Dalam dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga, Studi Kasus Proyek Gubeng di Surabaya”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 (Sarjana) 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 karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Siska Rustiani, Ir., M.T., selaku dosen pembimbing saya yang telah memberikan waktu, tenaga, dan ilmunya kepada mahasiswa-mahasiswi bimbingannya, memberikan semangat, nasehat, serta motivasi sehingga akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih Ibu, semoga ibu senantiasa diberikan kesehatan dan kekuatan untuk berbagi ilmu kepada mahasiswa-mahasiswa yang ada di jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
2. Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D., Bapak Aswin Lim, Ph.D., Ibu Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T., Ibu Dr. Rinda Karlinasari, Ir., M.T., selaku dosen KBI Geoteknik yang telah memberikan banyak saran dan kritik kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan lebih baik.
3. Bang Ryan Alexande Lyman, S.T., M.T., selaku dosen ko-pembimbing saya yang telah memberikan waktu, tenaga, dan ilmunya kepada saya selaku mahasiswa bimbingannya. Terimakasih atas bantuan, saran, dan masukkannya.
4. Bang Aflizal Arafianto, S.T., M.T., yang telah membantu banyak dalam pengerjaan skripsi ini. Terimakasih telah memberikan waktu, tenaga, dan energinya selama ini.

5. Mamah, dan Papah yang selalu sabar, memberikan motivasi, semangat, dan doanya kepada saya. Mah, Pah akhirnya dede berhasil menyelesaikan skripsi ini.
6. Ando, Uca, Ijal, dan Hanna sebagai teman seperjuangan saya selama pembuatan skripsi ini.
7. Arda, Danil, Devina, Via, Prinka selaku teman terdekat saya yang selalu memberi semangat dan motivasi selama saya masih ada di kampus.
8. Brian Nurrachman, sahabat saya sejak SMA yang selalu memotivasi saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. "Warga" Bison 2014 yang selalu bisa membuat saya nyaman berada di kampus, selalu memberi semangat untuk menyelesaikan studi ini.

Bandung, 10 Desember 2019



Ekky Kurniasandy

2014410152

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-1
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Ruang Lingkup Masalah	1-2
1.5 Metode Penelitian	1-3
1.5.1 Studi Literatur	1-3
1.5.2 Pengumpulan Data	1-3
1.5.3 Analisis dan Komparasi	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 Penggunaan <i>Soldier Piles</i> sebagai Dinding Penahan Tanah	2-2
2.3 Pengukuran Deformasi Lateral pada Dinding Penahan Tanah	2-4
2.4 Hukum Konstitutif pada Model Tanah	2-5
2.5 Model Mohr-Coulomb	2-6
2.6 Modulus Tanah pada Pekerjaan Galian Dalam	2-7
2.7 Prinsip Dasar Metode Elemen Hingga	2-7
BAB 3 METODE ANALISIS	3-1
3.1 Prosedur Umum untuk Analisis dengan Metode Elemen Hingga	3-1
3.1.1 Tahap Pra-Proses (Pra-processing Phase)	3-1
3.1.2 Tahap Solusi (<i>Solution Phase</i>)	3-1

