

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
SARI.....	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
I.5 Lingkup Penelitian	4
I.5.1 Lingkup Daerah Penelitian	4
I.5.2 Lingkup Pekerjaan	5
I.6 Batasan Penelitian	6
I.7 Penelitian Terdahulu.....	7
I.8 Keaslian Penelitian	8
BAB II GEOLOGI REGIONAL.....	9
II.1 Fisiografi Regional	9

II.2	Stratigrafi Regional	10
II.3	Geologi Teknik.....	12
II.4	Kegempaan	13
BAB III TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI		17
III.1	Tinjauan Pustaka.....	17
III.1.1	Geometri Terowongan	17
III.1.2	Klasifikasi kualitas massa batuan metode <i>Rock Mass Rating</i>	17
III.2	Dasar Teori	19
III.2.1	Pengertian Terowongan	19
III.2.2	Pemetaan Geologi dan Geologi Teknik	20
III.2.2.1	Klasifikasi batuan vulkanik.....	20
III.2.2.2	Klasifikasi batuan piroklastik.....	21
III.2.2.3	Pemetaan geologi dan geologi teknik	21
III.2.3	Sifat Tanah dan Batuan.....	26
III.2.3.1	Sifat Fisik Tanah dan Batuan.....	26
III.2.3.2	Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan	28
III.2.3.3	Sifat Index Tanah dan Batuan.....	32
III.2.3.4	Klasifikasi Tanah	34
III.2.4	Klasifikasi Kualitas Massa Batuan	38
III.2.4.1	<i>Rock Quality Designation (RQD)</i>	38
III.2.4.2	<i>Rock Mass Rating (RMR)</i>	39
III.2.4.3	<i>Geological Strength Index (GSI)</i>	41
III.2.4.4	Hubungan RMR terhadap GSI.....	48
III.2.4.5	Klasifikasi tanah dan batuan (JSCE, 2007)	48

II.2.5	Kestabilan Lereng	51
III.2.6	Metode Penggalian Terowongan	52
III.2.6.1	<i>Drill and Blast</i> (Pengeboran dan Peledakan).....	53
III.2.6.2	New Austrian Tunneling Method (NATM).....	53
III.2.7	Sistem Penyangga Terowongan.....	58
III.2.8	Pemilihan Sistem Penyangga Terowongan.....	62
III.2.9	Dasar Permodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga.....	65
III.2.10	Pengaruh Gempa terhadap Terowongan.....	71
III.1.11	Tegangan Insitu.....	74
III.3	Hipotesis	74
BAB IV	METODE PENELITIAN	76
IV.1	Alat dan Bahan Penelitian	76
IV.2	Tahapan Penelitian.....	76
IV.2.1	Tahapan Pendahuluan	77
IV.2.2	Tahapan Pengumpulan Data	78
IV.2.2.1	Pengumpulan Data Primer	78
IV.2.2.2	Pengumpulan Data Sekunder.....	80
IV.2.3	Tahapan Analisis.....	82
IV.2.3.1	Analisis Laboratorium	82
IV.2.4.2	Analisis Data.....	89
IV.2.4	Tahapan Evaluasi hasil	93
IV.2.5	Tahapan Pelaporan.....	93
IV.3	Jadwal penelitian	95
BAB V	PENYAJIAN DATA DAN HASIL ANALISIS.....	96

