

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian .....	4
I.4 Manfaat Penelitian .....	4
I.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
I.6 Keterbatasan Penelitian .....	7
I.7 Penelitian Terdahulu .....	7
I.8 Keaslian Penelitian .....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>10</b>
II.1 Fisiografi.....	10
II.2 Stratigrafi Regional.....	11
II.3 Struktur Geologi Regional.....	13
II.4 Kegempaan .....	15
II.5 Desain Geometri Terowongan .....	20
<b>BAB III DASAR TEORI.....</b>	<b>24</b>
III.1 Terowongan .....	24
III.2 Penyelidikan Geologi Teknik.....	25
III.3 Sifat Indeks Batuan dan Tanah .....	31
III.4 Sifat Mekanik Batuan dan Tanah.....	33
III.5 <i>Rock Quality Designation (RQD)</i> .....	35
III.6 Sistem Klasifikasi <i>Rock Mass Rating (RMR)</i> .....	37



III.7	<i>Summing Quality Index (Q-system)</i> .....	45
III.8	Pendekatan Empiris Penentuan Metode Penggalian dan Sistem Penyangga Terowongan .....	53
III.9	<i>Geological Strength Index (GSI)</i> .....	59
III.10	Metode Elemen Hingga .....	68
III.11	Hipotesis .....	69
<b>BAB IV METODOLOGI</b> .....		<b>71</b>
IV.1	Alat dan Bahan Penelitian .....	71
IV.2	Tahapan Penelitian .....	73
IV.2.1	Tahapan Persiapan .....	75
IV.2.2	Tahapan Pengumpulan Data .....	75
IV.2.3	Tahapan Pengolahan dan Analisis Data .....	83
IV.2.4	Tahapan Hasil dan Pelaporan .....	86
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....		<b>87</b>
V.1	Penyelidikan Kondisi Geologi Teknik .....	87
V.1.1	Geomorfologi .....	87
V.1.2	Litologi Permukaan .....	94
V.1.3	Litologi Bawah Permukaan .....	109
V.1.4	Struktur Geologi .....	117
V.1.5	Air Tanah .....	123
V.1.6	Geodinamika.....	124
V.2	Analisis Metode Penggalian Terowongan Berdasarkan RMR dan GSI .....	126
V.3	Penentuan Sistem Penyangga Terowongan .....	130
V.3.1	Sistem Penyangga Berdasarkan RMR.....	130
V.3.2	Sistem Penyangga Berdasarkan <i>Q-system</i> .....	130
V.4	Analisis Kestabilan Terowongan .....	133
V.4.1	Analisis Potensi <i>Groundwater Inflow</i> Secara Numerik.....	133
V.4.2	Analisis Kestabilan Terowongan Secara Numerik .....	137
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		<b>163</b>
VI.1	Kesimpulan .....	163
VI.2	Saran .....	165
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>166</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>170</b>