3.1.3 Tahap Pasca-Proses (<i>Post-Processing Phase</i>)	3-2
3.2 Pemodelan Lapisan Tanah.....	3-2
3.3 Konsistensi dan Kepadatan Tanah.....	3-2
3.4 Penentuan Parameter Tanah	3-3
3.4.1 Berat Isi Tanah dan Berat Isi Tanah Efektif	3-3
3.4.2 Interface Element ‘Elemen Antarmuka’	3-4
3.4.3 Parameter Model Mohr-Coulomb.....	3-5
3.5 Penentuan Parameter <i>Soldier Piles</i> dan Besaran Beban.....	3-8
3.6 Pemodelan Proses Galian	3-9
3.6.1 Kondisi Awal Site	3-9
3.6.2 Instalasi Soldier Piles.....	3-9
3.6.3 Proses Penggalian, Penurunan Muka Air Tanah, dan Instalansi <i>Ground Anchor</i>	3-9
BAB 4 ANALISIS DATA.....	4-1
4.1 Data Hasil Uji Lapangan	4-1
4.2 Rangkuman Parameter Tanah yang digunakan	4-2
4.3 Data Pelaksanaan Lapangan	4-3
4.4 Data Hasil Pengukuran	4-4
4.5 Analisis Galian dengan Bantuan <i>Software PLAXIS</i>	4-5
4.5.1 Tahap Pemasukan Data (<i>Input</i>).....	4-6
4.5.2 Tahap Perhitungan (<i>Calculation</i>).....	4-8
4.5.3 Tahap Penampilan <i>Output</i>	4-23
4.6 Hasil Analisis Tegangan dan Deformasi	4-24
BAB 5 SARAN DAN KESIMPULAN	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran	5-1
DAFTAR PUSTAKA.....	xix
LAMPIRAN 1 DATA UJI BOR	1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

w	: Berat struktur per m'
ϕ	: Sudut geser dalam
ϕ'	: Sudut geser dalam efektif
γ_t	: Berat isi tanah
γ_b	: Berat isi beton
ν	: Angka poisson
A_p	: Luas penampang <i>pile</i>
s	: Jarak antar <i>bored pile</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian	1-5
Gambar 2. 1 <i>Soldier Piles</i> Beton pada Proyek <i>Basement</i> di Surabaya.....	2-3
Gambar 2. 2 Pola susunan soldier piles : (a) pola independen,.....	2-4
Gambar 2. 3 Hubungan Tegangan-Regangan pada Tanah.....	2-6
Gambar 2. 4 Model Mohr-Coulomb (sumber: Ou, 2006).....	2-6
Gambar 2. 5 Hubungan nilai E/N terhadap tegangan radial ($\Delta R/R_0$)	2-7
Gambar 3. 1 Korelasi Nilai Indeks Plastisitas terhadap.....	3-7
Gambar 4. 1 Pengukuran Deformasi Lateral pada <i>Soldier Piles</i>	4-5
Gambar 4. 2 Tampilan Awal <i>Input Software PLAXIS</i>	4-6
Gambar 4. 3 Penggambaran geometri kontur, lapisan tanah, struktur penahan tanah, serta beban, dimana semua data parameter telah dimasukkan ke dalam model.....	4-7
Gambar 4. 4 Diskretisasi model	4-7
Gambar 4. 5 Perhitungan <i>pore pressures</i>	4-8
Gambar 4. 6 Perhitungan <i>initial stresses</i>	4-8
Gambar 4. 7 Prosedur tahap pengaktifan beban A-A	4-9
Gambar 4. 8 Prosedur tahap “ <i>reset displacements to zero</i> ”	4-10
Gambar 4. 9 Prosedur Tahap Pemasangan <i>Soldier Piles</i>	4-11
Gambar 4. 10 Prosedur Pekerjaan Galian Tahap 1	4-12
Gambar 4. 11 Prosedur Penurunan M.A.T pada Pekerjaan Galian Tahap 1.....	4-13
Gambar 4. 12 Prosedur Pemasangan Angkur 1	4-14
Gambar 4.13 Prosedur Pekerjaan Galian Tahap 2	4-15
Gambar 4. 14 Prosedur Pemberian Gaya pada Angkur 1	4-16
Gambar 4. 15 Prosedur Penurunan M.A.T pada Pekerjaan Galian Tahap 2.....	4-17
Gambar 4. 16 Prosedur Pemasangan Angkur Tahap 2	4-18
Gambar 4. 17 Prosedur Galian Tahap 3	4-19
Gambar 4. 18 Prosedur Pemberian Gaya pada Angkur 2	4-20
Gambar 4. 19 Prosedur Penurunan M.A.T pada Pekerjaan Galian Tahap 3.....	4-21
Gambar 4. 20 Prosedur Pemasangan Angkur Tahap 3	4-22
Gambar 4. 21 Proses Pemodelan Runtuhnya Angkur 1	4-23

