

**ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN SEGMENTER
TEROWONGAN BAWAH TANAH PADA KONDISI TANAH LUNAK**

TUGAS AKHIR



RESTY PUTRI TRESNALIANY

1232914037

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE**

JAKARTA

2025

**ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN SEGMENTER
TEROWONGAN BAWAH TANAH PADA KONDISI TANAH LUNAK**

TUGAS AKHIR



RESTY PUTRI TRESNALIANY

1232914037

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE**

JAKARTA

2025

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Resty Putri Tresnaliany

NIM : 1232914037

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Februari 2024

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Resty Putri Tresnaliany
NIM : 1232914037
Program Studi : Teknik Sipil S1
Fakultas : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Deformasi dan Tegangan Terowongan Bawah Tanah Pada Kondisi Tanah Lunak

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 28 Februari 2025

Yang menyatakan



Resty Putri Tresnaliany


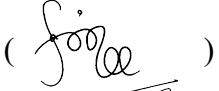

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Resty Putri Tresnaliany
NIM : 1232914037
Program Studi : Teknik Sipil S1
Fakultas : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Judul Skripsi : Analisis Deformasi dan Tegangan Segmen Terowongan Bawah Tanah Pada Kondisi Tanah Lunak

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc. ()
Pembahas 1 : Fatin Adriati, S.T., M.T. ()
Pembahas 2 : Leonardus Setia Budi Wibowo, S.T., M.T., Ph.D. ()

Ditetapkan di Jakarta

Tanggal : 28 Februari 2025

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat - Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) **Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc.**, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- 3) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 7 Februari 2024

Penulis

ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN SEGMENTER TEROWONGAN BAWAH TANAH PADA KONDISI TANAH LUNAK

Resty Putri Tresnaliany

ABSTRAK

Pembangunan kereta bawah tanah di Jakarta menawarkan alternatif transportasi yang lebih cepat dan efisien serta secara signifikan mengurangi kepadatan lalu lintas di permukaan. Namun, Jakarta cenderung memiliki tanah lunak, yang menjadi tantangan utama dalam pembangunan terowongan. Tanah lunak memiliki daya dukung rendah dan potensi penurunan yang tinggi, sehingga perlu perhatian khusus dalam perencanaan dan desainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi dan tegangan pada *tunnel lining* dengan segmenter beton pracetak menggunakan metode konstruksi *Tunnel Boring Machine* (TBM). Analisis dilakukan dengan pendekatan *Finite Element Method* (FEM) menggunakan *software* MIDAS GTS NX, dengan membandingkan respons tanah lunak terhadap desain *tunnel lining* serta implikasi hasil analisis terhadap ketahanan struktur terhadap beban yang terjadi. Hasil analisis dengan *constitutive model soft soil* menunjukkan bahwa deformasi masih berada dalam batas aman, namun tegangan yang terjadi melebihi batas yang diizinkan, bahkan pada tanah yang lebih kaku. Untuk mencegah kegagalan struktur, dilakukan *soil improvement* melalui metode *pre-injection grouting*. Setelah perbaikan tanah, tegangan pada *tunnel lining* berkurang hingga berada di bawah batas yang diizinkan, serta deformasi berkurang secara signifikan.

Kata kunci: *tunnel lining*, tanah lunak, deformasi, tegangan, *Finite Element Method* (FEM)

***ANALYSIS OF DEFORMATION AND STRESS IN UNDERGROUND
TUNNEL SEGMENTS UNDER SOFT SOIL CONFITION***

Resty Putri Tresnaliany

ABSTRACT

The construction of the Jakarta subway provides a faster and more efficient transportation alternative while significantly reducing surface traffic congestion. However, Jakarta predominantly consists of soft soil, posing a major challenge in tunnel construction. Soft soil has low bearing capacity and high settlement potential, requiring special consideration in planning and design. This study aims to analyze the deformation and stress in tunnel lining with precast concrete segments using the Tunnel Boring Machine (TBM) construction method. The analysis is conducted using the Finite Element Method (FEM) with MIDAS GTS NX software, comparing the response of soft soil to tunnel lining design and evaluating its structural performance under applied loads. The analysis results, using the soft soil constitutive model, indicate that while deformation remains within a safe range, the generated stress exceeds the allowable limits, even in stiffer soil conditions. To prevent structural failure, soil improvement is implemented through pre-injection grouting. After soil improvement, the stress on the tunnel lining is reduced to within permissible limits, and deformation is significantly minimized.