Gambar I. 1 Lokasi Penelitian Terowongan Bendungan Rongkong .....	5
Gambar II. 1 Fisiografi Pulau Sulawesi (Hall & Wilson, 2000 dalam Sompotan, 2012).....	11
Gambar II. 2 Potongan Peta Geologi Sekitar Daerah Penelitian, Lembar Malili, Sulawesi (Simandjuntak dkk., 1991).....	12
Gambar II. 3 Kolom Stratigrafi Regional Lembar Malili, Sulawesi (Simandjuntak dkk., 1991) .....	13
Gambar II. 4 Peta Sesar Aktif Regional Pulau Sulawesi (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) .....	14
Gambar II. 5 Peta Kerawanan Gempabumi Daerah Penelitian (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2012) .....	15
Gambar II. 6 Nilai PGA pada probabilitas 7 % dalam 75 tahun di Daerah Penelitian (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) .....	18
Gambar II. 7 Tipikal Geometri Terowongan Pengelak Bendungan Rongkong (Direktorat Bendungan dan Danau, 2022).....	21
Gambar II. 8 Layout Plan dan Profil Memanjang Terowongan Pengelak Bendungan Rongkong (Direktorat Bendungan dan Danau, 2022) .....	22
Gambar II. 9 Profil Melintang Geologi pada As Bendungan Rongkong (Direktorat Bendungan dan Danau, 2022).....	23
Gambar III. 1 Tipikal Bentuk Penampang Terowongan.....	25
Gambar III. 2 Dimensi Sampel untuk Uji <i>Point Load Index</i> (ASTM, 2016).....	34
Gambar III. 3 Contoh Prosedur Pengukuran dan Perhitungan Nilai RQD.....	37
Gambar III. 4 Geometrik Properti Diskontinuitas (Hudson, 1989).....	40
Gambar III. 5 Grafik <i>Stand-up Time</i> Galian Terowongan Berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989) .....	45
Gambar III. 6 <i>Rock Support Chart</i> pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025) .....	57
Gambar III. 7 Rekomendasi Sistem Penyangga Berdasarkan <i>Q-system</i> (NGI, 2025) .....	57
Gambar III. 8 <i>Chart</i> Estimasi Nilai GSI untuk Batuan Terkekarkan (Hoek & Marinos, 2000) .....	60
Gambar III. 9 <i>Chart</i> Estimasi Nilai GSI untuk Batuan Metamorf Sekis (Hoek & Karzulovic, 2000; <i>After</i> M. Truzman, 1999) .....	61
Gambar III. 10 Grafik GSI untuk Penentuan <i>Excavatability</i> Massa Batuan (Tsiambaos dan Saroglou, 2009).....	62



Gambar IV. 1 Diagram Alir Penelitian .....	74
Gambar IV. 2 Peta Lintasan Survei Geologi Permukaan.....	79
Gambar V. 1 Peta Kemiringan Lereng Daerah Penelitian .....	88
Gambar V. 2 Peta Pola Pengaliran Subdendritik di Daerah Penelitian.....	89
Gambar V. 3 Peta Geomorfologi Daerah Penelitian.....	90
Gambar V. 4 Satuan Dataran Sungai diamati dari STA 25 .....	92
Gambar V. 5 Satuan Perbukitan Struktural Berlereng Curam diamati dari STA 47.....	93
Gambar V. 6 Satuan Perbukitan Struktural Berlereng Sangat Curam diamati dari STA 24..	94
Gambar V. 7 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	95
Gambar V. 8 Penampang Geologi Daerah Penelitian Sayatan A-B.....	96
Gambar V. 9 Batuan Sekis pada (a) (b) Singkapan STA 3 serta (c) Sampel Batuan .....	98
Gambar V. 10 Batuan Sekis pada (a) Singkapan STA 49 serta (b) Sampel Batuan.....	99
Gambar V. 11 Kenampakan Mikroskopis Sayatan Tipis Batuan Metamorf Sekis dari STA 3 .....	100
Gambar V. 12 Batuan Granodiorit pada Singkapan STA 17.....	101
Gambar V. 13 Batuan Granodiorit pada (a) (b) Singkapan STA 27 serta (c) Sampel Batuan .....	102
Gambar V. 14 Kenampakan Mikroskopis Sayatan Tipis Batuan Granodiorit dari STA 27.	103
Gambar V. 15 Batuan Beku Dasit pada (a) (b) Singkapan STA 22 serta (c) Sampel Batuan .....	105
Gambar V. 16 Kenampakan Mikroskopis Sayatan Tipis Batuan Beku Dasit dari STA 22 .	105
Gambar V. 17 Satuan Pasir Berangkalan pada STA 48 .....	107
Gambar V. 18 Penampang Geologi Terowongan Pengelak Bendungan Rongkong.....	110
Gambar V. 19 Sekis pada Bor Inti BTR-02 Kedalaman 45-50 meter .....	111
Gambar V. 20 Kenampakan Mikroskopis Sekis dari BTR-02 kedalaman 47-48 meter.....	111
Gambar V. 21 Granodiorit pada Bor Inti BTR-02 Kedalaman 40-45 meter .....	112
Gambar V. 22 Kenampakan Mikroskopis Granodiorit dari BTR-02 kedalaman 41-42 meter .....	112
Gambar V. 23 Penampang Tingkat Pelapukan Massa Batuan Trase Terowongan .....	114
Gambar V. 24 Penampang Kualitas Massa Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan RMR	115
Gambar V. 25 Penampang Kualitas Massa Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan <i>Q-system</i> .....	117
Gambar V. 26 Diagram Rosette Hasil Plot Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	118
Gambar V. 27 Proyeksi Stereonet dari Data Struktur Geologi .....	118



