

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Definisi Terowongan .....	5
2.2 Macam-macam Bentuk Terowongan.....	5
2.3 Klasifikasi Terowongan.....	8
2.3.1 Terowongan Berdasarkan Kegunaan.....	8
2.3.2 Terowongan Berdasarkan Lokasi .....	9
2.3.3 Terowongan Berdasarkan Material di Lapangan.....	10
2.4 Metode Konstruksi Terowongan .....	11
2.4.1 <i>Tunnel Bore Machine</i> (TBM).....	11
2.4.2 <i>New Austrian Tunneling Method</i> (NATM) .....	15
2.5 Parameter Tanah .....	17

2.5.1	Berat Isi Tanah.....	18
2.5.2	Modulus Elastisitas Tanah.....	18
2.5.3	Sudut Geser Dalam.....	19
2.5.4	Kohesi Tanah.....	20
2.5.5	Permeabilitas tanah.....	20
2.6	Metode Numerik (PLAXIS 3D) .....	21
2.7	<i>Hardening Soil Model</i> .....	22
2.8	<i>Face Support Pressure for Shield Tunneling</i> .....	26
2.9	Kegempaan .....	31
2.10	Stabilitas Terowongan ( <i>Face Stability</i> ) .....	36
2.11	Faktor Keamanan.....	36
2.12	Referensi Penelitian Terkait .....	37
2.12.1	<i>Tunnels, Types &amp; Importance</i> .....	37
2.12.2	Design Considerations for Single Twin-Track Railway NATM Tunnel over Mountainous Terrain in Kenny Hill Formation.....	38
2.12.3	Pemodelan Terowongan Pada Batuan Dengan Metode <i>Finite Element</i> , Studi Kasus Terowongan <i>Diversion Tunnel</i> Rencana Bendungan Jambu Aye, Nangro Aceh Darusalam .....	39
2.12.4	Pertimbangan Geoteknik Pada Konstruksi <i>Subway</i> Untuk Jakarta Metro	39
<b>BAB III.....</b>		<b>40</b>
<b>METODE PENELITIAN.....</b>		<b>40</b>
3.1	Tinjauan Pustaka.....	41
3.2	Pengumpulan Data.....	41
3.2.1	Data Struktur Terowongan .....	41
3.2.2	Data Parameter Tanah .....	42
3.2.3	Data Topografi.....	43
3.2.4	Data Gempa .....	44

3.3	Pemodelan Terowongan .....	44
3.4	Analisis Statik dan Analisis Dinamik .....	45
3.5	Pembahasan dan Kesimpulan .....	46
<b>BAB IV</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>
<b>ANALISIS PEMBAHASAN</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>
4.1	Pembuatan Model Geometri .....	47
4.2	Pembuatan Model Penampang Terowongan .....	47
4.3	Perhitungan <i>Face Support Pressure</i> .....	50
4.4	<i>Stage Constructions</i> .....	54
4.4.1	Analisis Statik .....	56
4.4.2	Analisis Dinamik .....	56
4.5	Hasil Analisis Pemodelan PLAXIS 3D .....	58
4.5.1	Hasil Proses Analisis Statik .....	58
4.5.2	Hasil Proses Analisis Dinamik .....	67
4.5.3	Pola Keruntuhan Galian Terowongan .....	72
<b>BAB V</b>	<b>.....</b>	<b>74</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>.....</b>	<b>74</b>
5.1	Kesimpulan .....	74
5.2	Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi terowongan kereta cepat Indonesia .....	2
Gambar 2. 1 Bentuk terowongan lingkaran .....	6
Gambar 2. 2 Bentuk terowongan persegi.....	6
Gambar 2. 3 Bentuk terowongan tapal kuda.....	7
Gambar 2. 4 Terowongan bentuk huruf “D” .....	7
Gambar 2. 5 Terowongan bentuk telur .....	7
Gambar 2. 6 Perangkat mesin bor Mr. I. Bøhn.....	11
Gambar 2. 7 <i>Tunnel Bor Machine</i> .....	12
Gambar 2. 8 Alur galian <i>hard rock</i> TBM .....	13
Gambar 2. 9 <i>Hard rock tunnel bore machine</i> .....	13
Gambar 2. 10 Mesin TBM dengan tipe <i>slurry shield bore machine</i> .....	14
Gambar 2. 11 Mesin TBM dengan tipe <i>earth pressure balance</i> .....	14
Gambar 2. 12 Tipe skema desain penggalian NATM.....	16
Gambar 2. 13 Detail sistem pendukung pada terowongan dengan metode NATM .....	17
Gambar 2. 14 Korelasi nilai modulus elastisitas terhadap nilai N-SPT dan Cu .....	19
Gambar 2. 15 Hubungan antara variabel-variabel dalam penyusunan persamaan elemen hingga.....	22
Gambar 2. 16 Definisi nilai $E_{50}^{ref}$ dan $E_{ur}^{ref}$ dari hasil uji <i>triaxial drained</i> .....	25
Gambar 2. 17 Definisi nilai $E_{oed}^{ref}$ dari hasil pengujian oedometer.....	26
Gambar 2. 18 Mekanisme keruntuhan galian terowongan arah memanjang (a), arah melintang (b) .....	27
Gambar 2. 19 Grafik contoh variasi sudut geser ( $\vartheta$ ) .....	30
Gambar 2. 20 Kurva spektrum respon desain .....	34
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian .....	40
Gambar 3. 2 Bentuk penampang terowongan.....	42
Gambar 3. 3 Data topografi terowongan .....	43
Gambar 3. 4 Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 .....	44
Gambar 3. 5 Model dengan perkuatan <i>lining</i> .....	45
Gambar 3. 6 Model dengan perkuatan <i>lining</i> dan <i>grouting</i> .....	45
Gambar 4. 1 Model geometri terowongan kereta cepat Indonesia .....	47