Keywords: tunnel lining, soft soil, deformation, stress, Finite Element Method (FEM)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Definisi Terowongan.....	6
2.2 Klasifikasi Terowongan	6
2.3 Metode Konstruksi Terowongan.....	8
2.3.1 Ledakan dan Bor (<i>Drill and Blast</i>).....	8
2.3.2 <i>Tunnel Boring Machine</i> (TBM).....	9
2.3.3 <i>New Australian Tunneling Method</i> (NATM).....	10
2.4 Klasifikasi Tanah	12
2.5 Tanah Lunak	13
2.5.1 Sifat Tanah Lunak	14
2.5.2 Permasalahan pada Tanah Lunak	15
2.6 Stabilisasi Tanah	15
2.6.1 Perbaikan Tanah	16
2.6.2 Perkuatan Tanah	17
2.7 Perancangan Struktur Pelapis Terowongan	18
2.7.1 Prinsip Dasar Desain Struktur	20
2.7.2 Beban Rencana	21
2.7.3 Gaya Dalam pada Terowongan	21
2.7.4 Tegangan yang Diizinkan	23
2.8 <i>Finite Element Method</i> (GTS NX)	25

2.9	<i>Constitutive Model</i>	26
2.9.1	<i>Soft Soil Model</i>	27
2.9.2	Keunggulan dan Kelemahan menggunakan <i>Soft Soil Model</i>	29
2.9.3	Parameter Input.....	30
2.10	Penelitian Terdahulu.....	32
3.	METODE PENELITIAN	34
3.1	<i>Flowchart</i>	34
3.2	Data Geoteknik.....	36
3.3	Data Perencanaan Struktur.....	37
3.4	<i>Soil Improvement</i> dengan <i>Injection Grouting</i>	39
3.5	Pemodelan.....	40
3.5.1	<i>Material Properties</i>	40
3.5.2	<i>Soil Material</i>	41
3.5.3	Model Geometri, Pembebanan dan Tahapan Konstruksi.....	43
4.	ANALISA PERANCANGAN	46
4.1	Analisis Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>).....	47
4.1.1	<i>Displacement</i>	47
4.1.2	Gaya Dalam pada Pelapis Terowongan.....	47
4.1.3	Gaya Dalam pada Sambungan Segmen.....	49
4.1.4	Rekapitulasi.....	50
4.2	Analisis Simulasi Kedua (<i>Stiff Soil</i>).....	51
4.2.1	<i>Displacement</i>	51
4.2.2	Gaya Dalam pada Pelapis Terowongan.....	51
4.2.2	Gaya Dalam pada Sambungan Segmen.....	53
4.2.3	Rekapitulasi.....	54
4.3	Analisis Simulasi Kedua Setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	54
4.3.1	<i>Displacement</i>	55
4.3.2	Gaya Dalam pada Pelapis Terowongan.....	56
4.3.3	Gaya Dalam pada Sambungan Segmen.....	57
4.3	Rekapitulasi.....	58
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	60
	DAFTAR PUSTAKA	X