Gambar V. 28 Struktur Kekar di STA 16 .....	121
Gambar V. 29 Struktur Kekar STA 34 .....	122
Gambar V. 30 Dugaan Sesar Geser di sekitar STA 34 .....	122
Gambar V. 31 Pembagian Zona RMR Terowongan untuk Rekomendasi Metode Penggalan .....	126
Gambar V. 32 <i>Chart</i> Estimasi Nilai GSI dan Rekomendasi Metode Penggalan (Tsiambaos dan Saroglou, 2009) .....	128
Gambar V. 33 Estimasi <i>Stand-up Time</i> Galian Terowongan Berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989) .....	129
Gambar V. 34 <i>Plotting</i> Nilai <i>Equivalent Dimension</i> dan <i>Q</i> pada <i>Rock Support Chart</i> .....	132
Gambar V. 35 Model Permeabilitas Massa Batuan pada Trase Terowongan .....	135
Gambar V. 36 Perkiraan Pola Aliran Air Tanah pada Trase Terowongan .....	136
Gambar V. 37 Estimasi <i>Groundwater Flux</i> pada Trase Terowongan .....	136
Gambar V. 38 Lokasi Penampang Model Numerik pada Trase Terowongan .....	138
Gambar V. 39 Model Numerik-1 Penampang Terowongan STA 0+50 .....	140
Gambar V. 40 Model Numerik-2 Penampang Terowongan STA 0+200 .....	140
Gambar V. 41 Asumsi Penampang Tubuh Bendungan Rongkong pada Bukit Terowongan	141
Gambar V. 42 Model Numerik-3 Penampang Terowongan STA 0+325 .....	142
Gambar V. 43 Grafik Hubungan antara Regangan dengan Tingkat Kesulitan Penggalan Terowongan (Hoek & Marinos, 2000) .....	160

Tabel I. 1 Penelitian Terdahulu .....	7
Tabel II. 1 Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastuktur (SNI 8460, 2017).....	16
Tabel II. 2 Klasifikasi Situs (SNI 8460, 2017) .....	19
Tabel II. 3 Faktor amplifikasi untuk PGA atau $F_{PGA}$ (SNI 8460, 2017) .....	19
Tabel III. 1 Estimasi Nilai <i>Uniaxial Compressive Strength</i> di Lapangan (Hoek & Marinos, 2000).....	26
Tabel III. 2 Skala Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978).....	27
Tabel III. 3 Klasifikasi Kemiringan Lereng (van Zuidam, 1983).....	29
Tabel III. 4 Pembobotan Nilai UCS pada <i>Intact Rock</i> (Bieniawski, 1989).....	38
Tabel III. 5 Pembobotan Nilai RQD (Bieniawski, 1989) .....	39
Tabel III. 6 Pembobotan Jarak Diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	40
Tabel III. 7 Pembobotan Kondisi Diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	42
Tabel III. 8 Pembobotan Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989) .....	43
Tabel III. 9 Pengaruh Orientasi Diskontinuitas antara <i>Strike</i> dan <i>Dip</i> Massa Batuan terhadap Orientasi Terowongan (Bieniawski, 1989).....	44
Tabel III. 10 Pembobotan Orientasi Diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	44
Tabel III. 11 Kelas Kualitas Massa Batuan dalam Klasifikasi RMR (Bieniawski, 1989)....	44
Tabel III. 12 Penilaian RQD Volumetrik Lapangan pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025) .....	47
Tabel III. 13 Pembobotan <i>Joint Set Number</i> pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025) .....	47
Tabel III. 14 Pembobotan <i>Joint Roughness Number</i> pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025).....	48
Tabel III. 15 Pembobotan <i>Joint Alteration Number</i> pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025) .....	49
Tabel III. 16 Pembobotan <i>Joint Water Reduction Factor</i> pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025).....	50
Tabel III. 17 Nilai SRF pada Kondisi Geologi Tertentu Menurut <i>Q-system</i> (NGI, 2025) ....	51
Tabel III. 18 Klasifikasi Nilai Q Menurut <i>Q-system</i> (NGI, 2025).....	52
Tabel III. 19 Sistem Penyangga Terowongan Berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989) .....	53
Tabel III. 20 Metode Penggalian Berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989).....	54
Tabel III. 21 Konversi nilai Q aktual ke nilai Q terkoreksi untuk desain penyangga dinding (NGI, 2025) .....	58
Tabel III. 22 Nilai <i>Excavation Support Ratio</i> (ESR) pada <i>Q-system</i> (NGI, 2025).....	59
Tabel III. 23 Bobot Kriteria <i>Joint Condition</i> (Bieniawski, 1989) .....	63
Tabel III. 24 Panduan Perkiraan Nilai <i>Disturbance Factor</i> (Hoek et al., 2002) .....	65