V.1	Karakteristik Geologi Teknik.....	96
V.1.1	Morfologi.....	96
V.1.2	Litologi.....	101
V.1.3	Stratigrafi jalur terowongann	111
V.1.4	Struktur Geologi	113
V.1.5	Air Tanah	117
V.1.6	Kegempaan	118
V.1.8	Karakteristik geologi teknik.....	119
V.1.7	Analisis Kualitas Massa Batuan	126
V.1.7.1	<i>Geological Strength Index</i> (GSI) Permukaan	126
V.1.7.2	Sifat Teknik Tanah dan Batuan Permukaan	131
V.1.7.3	<i>Geological Strength Index</i> (GSI) Bawah Permukaan	135
V.1.7.4	Sifat Teknik Tanah dan Batuan Bawah Permukaan	137
V.2	Analisis Kestabilan Lereng	140
V.3	Analisis Metode Penggalian Terowongan.....	153
V.3.1	Metode Penggalian Berdasarkan GSI dan Point Load Index.....	156
V.3.2	Metode/Sekuensi Penggalian Berdasarkan JSCE.....	157
V.3.2	Metode/sekuensi penggalian berdasarkan kondisi RMR.....	160
V.4	Analisis Kestabilan Terowongan.....	160
V.5.1	Analisis Sistem Penyangga Terowongan.....	161
V.5.2	Permodelan Menggunakan <i>Software RS2 (Rocscience, Inc)</i>	164
V.5.3	Hasil Permodelan Analisis Kestabilan Terowongan	167
BAB VI	PEMBAHASAN.....	173
VI.1	Evaluasi Kondisi Geologi dan Geologi Teknik.....	173

VI.1.1	Morfologi	173
VI.1.2	Litologi.....	173
VI.1.3	Struktur geologi	174
VI.1.4	Air tanah	174
VI.1.5	Geologi teknik dan kualitas massa batuan	175
VI.2	Evaluasi Kestabilan Lereng	177
VI.3	Evaluasi Metode Penggalian Terowongan	180
VI.4	Evaluasi Kestabilan Terowongan	181
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN		186
VII.1	Kesimpulan	186
VII.2	Saran	189
DAFTAR PUSTAKA		191
LAMPIRAN.....		196
A.	Data Primer	197
I	Petrografi	198
II	Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>) Tanah	219
III	Sifat Indeks Tanah dan Batuan	232
IV	Distribusi Ukuran Butir Tanah	238
V	Uji Hidrometer.....	244
VI	Batas Konsistensi Tanah (Atterberg Limit)	250
VII	Uji Uniaxial Compressive Strength (UCS).....	256
VIII	Uji Triaxial.....	264
IX	Log GSI titik bor.....	266
B.	Data Sekunder	273

I	Sifat Indeks Tanah dan Batuan	274
II	Uji Uniaxial Compressive Strength (UCS).....	280
III	Uji Triaxial.....	285
C.	Hasil Permodelan	287
I	Permodelan Kesstabilan Terowongan	288

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi daerah penelitian.....	5
Gambar 2.1	Fisografi Sulawesi (van Bemmelen, 1949 dalam Hall dan Wilson, 2000).....	9
Gambar 2.2	Peta geologi regional lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai, Sulawesi (Sukanto dan Supriatna, 1982)	10
Gambar 2.3	Kolom stratigrafi regional lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai, Sulawesi (Sukanto dan Supriatna, 1982)	11
Gambar 2.4	Peta geologi teknik lokasi penelitian (PT. Mettana Engineering, 2014).....	13
Gambar 2.5	Peta kawasan rawan bencana gempabumi (Badan Geologi, 2012).....	14
Gambar 2.6	Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (PUSGEN, 2017).....	15
Gambar 2.7	Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PUSGEN, 2017).....	16
Gambar 3.1	Geometri terowongan pengelak (PT. Mettana Engineering).....	17
Gambar 3.2	Pembagian zona kelas massa batuan terowongan (PT. Mettana Engineering)	18
Gambar 3.3	Klasifikasi batuan vulkanik IUGS (Streckeisen, 1976)	20
Gambar 3.4	Klasifikasi batuan piroklastik (Fisher, 1966).....	21
Gambar 3.5	Dimensi sampel untuk uji point load (ASTM D 5731-02).....	30
Gambar 3.6	Bagan alir untuk pengklasifikasian tanah butir halus (lolos ayakan No. 200 \geq 50%) (SNI 6371-2015).....	35
Gambar 3.7	Bagan alir untuk pengklasifikasian tanah organik butir halus (lolos ayakan No. 200 \geq 50%) (SNI 6371-2015).....	36
Gambar 3.8	Bagan alir untuk pengklasifikasian tanah butir kasar (tertahan ayakan No. 200 $>$ 50%) (SNI 6371-2015).....	37
Gambar 3.9	Grafik plastisitas untuk tanah berbutir halus (SNI 6371-2015).....	38
Gambar 3.10	Tabel estimasi nilai GSI (Hoek dan Marinos, 2000).....	43

