

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	4
KATA PENGANTAR .....	5
DAFTAR ISI.....	7
DAFTAR GAMBAR.....	10
DAFTAR TABEL.....	13
INTISARI .....	15
ABSTRACT.....	16
BAB I PENDAHULUAN.....	17
I.1    Latar Belakang.....	17
I.2    Rumusan Masalah.....	19
I.3    Tujuan Penelitian .....	19
I.4    Manfaat Penelitian .....	19
I.5    Lingkup Penelitian.....	20
I.5.1  Lingkup Daerah Penelitian .....	20
I.5.2  Lingkup Kegiatan Penelitian .....	21
I.6    Batasan Penelitian.....	22
I.7    Penelitian Terdahulu .....	22
I.8    Keaslian/Kebaruan Penelitian.....	23
BAB II GEOLOGI REGIONAL .....	24
II.1   Morfologi Regional .....	24
II.2   Geologi Regional.....	25
II.3   Struktur Geologi dan Geologi Teknik .....	26
II.4   Kegempaan .....	26
BAB III TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	28
III.1  Terowongan .....	28
III.1.1  Pengertian Terowongan .....	28
III.2  Pemetaan Geologi dan Geologi Teknik.....	28
III.3  Sifat Tanah dan Batuan.....	31
III.3.1  Sifat Indeks Tanah dan Batuan .....	31
III.3.2  Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan .....	33
III.3.3  Klasifikasi Tanah .....	36
III.4  Jenis Litologi .....	37
III.4.1  Batuan Metamorf.....	37
III.4.2  Batuan Sedimen .....	37
III.5  Klasifikasi Kualitas Massa Batuan .....	39

III.5.1	<i>Rock Mass Rating (RMR)</i> .....	39
III.5.2	<i>Geological Strength Index (GSI)</i> .....	43
III.5.3	<i>Q-System</i> .....	46
III.5.4	Hubungan RMR dan GSI.....	51
III.5.5	Hubungan RMR dan <i>Q-System</i> .....	51
III.6	Metode Penggalian Bukan Terowongan.....	52
III.6.1	Grafik <i>Pettifer-Fookes (1994)</i> .....	52
III.6.2	Grafik GSI (Tsiambaos dan Saroglou, 2010).....	53
III.6.3	Metode Penggalian RMR (Bieniawski, 1989).....	54
III.7	Kestabilan Lereng.....	54
III.8	<i>Limit Equilibrium Method (LEM)</i> .....	54
III.8.1	Program <i>GeoStudio Slope/W</i> .....	55
III.9	Sistem Penyangga Terowongan.....	56
III.9.1	<i>Stand-up Time</i> Terowongan dengan Metode RMR.....	56
III.9.2	Sistem Penyangga Terowongan dengan Metode RMR.....	57
III.9.3	Sistem Penyangga Terowongan dengan Metode <i>Q-System</i> .....	57
III.10	Hipotesis.....	59
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	60
IV.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	60
IV.2	Tahapan Penelitian.....	60
IV.2.1	Tahapan Pendahuluan.....	63
IV.2.2	Tahapan Pengumpulan Data.....	63
IV.2.3	Tahapan Identifikasi Lapangan dan Pengujian Laboratorium.....	65
IV.2.4	Tahapan Analisis Data.....	67
IV.2.5	Tahapan Evaluasi Hasil dan Pelaporan.....	70
BAB V	PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA.....	72
V.1	Kondisi Geologi dan Geologi Teknik.....	72
V.1.1	Kondisi Geomorfologi.....	72
V.1.2	Kondisi Geologi.....	82
V.1.3	Kondisi Geologi Teknik.....	98
V.2	Analisis Metode Penggalian Terowongan.....	110
V.2.1	Metode Penggalian Menggunakan Metode Pettifer-Fookes.....	110
V.2.2	Metode Penggalian Menggunakan Metode GSI.....	111
V.2.3	Metode Penggalian Menggunakan Metode RMR.....	113
V.3	Analisis Sistem Penyangga Terowongan.....	114
V.3.1	Analisis <i>Stand-Up Time</i> Terowongan.....	114
V.3.2	Analisis Sistem Penyangga Terowongan Berdasarkan Metode RMR.....	116