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Stasiun Kereta Bawah Tanah MRT Jakarta	1
Gambar 1.2 Peta sebaran tanah di Jakarta	2
Gambar 1.3 Tunnel Boring Machine (TBM).....	2
Gambar 1.4 Segmen <i>Tunnel Lining</i>	3
Gambar 2.1 <i>Drilling Pattern Design</i>	9
Gambar 2.2 Skematik EPB TBM (EFNARC, 2005).....	9
Gambar 2.3 Tipe Penggalian NATM	11
Gambar 2.5 <i>Tunnel Lining</i>	18
Gambar 2.6 Segmen <i>Ring Tunnel</i>	19
Gambar 2.7 Ilustrasi Segmen <i>Final Lining</i>	19
Gambar 2.8 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Berat Sendiri.....	23
Gambar 2.9 Area Distribusi Gaya Tekan	24
Gambar 2.10 Hubungan antara tegangan volume dengan tekanan efektif rata-rata.....	29
Gambar 2.11 Hubungan antara tegangan volume dengan tekanan efektif rata-rata.....	29
Gambar 2.12 Parameter Input <i>Soft Soil</i> Material MIDAS GTS NX	30
Gambar 2.13 Rekap Parameter Input <i>Soft Soil</i> Material MIDAS GTS NX	30
Gambar 3.1 Flowchart metodologi penelitian	34
Gambar 3.2 Potongan Melintang Struktur Pelapis Terowongan	37
Gambar 3.3 <i>Unrolled and Rolled Tunnel Lining</i>	38
Gambar 3.4 <i>Modeling segment connection</i>	38
Gambar 2.4 <i>Typical Grout Pattern</i>	39
Gambar 3.5 Material Properties MIDAS GTS NX	40
Gambar 3.6 Pemodelan Segmen Terowongan.....	43
Gambar 3.7 Pemodelan Koneksi Sambungan Antar Segmen dan Cincin Terowongan	43
Gambar 3.8 Pemodelan tanah.....	44
Gambar 3.9 Pemodelan Tanah Dalam Kondisi yang Berbeda	44
Gambar 3.10 Pemodelan Pembebanan	45
Gambar 3.11 Tahap Perhitungan pada <i>Construction Stage</i>	45
Gambar 4.1 <i>Z displacement</i> Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>).....	47
Gambar 4.2 Tegangan pada Pelapis Terowongan pada Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>)	48
Gambar 4.3 Tegangan akibat momen lentur pada Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>)	48
Gambar 4.4 Tegangan Geser pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>)	49
Gambar 4.5 Tegangan Lekat pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>)	50
Gambar 4.6 <i>Z displacement</i> Simulasi Pertama (<i>Stiff Soil</i>).....	51
Gambar 4.7 Tegangan pada Pelapis Terowongan Simulasi Kedua (<i>Stiff Soil</i>)	52
Gambar 4.8 Tegangan akibat Momen Lentur pada kondisi Simulasi Kedua (<i>Stiff Soil</i>).....	52
Gambar 4.9 Tegangan Geser Simulasi Kedua (<i>Stiff Soil</i>).....	53
Gambar 4.10 Tegangan Lekat Simulasi Kedua (<i>Stiff Soil</i>)	53
Gambar 4.11 <i>Z displacement</i> Setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	55
Gambar 4.12 Tegangan Tekan Setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	56
Gambar 4.13 Tegangan Tekan Akibat Momen Lentur Setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	56
Gambar 4.14 Tegangan Geser Setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	57
Gambar 4.15 Tegangan lekat setelah dilakukan <i>Soil Improvement</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Tipe Terowongan (JSCE, 2007).....	7
Tabel 2.2 Kronologi pengembangan NATM	10
Tabel 2.3 Bagan Klasifikasi Tanah	12
Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Lunak berdasarkan Kuat Geser.....	14
Tabel 2.5 Bagan Klasifikasi Tanah	15
Tabel 2.6 Tegangan yang Diizinkan pada Segmen Beton	23
Tabel 2.7 Parameter Input dan Satuan <i>Soft Soil</i> Material pada MIDAS GTS NX	31
Tabel 3.1 Tabel Data Tanah (<i>Borehole</i>)	36
Tabel 3.2 Data Perencanaan Desain Struktur	37
Tabel 3.3 <i>Soil Parameter Input</i> (Simulasi 1).....	41
Tabel 3.4 <i>Soil Parameter Input</i> (Simulasi 2).....	41
Tabel 3.5 <i>Soil Parameter Input</i> (Simulasi 3).....	42
Tabel 3.6 <i>Segmen Material</i>	42
Tabel 3.7 <i>Segmen Connection Material</i>	43
Tabel 4.1 Rekapitulasi Deformasi pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>).....	50
Tabel 4.2 Rekapitulasi Gaya Dalam pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Soft Soil</i>).....	50
Tabel 4.3 Rekapitulasi Deformasi pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Stiff Soil</i>).....	54
Tabel 4.4 Rekapitulasi Gaya Dalam pada kondisi Simulasi Pertama (<i>Stiff Soil</i>).....	54
Tabel 4.5 Rekapitulasi Deformasi	58
Tabel 4.6 Rekapitulasi Gaya Dalam	58