Gambar 3.11	Metode penggalian berdasarkan nilai GSI (Tsiambaos dan Saroglou, 2009).....	54
Gambar 3.12	<i>Stand-up time</i> terowongan tanpa penyangga (Bienawski, 1989).....	58
Gambar 3.13	Tipe <i>steel rib</i> (Apriyono dan Sumiyanto, 2010).....	60
Gambar 3.14	Sistem perkuatan <i>lattice girder</i> (FHWA-NHI-10-034, 2009).....	61
Gambar 3.15	Sistem perkuatan <i>forepoles</i> (JSCE, 2007).....	61
Gambar 3.16	Sistem perkuatan <i>lining</i> (FHWA-NHI-10-034, 2009).....	62
Gambar 3.17	Diskritisasi elemen pada metode elemen hingga.....	66
Gambar 3.18	Tahapan pemilihan properties dalam RS 2 (Rocscience-RS2).....	71
Gambar 4.1	Peta STA dan sebaran pengambilan sampel uji laboratorium.....	88
Gambar 4.2	Diagram alir penelitian.....	94
Gambar 5.1	Kenampakan geomorfologi melalui (gambar diambil dengan drone).	96
Gambar 5.2	Peta geomorfologi daerah penelitian.....	97
Gambar 5.3	Kenampakan lereng zona miring.....	99
Gambar 5.4	Kenampakan lereng zona agak curam.....	100
Gambar 5.5	Kenampakan dataran sungai.....	100
Gambar 5.6	Peta lintasan pengamatan (STA) lokasi penelitian.....	102
Gambar 5.7	Singkapan batuan lava basalt di Sta 28 (kamera menghadap ke utara)	103
Gambar 5.8	Singkapan batuan lava basalt di Sta 31 (kamera menghadap ke selatan).....	104
Gambar 5.9	Sampel basalt di Sta 04.....	104
Gambar 5.10	Singkapan batuan breksi piroklastik di Sta 11 (kamera menghadap ke utara).....	105
Gambar 5.11	Singkapan batuan breksi piroklastik di Sta 38 (kamera menghadap ke barat).....	106
Gambar 5.12	Kontak satuan lava basalt dan breksi piroklastik di sta 66.....	107
Gambar 5.13	Peta geologi daerah penelitian.....	110
Gambar 5.14	Profil penampang geologi A-B dan C-D.....	111
Gambar 5.15	Profil tanah dan batuan sepanjang jalur terowongan.....	112
Gambar 5.16	Peta kelurusan daerah penelitian.....	113