V.3.3	Analisis Sistem Penyangga Terowongan Berdasarkan Metode <i>Q-System</i> .....	117
V.4	Analisis Kestabilan Lereng Portal Terowongan Pengelak .....	120
V.4.1	Parameter Perhitungan Lereng Portal Terowongan Berdasarkan Desain DED .....	121
V.4.2	Analisis Data dan Hasil Perhitungan Lereng Portal Terowongan Berdasarkan Desain DED .....	123
V.4.3	Parameter Perhitungan Lereng Portal Terowongan Berdasarkan Rekayasa Kemiringan Lereng Baru .....	126
BAB VI PEMBAHASAN .....		133
VI.1	Evaluasi Kondisi Geologi Daerah Penelitian .....	133
VI.2	Evaluasi Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian .....	135
VI.2.1	Evaluasi Metode Penggalian Terowongan .....	136
VI.2.2	Evaluasi Sistem Penyangga Terowongan .....	137
VI.2.3	Evaluasi Kemiringan Lereng Portal Terowongan .....	139
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....		141
VII.1	Kesimpulan .....	141
VII.2	Saran .....	143
DAFTAR PUSTAKA .....		144
Lampiran 1 Foto Kegiatan Penelitian di Lapangan .....		149
Lampiran 2 Hasil Analisis Petrografi .....		152
Lampiran 3 Pengamatan Batuan Permukaan .....		168
Lampiran 4 Foto Dokumentasi <i>Bore Log</i> .....		174
Lampiran 5 Klasifikasi Massa Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode GSI (Hoek dkk, 2013) .....		187
Lampiran 6 Klasifikasi Massa Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode RMR (Bieniawski, 1989) .....		208
Lampiran 7 Klasifikasi Massa Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode <i>Q-System</i> (Barton dkk, 1974) .....		240
Lampiran 8 Data Primer Pengujian Laboratorium .....		292
Lampiran 9 Data Sekunder Pengujian Laboratorium .....		312

Gambar I.1 Lokasi penelitian pada Bendungan Pelosika Provinsi Sulawesi Tenggara .....	20
Gambar II.1 Peta Geologi Regional Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi (Rusmana dkk, 1993).....	25
Gambar II.2 Stratigrafi regional daerah penelitian (Rusmana dkk, 1993).....	26
Gambar II.3 Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Provinsi Sulawesi Tenggara (Robiana dkk, 2012) .....	27
Gambar III.1 Bentang alam dataran sungai (Brahmantyo dan Bandono, 2006).....	31
Gambar III.2 <i>Atterberg Limit</i> (Atterberg, 1911).....	33
Gambar III.3 Prosedur perhitungan metode RQD (Bieniawski, 1989) .....	40
Gambar III.4 Estimasi nilai GSI untuk batuan berfoliasi dan berlaminasi .....	44
Gambar III.5 Kualifikasi nilai GSI oleh kondisi kekar dan RQD (Hoek, dkk., 2013).....	46
Gambar III.6 Grafik penilaian ekskavabilitas pada batuan (Pettifer-Fookes, 1994) .....	52
Gambar III.7 Metode penggalian menggunakan grafik GSI (Tsiambaos dan Saroglou, 2010) .....	53
Gambar III.8 Bidang longsor <i>circular</i> dan <i>non-circular</i> (Liong dan Herman, 2012) .....	54
Gambar III.9 Hubungan antara <i>stand-up time</i> , bentang dan RMR (Bieniawski, 1989).....	56
Gambar III.10 Persyaratan penyangga batuan menggunakan metode <i>Q-System</i> (Barton, dkk., 2015).....	58
Gambar IV.1 Diagram alir penelitian .....	61
Gambar IV.2 Diagram alir penelitian (lanjutan).....	62
Gambar IV.3 Geometri rencana Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	69
Gambar V.1 Peta kemiringan lereng Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika....	73
Gambar V.2 Kemiringan lereng kategori sangat curam (35°-55°) pada lokasi penelitian .....	75
Gambar V.3 Kondisi geomorfologi daerah penelitian.....	76
Gambar V.4 Peta geomorfologi Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	77
Gambar V.5 Sayatan peta geomorfologi A-B beserta informasinya .....	78
Gambar V.6 Peta pola kelurusan regional dan diagram <i>rosette</i> lokasi penelitian Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	79
Gambar V.7 Peta pola kelurusan dan diagram <i>rosette</i> lokasi penelitian Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	80
Gambar V.8 Peta pola pengaliran pada lokasi penelitian Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	81
Gambar V.9 Peta lintasan pengamatan (STA) pada lokasi penelitian sekitar Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	83
Gambar V.10 Singkapan filit muskovit kuarsa pada STA 11 (kamera menghadap ke arah tenggara) .....	84
Gambar V.11 Singkapan filit muskovit kuarsa pada STA 8 (kamera menghadap ke barat laut) .....	85
Gambar V.12 Hasil pengujian petrografi filit muskovit kuarsa pada STA 5 .....	85
Gambar V.13 Endapan fluvial pada STA 10 (kamera menghadap ke barat) .....	88
Gambar V.14 Endapan fluvial pada STA 14 (kamera menghadap ke utara) .....	88
Gambar V.15 Endapan aluvial pada STA 20 (kamera menghadap ke barat laut) .....	89