Gambar 4. 22 Urutan Tahap Perhitungan dan Cara Menampilkan <i>Output</i>	4-24
Gambar 4. 23 Deformasi Lateral Hingga Putusnya Angkur 1	4-25
Gambar 4. 24 Gaya Dalam Aksial yang Terjadi pada <i>Soldier Piles</i>	4-26
Gambar 4. 25 Gaya Dalam Geser yang Terjadi pada <i>Soldier Piles</i>	4-26
Gambar 4. 26 Besarnya Gaya Momen yang Terjadi pada <i>Soldier Piles</i>	4-27

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai Tipikal Berat Isi Tanah (γ).....	3-4
Tabel 3. 2 Rekomendasi Nilai R_{inter}	3-5
Tabel 3. 3 Nilai Parameter Modulus Elastisitas Tanah (E_0) Berdasarkan Jenis Tanah.....	3-5
Tabel 3. 4 Nilai Parameter Angka Poisson (ν) dan Angka Poisson Efektif (ν')... 3-6	
Tabel 3. 5 Hubungan antara <i>Relative Density</i> (D_r), Nilai N_{SPT} , dan Sudut Geser Dalam pada Tanah Pasir (sumber: Meyerhoff, 1956).....	3-8
Tabel 4. 1 Pemodelan Lapisan Tanah	4-1
Tabel 4. 2 Rangkuman Parameter Tanah yang digunakan pada Model Mohr-Coulomb.....	4-2

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Data Uji Bor DB-1 dan DB-2	L1-2
Lampiran 1.2 Data Uji Bor DB-3 dan DB-4	L1-3
Lampiran 2.1 Konstruksi <i>Soldier Pile</i>	L2-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Perkembangan dunia industri dan bisnis di kota-kota besar di Indonesia membuat kebutuhan suatu lahan kosong menjadi semakin tinggi. Namun, hal itu justru berbanding terbalik dengan realita yang ada di lapangan. Ketersediaan lahan kosong yang semakin sedikit membuat para *developer* harus memaksimalkan lahan yang ada, salah satu contohnya adalah membangun secara vertikal ke atas dan ke bawah. Bangunan tinggi dan pembuatan *basement* untuk dijadikan lahan parkir merupakan salah satu solusi nyata yang dapat dilakukan dalam menghadapi kondisi tersebut. Untuk merealisasikan pembangunan tersebut, maka perlu dilakukan pekerjaan penggalian.

Oleh karena itu, sebelum melakukan pekerjaan galian, perlu dilakukan analisis galian dalam. Analisis galian dalam merupakan permasalahan interaksi tanah-struktur. Salah satu contoh interaksi tanah-struktur yang terjadi pada galian dalam adalah tanah memberikan gaya lateral pada struktur penahan tanah, sehingga struktur penahan tanah mengalami deformasi. Interaksi tanah-struktur ini perlu dimodelkan dengan suatu model tanah, dimana model tanah tersebut dapat menggambarkan kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan.

Dalam ilmu geoteknik terdapat tiga model tanah yang umum yang digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah sebenarnya pada saat pekerjaan galian dilakukan yaitu model Mohr-Coulomb, model hiperbolik, dan *Cam-clay model* (Ou, 2006). Model-model tanah tersebut masing-masing memiliki parameter tanah yang nantinya akan digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan regangan.

1.2 Inti Permasalahan

Proses galian dalam pembuatan *basement* sedalam 18 meter awalnya didesain dengan menggunakan *soldier pile* dengan tiga lapis ankur sebagai *retaining system* dalam perkuatan kestabilan galian. Namun selama 7,5 bulan terjadi rembesan air dari proses *dewatering* yang cukup signifikan, dimana muka air tanah turun 10 m yang mengakibatkan tanah lempung setebal 4 m mengalami konsolidasi sebesar 21 cm. Proses konsolidasi tanah tersebut mengakibatkan penurunan lapisan tanah di

atasnya dan memberikan beban ekstra pada *ground anchor*. Apabila besarnya gaya tarik normal ditambah dengan gaya ekstra akibat penurunan tanah di atas *ground anchor* lebih besar dari kekuatan leleh *ground anchor*, maka akan terjadi keruntuhan pada *soldier pile* diakibatkan *ground anchor* yang putus tidak kuat menahan beban.