Tabel I.1	Alat dan Bahan Penelitian .....	71
Tabel IV. 2	Rekapitulasi Sampel yang diuji di Laboratorium .....	82
Tabel V. 1	Profil dan Kolom Geomorfologi Daerah Penelitian .....	91
Tabel V. 2	Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian .....	96
Tabel V. 3	Hasil Penilaian RMR pada STA 15 .....	108
Tabel V. 4	Hasil Penilaian <i>Q-system</i> pada STA 15 .....	109
Tabel V. 5	Penilaian Tingkat Pelapukan Massa Batuan Bawah Permukaan dan GSI .....	113
Tabel V. 6	Penilaian Kualitas Massa Batuan dengan Klasifikasi RMR.....	115
Tabel V. 7	Penilaian Kualitas Massa Batuan dengan Klasifikasi <i>Q-system</i> .....	116
Tabel V. 8	Rekapitulasi Struktur Geologi di Daerah Penelitian .....	119
Tabel V. 9	Kedalaman Muka Air Tanah Berdasarkan Data Bor .....	124
Tabel V. 10	Perhitungan Koefisien Seismik Horizontal .....	125
Tabel V. 11	Rekomendasi Metode Penggalian Berdasarkan RMR.....	127
Tabel V. 12	Rekomendasi Sistem Penyangga Terowongan Berdasarkan RMR .....	130
Tabel V. 13	Rekomendasi Sistem Penyangga Terowongan Berdasarkan <i>Q-system</i> .....	132
Tabel V. 14	Permeabilitas Massa Batuan pada Trase Terowongan.....	134
Tabel V. 15	Parameter Input pada Pemodelan Kriteria Keruntuhan <i>Generalized Hoek-Brown</i> .....	143
Tabel V. 16	Spesifikasi Perkuatan Terowongan pada Model Numerik .....	145
Tabel V. 17	Analisis Numerik Kestabilan Terowongan STA 0+50.....	147
Tabel V. 18	Analisis Numerik Kestabilan Terowongan STA 0+200.....	150
Tabel V. 19	Analisis Numerik Kestabilan Terowongan STA 0+325.....	153
Tabel V. 20	Rekapitulasi <i>Total Displacement</i> dan <i>Strength Factor</i> pada STA 0+50 .....	158
Tabel V. 21	Rekapitulasi <i>Total Displacement</i> dan <i>Strength Factor</i> pada STA 0+200 .....	159
Tabel V. 22	Rekapitulasi <i>Total Displacement</i> dan <i>Strength Factor</i> pada STA 0+325 .....	159