Gambar V.16 Kondisi kekar pada STA 13 .....	89
Gambar V.17 Diagram <i>rosette</i> kondisi kekar pada STA 13 .....	90
Gambar V.18 Indikasi sesar geser mengiri pada STA 13 (kamera menghadap ke utara).....	90
Gambar V.19 Indikasi sesar geser mengiri pada STA 13 (kamera menghadap ke selatan).....	91
Gambar V.20 Zona kolisi antara lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik-Filipina (Hall dan Wilson, 2000).....	91
Gambar V.21 Struktur geologi regional Pulau Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000)....	91
Gambar V.22 Kondisi muka air tanah pada jalur Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika .....	92
Gambar V.23 Peta geologi pada lokasi penelitian Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika Provinsi Sulawesi Tenggara.....	94
Gambar V.24 Penampang geologi lokasi penelitian (Sayatan A-A').....	95
Gambar V.25 Penampang geologi lokasi penelitian (Sayatan B-B') .....	95
Gambar V.26 Profil geologi jalur Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika (sayatan C-C') .....	97
Gambar V.27 Peta geologi teknik berdasarkan nilai GSI permukaan dan tingkat pelapukan batuan .....	102
Gambar V.28 Kondisi diskontinuitas batuan pada STA 39 (kamera menghadap ke timur) .....	104
Gambar V.29 Kondisi diskontinuitas batuan pada STA 37 (kamera menghadap ke barat laut).....	104
Gambar V.30 Sayatan penampang geologi teknik pada jalur Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika (sayatan A-B) .....	109
Gambar V.31 Hasil <i>plotting</i> data menggunakan metode penggalian Pettifer-Fookes (Pettifer-Fookes, 1994) .....	111
Gambar V.32 Hasil <i>plotting</i> data menggunakan metode GSI (Tsiambaos dan Saroglou, 2010) .....	112
Gambar V.33 Metode penggalian <i>top heading</i> dan <i>bench</i> ( <i>digging</i> dan <i>ripping</i> ) ....	113
Gambar V.34 Langkah penggalian terowongan dengan metode <i>top heading</i> dan <i>bench</i> .....	114
Gambar V.35 <i>Plotting</i> grafik <i>stand-up time</i> dengan <i>roof span</i> 5,2 m (Bieniawski, 1989).....	115
Gambar V.36 <i>Plotting</i> grafik <i>stand-up time</i> dengan <i>active span</i> 2,6 m (Bieniawski, 1989).....	116
Gambar V.37 Sistem penyangga terowongan berdasarkan metode RMR untuk kondisi <i>poor rock</i> .....	117
Gambar V.38 Grafik kekuatan terowongan metode <i>Q-System</i> dengan tinggi terowongan 5,2 m (Barton, dkk., 2015).....	118
Gambar V.39 Grafik kekuatan terowongan metode <i>Q-System</i> dengan tinggi terowongan 2,6 m (Barton, dkk., 2015).....	119
Gambar V.40 Kekuatan terowongan menggunakan <i>Q-System</i> (Barton, dkk., 2015).....	120
Gambar V.41 Geometri lereng awal pada <i>inlet</i> terowongan pengelak .....	122
Gambar V.42 Geometri lereng awal pada <i>outlet</i> terowongan pengelak .....	123
Gambar V.43 Hasil pengujian stabilitas pada lereng <i>inlet</i> terowongan berdasarkan metode Bishop .....	124
Gambar V.44 Hasil pengujian stabilitas pada lereng <i>outlet</i> terowongan berdasarkan metode Bishop.....	124

Gambar V.45 Hasil pengujian stabilitas pada lereng <i>inlet</i> terowongan berdasarkan metode Morgenstern-Price .....	125
Gambar V.46 Hasil pengujian stabilitas pada lereng <i>outlet</i> terowongan berdasarkan Metode Morgenstern-Price.....	126
Gambar V.47 Geometri baru pada lereng <i>inlet</i> terowongan pengelak .....	128
Gambar V.48 Hasil perhitungan menggunakan metode Bishop pada lereng <i>inlet</i> terowongan pengelak yang baru .....	129
Gambar V.49 Hasil perhitungan menggunakan metode Morgenstern-Price pada lereng <i>inlet</i> terowongan pengelak yang baru .....	129
Gambar V.50 Geometri baru pada lereng <i>outlet</i> terowongan pengelak .....	130
Gambar V.51 Hasil perhitungan menggunakan metode Bishop pada lereng <i>outlet</i> terowongan pengelak yang baru .....	131
Gambar V.52 Hasil perhitungan menggunakan metode Morgenstern-Price pada lereng <i>outlet</i> terowongan pengelak yang baru .....	131

## DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Penelitian terdahulu .....	23
Tabel III.1 Klasifikasi peta geologi teknik berdasarkan skalanya (Dearman, 1991).....	28
Tabel III.2 Klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1983).....	30
Tabel III.3 Skala nilai UCS, <i>Point Load</i> , dan identifikasi lapangan (Hoek dan Brown, 1997).....	36
Tabel III.4 Ukuran butir berdasarkan skala <i>Wentworth</i> (Wentworth, 1922).....	38
Tabel III.5 Pembagian tingkat kebundaran butir .....	38
Tabel III.6 Indeks kekuatan material batuan utuh (UCS) (Bieniawski, 1989) .....	40
Tabel III.7 Indeks <i>Rock Quality Designation</i> (RQD) (Bieniawski, 1989) .....	41
Tabel III.8 Indeks Spasi Diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	41
Tabel III.9 Indeks kondisi bidang lemah/diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	41
Tabel III.10 Kondisi bidang lemah/diskontinuitas pada kondisi air tanah (Bieniawski, 1989) .....	42
Tabel III.11 Pagaruh orientasi diskontinuitas antara <i>strike/dip</i> massa batuan terhadap <i>strike</i> terowongan (Bieniawski, 1989).....	42
Tabel III.12 Orientasi diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	43
Tabel III.13 Kualitas massa batuan (Bieniawski, 1989).....	43
Tabel III.14 Penilaian tingkat pelapukan massa batuan (ISRM, 1978).....	45
Tabel III.15 Penentuan kondisi kekar (Bieniawski, 1989) .....	45
Tabel III.16 <i>Rock Quality Designation</i> (RQD) (Grimstad dan Barton, 1993) .....	47
Tabel III.17 Nilai angka set kekar (Jn) (Grimstad dan Barton, 1993).....	47
Tabel III.18 Angka kekasaran kekar (Jr) (Grimstad dan Barton, 1993).....	48
Tabel III.19 Angka alterasi pelapukan (Ja) (Grimstad dan Barton, 1993) .....	48
Tabel III.20 Faktor reduksi air kekar (Jw) (Grimstad dan Barton, 1993).....	49
Tabel III.21 Nilai faktor pengurangan tegangan (SRF) (Grimstad dan Barton, 1993).....	49
Tabel III.22 Nilai rasio perkuatan ekskavasi (ESR) untuk berbagai struktur bawah tanah (Barton dkk., 1974).....	51
Tabel III.23 Panduan penggalian dan sistem penyangga terowongan dengan rentang 10 m menggunakan sistem RMR (Bieniawski, 1989).....	57
Tabel V.1 Rangkuman hasil pengujian petrografi .....	86
Tabel V.2 Elevasi air tanah pada jalur terowongan pengelak.....	92
Tabel V.3 Kolom stratigrafi lokasi penelitian .....	96
Tabel V.4 Hasil pengujian sifat indeks batuan dan tanah.....	98
Tabel V.5 Hasil pengujian sifat teknik batuan dan tanah .....	98
Tabel V.6 Hasil pengujian <i>Triaxial</i> batuan, <i>Triaxial CU</i> dan <i>Direct Shear</i> .....	99
Tabel V.7 Kualitas massa batuan permukaan lokasi sekitar Terowongan Pengelak Bendungan Pelosika.....	103
Tabel V.8 Rekapitulasi kualitas massa batuan metode GSI .....	105
Tabel V.9 Rekapitulasi perhitungan klasifikasi massa batuan metode RMR.....	107
Tabel V.10 Rekapitulasi kualitas massa batuan metode <i>Q-System</i> .....	108
Tabel V.11 Metode penggalian terowongan menggunakan metode Pettifer-Fookes.....	110
Tabel V.12 Rekapitulasi metode penggalian terowongan berdasarkan nilai GSI ....	112
Tabel V.13 Metode penggalian terowongan berdasarkan nilai RMR .....	113
Tabel V.14 Rekapitulasi data <i>stand-up time</i> dengan <i>roof span</i> 5,2 m (sesuai tinggi terowongan).....	115

Tabel V.15 Analisis <i>stand-up time</i> terowongan dengan <i>active span</i> 2,6 m.....	116
Tabel V.16 Analisis sistem penyangga berdasarkan metode RMR.....	117
Tabel V.17 Analisis sistem penyangga <i>Q-System</i> dengan tinggi terowongan 5,2 m.....	118
Tabel V.18 Analisis sistem penyangga <i>Q-System</i> dengan tinggi terowongan 2,6 m.....	120
Tabel V.19 Parameter tanah dan batuan pada lereng <i>inlet</i> terowongan pengelak ....	121
Tabel V.20 Parameter tanah dan batuan pada lereng <i>outlet</i> terowongan pengelak .....	122
Tabel V.21 Parameter tanah dan batuan untuk perhitungan lereng terowongan pengelak yang baru.....	127
Tabel V.22 Rangkuman hasil perhitungan kestabilan lereng dengan metode LEM.....	132