Maka dari itu, perlu dilakukan tinjauan terhadap parameter tanah yang berada di lapangan berdasarkan data sekunder yang di dapat. Selain itu perlu dilakukan analisis terhadap data yang di dapat dari lapangan (uji bor) dimana hasilnya perlu dibandingkan dengan data yang di dapat dari hasil pengukuran (pembacaan inklinometer) dengan bantuan program *PLAXIS 2D*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memperoleh parameter tanah dan parameter struktur penahan tanah yang sesuai dengan kondisi di lapangan.
2. Memperoleh besarnya deformasi yang terjadi pada struktur penahan tanah.
3. Memperoleh besarnya gaya-gaya dalam pada struktur penahan tanah.

1.4 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus yang diambil merupakan galian pada pembangunan *basement* di Surabaya.
2. Dinding penahan tanah yang digunakan dalam analisis penelitian ini adalah *soldier pile* dengan tiga lapis ankur.
3. Menurunkan parameter tanah dari hasil uji bor log untuk pemodelan tanah dengan model Mohr-Coulomb.
4. Mengaplikasikan parameter tanah ke dalam model Mohr-Coulomb.
5. Melakukan analisis galian dalam dengan menggunakan model Mohr-Coulomb.
6. Interpretasi hasil analisis pemodelan dengan model Mohr-Coulomb.

1.5 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah;

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mencari teori-teori yang berhubungan dengan subjek penelitian pada skripsi ini, khususnya mengenai model tanah Mohr-Coulomb, serta prinsip dasar analisis tegangan dan deformasi dengan menggunakan metode elemen hingga.

1.5.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder dilakukan pada lokasi proyek pembuatan *basement* yang berada di kota Surabaya berupa:

1. Data uji lapangan (uji bor),
2. data hasil pengukuran (pembacaan inklinometer),
3. data pelaksanaan lapangan (detail konstruksi *soldier piles*).

1.5.3 Analisis dan Komparasi

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dan interpretasi hasil analisis menggunakan model Mohr-Coulomb. Hasil analisis berupa deformasi struktur penahan tanah lalu akan dibandingkan dengan data hasil pengukuran deformasi yang terukur dari pembacaan inklinometer. Selanjutnya, dilakukan pemodelan ulang struktur penahan tanah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari 5 bab, yaitu:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab 1 berisi mengenai latar belakang penelitian, inti permasalahan, tujuan penelitian, lingkup permasalahan, metodologi penelitian, sistematika penulisan skripsi serta diagram alir yang akan digunakan.

BAB 2: STUDI PUSTAKA

Bab 2 berisi tentang teori dan konsep yang digunakan untuk memperoleh jawaban secara teoritis atas rumusan masalah.

BAB 3: METODE PENELITIAN

Bab 3 berisi tentang penjabaran prosedur umum untuk analisis dengan metode elemen hingga, penentuan lapis tanah, penentuan parameter tanah, penentuan parameter struktur penahan tanah, dan pemodelan proses galian.

1-4

BAB 4: DATA DAN ANALISIS DATA

Bab 4 memaparkan data hasil uji lapangan, data pelaksanaan lapangan, data hasil pengukuran inclinometer, serta memaparkan parameter tanah yang akan digunakan. Menampilkan hasil analisis tegangan dan deformasi yang dilakukan dengan *software* PLAXIS 2D.

BAB 5: SIMPULAN DAN SARAN

Bab 5 berisi simpulan yang diperoleh dari hasil analisis serta saran dari hasil penelitian ini.

1.7 Diagram Alir Penelitian

Untuk menunjukkan proses penelitian yang akan dilakukan dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini maka dibuatlah diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian