

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang mana atas rahmat dan karunia-Nya Tugas Akhir ini dapat selesai. Sholawat serta salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Numerik Stabilitas Terowongan Nanjung Kabupaten Bandung**” ini disusun guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil di Universitas Siliwangi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari semua pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, diantaranya kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan motivasi, doa, arahan dan bimbingan, serta dukungan moril maupun materiil.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. H. Aripin selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Siliwangi.
3. Bapak Ir. Pengki Irawan, S.TP., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Siliwangi serta Dosen Wali yang telah memberikan arahan dan masukan semasa perkuliahan.
4. Bapak Empung, Ir., M.T., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan banyak masukan kepada penulis.

5. Bapak Syarif Al-Huseiny, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan banyak masukan kepada penulis.
6. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2016 terima kasih atas kebersamaannya dan juga senantiasa memberikan bantuan, semangat, serta motivasi.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa Tugas Akhir (TA) ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran dari para pembaca sangat diharapkan demi penyempurnaan Tugas Akhir (TA) ini di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Tasikmalaya, Desember 2022



Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>I</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	2
<b>2. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Terowongan .....	4
2.2 Klasifikasi Tanah .....	4
2.3 Pembebanan Terowongan.....	7
2.3.1 Beban Mati .....	7
2.3.2 Beban Gempa .....	13
2.3.3 Kondisi Pembebanan .....	17
2.4 Gaya Dalam pada Terowongan.....	18
2.5 Penulangan pada Terowongan .....	23
2.6 Analisis Stabilitas Terowongan .....	25
2.6.1 Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ) .....	25

2.6.2 Metode Elemen Hingga Menggunakan Midas GTS NX.....	25
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	28
3.3 Tahapan Perencanaan.....	38
3.4 Perhitungan dengan Program MIDAS GTS NX.....	40
3.4.1 Pemodelan .....	40
3.4.2 Identifikasi Material dan Property .....	41
3.4.3 Identifikasi Metode dan Parameter Perhitungan .....	43
3.4.4 Mengubah Sistem Koordinat .....	44
3.4.5 Pengaturan Kondisi Beban .....	46
3.4.6 Analisis Struktural .....	48
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Parameter Tanah .....	49
4.1.1 Data Tanah.....	49
4.1.2 Data Geoteknik Terowongan.....	50
4.2 Analisis Pembebanan Terowongan.....	51
4.2.1 Perhitungan Pembebanan .....	51
4.2.2 Kombinasi Pembebanan .....	59
4.3 Analisis Gaya Dalam Terowongan .....	61
4.3.1 Kondisi Setelah Dibangun .....	63
4.3.2 Kondisi Setelah Dibangun (Gempa).....	68
4.3.3 Kondisi Terowongan saat Beroperasi.....	71
4.3.4 Kondisi Terowongan saat Beroperasi (Gempa).....	76
4.3.5 Momen dan Lintang Maksimum Metode Beggs .....	81
4.3.6 Pemodelan dengan Midas GTS NX .....	81
4.4 Penulangan pada Terowongan .....	84
4.4.1 Penulangan Atas .....	85
4.4.2 Penulangan Samping .....	88
4.4.3 Penulangan Bawah .....	91
4.4.4 Hasil Penulangan .....	95

4.5 Pembahasan.....	98
4.5.1 Pembebanan Terowongan .....	98
4.5.2 Gaya Dalam Terowongan.....	101
4.5.3 Penulangan .....	103
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>109</b>
5.1 Kesimpulan .....	109
5.2 Saran .....	110
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>111</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tinggi Muatan Batuan .....	8
Tabel 2.2 Hubungan Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah .....	10
Tabel 2.3 Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastruktur ...	14
Tabel 2.4 Klasifikasi Situs .....	15
Tabel 2.5 Faktor amplikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik ( $F_{pga}$ dan $F_a$ ) .....	16
Tabel 2.6 Besarnya nilai faktor amplikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ).....	16
Tabel 3.1 Keterangan Batuan.....	30
Tabel 4.1 Parameter Tanah .....	49
Tabel 4.2 <i>Properties of Rockbolt</i> .....	50
Tabel 4.3 <i>Properties of Shotcrete</i> .....	50
Tabel 4.4 <i>Properties of Wiremesh</i> .....	50
Tabel 4.5 <i>Properties of Forepoling</i> .....	50
Tabel 4.6 <i>Properties of Invert/Lining Tunnel</i> .....	51
Tabel 4.7 <i>Properties of Steel Arch/Steel Rib</i> .....	51
Tabel 4.8 <i>Properties of Concrete Tunnel</i> .....	51
Tabel 4.9 Korelasi N SPT .....	52
Tabel 4.10 Tekanan Batuan Horizontal .....	54
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang Berat Sendiri Setelah dibangun .....	65
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang Tekanan Batuan Vertikal .....	66
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang Tekanan Batuan Horizontal .	66
Tabel 4.14 Total Perhitungan Terowongan Kondisi Setelah dibangun .....	67