Gambar 4. 2 Tanah pada penampang terowongan dinon-aktifkan .....	48
Gambar 4. 3 <i>Outer lining</i> diaktifkan.....	48
Gambar 4. 4 Hasil <i>mesh</i> model geometri terowongan .....	49
Gambar 4. 5 Hasil pembagian <i>node</i> dari proses <i>meshing</i> .....	50
Gambar 4. 6 Posisi elevasi muka air tanah .....	50
Gambar 4. 7 Kurva untuk menentukan nilai $E_{max, re}$ .....	52
Gambar 4. 8 Pemodelan galian pada program PLAXIS 3D .....	54
Gambar 4. 9 Pemodelan galian pada program PLAXIS 3D untuk <i>phase</i> selanjutnya ...	55
Gambar 4. 10 Pemodelan pada <i>phase</i> pengaktifan <i>grouting</i> .....	55
Gambar 4. 11 Pemodelan pada <i>phase</i> terowongan telah selesai dibuat dan dilakukan proses konsolidasi .....	56
Gambar 4. 12 <i>Total displacement</i> tiap panjang galian terowongan.....	59
Gambar 4. 13 Distribusi arah deformasi pada permukaan.....	60
Gambar 4. 14 <i>Axial force</i> tiap panjang galian terowongan.....	61
Gambar 4. 15 Pengaruh <i>axial force</i> terhadap distribusi penampang dari sistem perkuatan terowongan .....	62
Gambar 4. 16 <i>Shear force</i> tiap panjang galian terowongan.....	63
Gambar 4. 17 Pengaruh <i>shear force</i> terhadap distribusi penampang dari sistem perkuatan terowongan .....	64
Gambar 4. 18 <i>Bending moment</i> tiap panjang galian terowongan .....	65
Gambar 4. 19 Pengaruh <i>bending moment</i> terhadap distribusi penampang dari sistem perkuatan terowongan .....	66
Gambar 4. 20 Area kritis pada <i>safety analysis</i> .....	67
Gambar 4. 21 <i>Total displacement</i> pada kondisi longterm .....	68
Gambar 4. 22 <i>Total displacement</i> dari hasil proses analisis dinamik.....	68
Gambar 4. 23 Distribusi arah deformasi pada permukaan pada analisis dinamik .....	69
Gambar 4. 24 Hasil <i>axial force</i> yang terjadi pada analisis dinamik .....	70
Gambar 4. 25 Hasil <i>shear force</i> yang terjadi pada analisis dinamik .....	70
Gambar 4. 26 Hasil <i>bending moment</i> yang terjadi pada analisis dinamik.....	71
Gambar 4. 27 Bidang gelincir <i>safety analysis</i> kondisi gempa .....	72
Gambar 4. 28 Pola keruntuhan pada saat kondisi <i>longterm</i> .....	73
Gambar 4. 29 Pola keruntuhan akibat proses penggalian dengan kedalaman 40 m.....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kronologis perkembangan NATM .....	15
Tabel 2. 2 Tabel korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah.....	18
Tabel 2. 3 Tabel korelasi antara kepadatan tanah dengan kohesi .....	20
Tabel 2. 4 Tabel korelasi antara jenis tanah dengan nilai permeabilitas tanah.....	21
Tabel 2. 5 Referensi nilai koefisien gaya lateral tanah .....	29
Tabel 2. 6 Kriteria perancangan gempa berdasarkan peruntukannya .....	32
Tabel 2. 7 Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F <sub>pga</sub> dan F <sub>a</sub> ).....	32
Tabel 2. 8 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F <sub>v</sub> ) .....	33
Tabel 2. 9 Klasifikasi situs.....	33
Tabel 3. 1 Parameter sistem perkuatan <i>lining</i> .....	42
Tabel 3. 2 Parameter sistem perkuatan <i>grouting</i> .....	42
Tabel 3. 3 Data parameter tanah yang digunakan untuk pemodelan .....	43
Tabel 4. 1 Hasil <i>overburden pressure</i> pada bagian atas galian terowongan.....	51
Tabel 4. 2 Rata-rata nilai parameter berat isi dan kuat geser pada muka galian.....	51
Tabel 4. 3 Data yang diperlukan untuk perhitungan <i>face support pressure</i> .....	52
Tabel 4. 4 Hasil variasi sudut keruntuhan untuk menentukan $E_{max, re}$ .....	52
Tabel 4. 5 Hasil akhir perhitungan <i>face support pressure</i> .....	53
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan N-SPT rata-rata .....	57
Tabel 4. 7 Nilai <i>total displacement</i> dari setiap panjang galian .....	58
Tabel 4. 8 Perbandingan deformasi dari dua kondisi sistem perkuatan.....	60
Tabel 4. 9 Nilai <i>axial force</i> setiap panjang galian .....	62
Tabel 4. 10 Nilai <i>shear force</i> setiap panjang galian .....	64
Tabel 4. 11 Nilai <i>bending moment</i> setiap panjang galian .....	66
Tabel 4. 12 Nilai faktor keamanan setiap panjang galian .....	67
Tabel 4. 13 Perbandingan <i>safety factor</i> sebelum dan setelah terjadi gempa .....	72