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang untuk Berat Sendiri (gempa)	68
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang Tekanan Batuan Vertikal (gempa) .....	69
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Momen dan Lintang Tekanan Batuan Horizontal (gempa) .....	69
Tabel 4.18 Total Perhitungan Momen & Lintang Kondisi Setelah dibangun (gempa) .....	70
Tabel 4.19 Momen & Lintang Berat Sendiri saat Terowongan Beroperasi.....	71
Tabel 4.20 Momen & Lintang Tekanan Batuan Vertikal saat Terowongan Beroperasi .....	72
Tabel 4.21 Momen & Lintang Tekanan Batuan Horizontal saat Terowongan Beroperasi .....	72
Tabel 4.22 Momen & Lintang Tekanan Air Vertikal saat Terowongan Beroperasi .....	73
Tabel 4.23 Momen & Lintang Tekanan Air Horizontal saat Terowongan Beroperasi .....	73
Tabel 4.24 Momen & Lintang Tekanan Air dari Dalam saat Terowongan Beroperasi .....	74
Tabel 4.25 Total Momen & Lintang saat Terowongan Beroperasi .....	75
Tabel 4.26 Momen & Lintang Berat Sendiri saat Terowongan Beroperasi (Gempa) .....	76
Tabel 4.27 Momen & Lintang Tekanan Batuan Vertikal saat Terowongan Beroperasi (Gempa) .....	77

Tabel 4.28 Momen & Lintang Tekanan Batuan Horizontal saat Terowongan Beroperasi (Gempa) .....	77
Tabel 4.29 Momen & Lintang Tekanan Air Vertikal saat Terowongan Beroperasi (Gempa).....	78
Tabel 4.30 Momen & Lintang Tekanan Air Horizontal saat Terowongan Beroperasi (Gempa).....	78
Tabel 4.31 Momen & Lintang Tekanan Air dari Dalam saat Terowongan Beroperasi (Gempa).....	79
Tabel 4.32 Total Momen & Lintang saat Terowongan Beroperasi (Gempa) .....	80
Tabel 4.33 Total Hasil Perhitungan Momen dan Lintang menggunakan Metode Beggs.....	81
Tabel 4.34 Diameter Tulangan.....	95
Tabel 4.35 Tekanan Batuan Horizontal .....	99



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi Unified .....	6
Gambar 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO .....	7
Gambar 2.3 Arah Beban Total Terowongan Tapal Kuda .....	12
Gambar 2.4 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Berat Sendiri.....	21
Gambar 2.5 Koefisien Pembebanan Akibat Tekanan Batuan Vertikal.....	21
Gambar 2.6 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air Horizontal.....	22
Gambar 2.7 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air Vertikal.....	22
Gambar 2.8 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Batuan Horizontal..	23
Gambar 2.9 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air Dalam Terowongan .....	23
Gambar 3.1 Peta Lokasi Terowongan Nanjung .....	27
Gambar 3.2 Peta Rencana Terowongan Nanjung .....	27
Gambar 3.3 General <i>Site Plan</i> Terowongan Nanjung.....	28
Gambar 3.4 Peta Topografi <i>Inlet Tunnel</i> .....	29
Gambar 3.5 Peta Topografi <i>Outlet Tunnel</i> .....	29
Gambar 3.6 Penampang Statigrafi Bantuan .....	30
Gambar 3.7 BG-5 BH-3 Detail .....	31
Gambar 3.8 <i>Geological cross section</i> .....	32
Gambar 3.9 Penampang Geologi Terowongan .....	33
Gambar 3.10 <i>Borehole of Upper Citarum Basin Flood Management</i> .....	33
Gambar 3.11 Peta Zonasi Gempa Indonesia .....	34
Gambar 3.12 Nilai Spektrum Gempa di Terowongan Nanjung.....	34

Gambar 3.13 Penampang Terowongan .....	35
Gambar 3.14 <i>Section</i> .....	35
Gambar 3.15 Potongan Melintang Terowongan .....	36
Gambar 3.16 <i>Cross Section Inlet</i> .....	37
Gambar 3.17 Diagram Alir Penelitian .....	38
Gambar 3.18 Diagram Alir Perhitungan Pembebanan dan Momen .....	39
Gambar 3.19 Diagram Alir Perhitungan Program Komputer Midas GTS NX .....	39
Gambar 3.20 <i>Analysis Setting</i> .....	40
Gambar 3.21 Gambar 2D dari Terowongan dan Tanah.....	41
Gambar 3.22 Langkah untuk membuka Menu Pengaturan Material atau Property .....	41
Gambar 3.23 Pengaturan Material .....	42
Gambar 3.24 Pengaturan Property .....	42
Gambar 3.25 Langkah pertama identifikasi metode perhitungan .....	43
Gambar 3.26 <i>Analysis Control</i> .....	44
Gambar 3.27 <i>Generate Mesh</i> .....	45
Gambar 3.28 Tampilan <i>element Csys</i> .....	45
Gambar 3.29 <i>Submenu Load</i> .....	46
Gambar 3.30 <i>Self Weight</i> .....	46
Gambar 3.31 <i>Beam Load</i> .....	47
Gambar 3.32 <i>Horizontal Earth Pressure</i> .....	48
Gambar 3.33 <i>Vertical Earth Pressure</i> .....	48
Gambar 4.1 Tekanan Batuan Vertikal.....	53
Gambar 4.2 Diagram Tekanan Batuan Horizontal.....	54

Gambar 4.3 Tekanan Batuan Horizontal.....	55
Gambar 4.4 Tekanan Air Vertikal.....	57
Gambar 4.5 Tekanan Air Horizontal.....	58
Gambar 4.6 Tekanan <i>Uplift</i> .....	58
Gambar 4.7 Tekanan Air dari dalam Terowongan.....	59
Gambar 4.8 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Berat Sendiri.....	61
Gambar 4.9 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Batuan Vertikal.....	62
Gambar 4.10 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Batuan Horizontal	62
Gambar 4.11 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air Horizontal.....	62
Gambar 4.12 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air Vertikal.....	63
Gambar 4.13 Koefisien Pembebanan Beban Akibat Tekanan Air dari dalam.....	63
Gambar 4.14 Momen menggunakan Metode Beggs pada Kondisi Setelah dibangun .....	68
Gambar 4.15 Momen menggunakan Metode Beggs pada Kondisi Setelah dibangun (Gempa).....	71
Gambar 4.16 Momen menggunakan Metode Beggs pada Kondisi setelah beroperasi .....	75
Gambar 4.17 Momen menggunakan Metode Beggs pada Kondisi saat beroperasi (gempa) .....	80
Gambar 4.18 Terowongan Tapal Kuda Tampak Depan GTS NX .....	81
Gambar 4.19 Tekanan Tanah Horizontal dengan GTS NX .....	82
Gambar 4.20 Tekanan Tanah Vertikal dengan GTS NX .....	82
Gambar 4.21 Analysis Case pada tab Analys .....	83
Gambar 4.22 Hasil Shear Force pada Software GTS NX .....	84

Gambar 4.23 Hasil Momen pada Software GTS NX.....	84
Gambar 4.24 Diameter Tulangan.....	95
Gambar 4.25 Detail Terowongan.....	97

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Gambar Perencanaan
- Lampiran 2** *Geological Cross Section*
- Lampiran 3** SK Pembimbing Tugas Akhir
- Lampiran 4** Konsultasi Tugas Akhir
- Lampiran 5** Revisi Laporan Tugas Akhir