Gambar 5.17	Hasil analisis kelurusan dengan diagram mawar.....	114
Gambar 5.18	Hasil plot diagram mawar pengukuran kekar.....	115
Gambar 5.19	Kenampakan sesar turun pada Sta 14, menunjukkan weakzone pada bagian permukaan.....	116
Gambar 5.20	Kenampakan sesar turun pada Sta17 membentuk morfologi air terjun	116
Gambar 5.21	Kenampakan sesar turun pada Sta 30.....	117
Gambar 5.22	Peta geologi teknik batuan permukaan pada lokasi penelitian.....	121
Gambar 5.23	Sayatan geologi teknik batuan bawah permukaan trase terowongan.....	122
Gambar 5.24	Contoh analisis kualitas massa batuan metode GSI pada STA 01.....	126
Gambar 5.25	Kenampakan massa batuan kualitas sangat baik pada STA 01.....	127
Gambar 5.26	Kenampakan massa batuan kualitas baik pada STA 27.....	127
Gambar 5.27	Kenampakan massa batuan kualitas sedang pada STA 38.....	128
Gambar 5.28	Kenampakan massa batuan kualitas buruk pada STA 56.....	129
Gambar 5.29	Peta kualitas massa batuan permukaan.....	130
Gambar 5.30	Profil GSI sepanjang jalur terowongan	136
Gambar 5.31	Posisi tinjauan analisis portal inlet dan outlet terowongan.....	142
Gambar 5.32	Posisi tinjauan (<i>section</i>) analisis kestabilan terowongan	154
Gambar 5.33	Sayatan posisi tinjauan (<i>section</i>) analisis kestabilan terowongan	155
Gambar 5.34	Metode penggalian berdasarkan nilai GSI dan Is50.....	156
Gambar 5.35	<i>Stand up time</i> untuk terowongan tanpa sistem penyangga berdasarkan metode RMR.....	161
Gambar 5.36	Pemodelan analisis numerik RS2 (Rocscience, Inc) pada S 1.....	169
Gambar 6.1	Metode penggalian dengan <i>blasting</i> , penggalian seluruh muka bidang galian dengan <i>bench</i> tambahan	180
Gambar 6.2	Perbandingan nilai <i>displacement</i> bagian atap pada pemodelan Kestabilan terowongan berdasarkan metode RMR dan JSCE tanpa beban gempa.....	183
Gambar 6.3	Perbandingan nilai <i>displacement</i> bagian atap pada pemodelan	

kestabilan terowongan berdasarkan metode RMR dan JSCE
dengan beban gempa..... 183

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penelitian terdahulu.....	8
Tabel 3.1	Nilai <i>rock mass rating</i> (RMR) di jalur terowongan (PT. Mettana Engineering).....	19
Tabel 3.2	Klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1983).....	23
Tabel 3.3	Tingkat pelapukan batuan (ISRM, 1978).....	24
Tabel 3.4	Estimasi nilai <i>uniaxial compressive strength</i> (UCS) di lapangan untuk batuan utuh (Hoek dan Brown, 1998).....	25
Tabel 3.5	Klasifikasi warna (Munsell, 1941 dalam Dearman, 1991).....	27
Tabel 3.6	Kualitas massa batuan berdasarkan RQD (Deere dan Miller, 1966)	39
Tabel 3.7	<i>Rock mass rating system</i> (RMR) (Bieniawski, 1989).....	41
Tabel 3.8	Estimasi nilai <i>uniaxial compressive strength</i> di lapangan untuk batuan utuh (Hoek dkk., 1998).....	44
Tabel 3.9	Klasifikasi tingkat pelapukan pada massa batuan (ISRM, 1978).....	44
Tabel. 3.10	Penentuan kondisi kekar (<i>joint condition</i>) jika terdapat infilling (Bieniawski, 1989).....	45
Tabel. 3.11	Penentuan kondisi kekar (<i>joint condition</i>) tanpa infilling (Bieniawski, 1989).....	45
Tabel 3.12	Petunjuk estimasi nilai D (disturbance factor) (Hoek dkk., 2002).....	47
Tabel 3.13	Kualitas massa batuan (GSI) (Sivakugan dkk., 2013).....	48
Tabel 3.14	Klasifikasi tanah dan batuan (JSCE, 2007).....	50
Tabel 3.15	Metode penggalian dan karakteristiknya (JSCE, 2007).....	55
Tabel 3.16	Kriteria pemilihan jenis perkuatan (JSCE, 2007).....	63
Tabel 3.17	Skema tipikal pola perkuatan dan dinding deformasi ijin (JSCE, 2007).....	64
Tabel 3.18	Tipikal metode tambahan dan kegunaannya (JSCE, 2007).....	64
Tabel 3.19	Skema panduan penggalian dan sistem penyangga terowongan dengan rentang 10 meter dengan sistem RMR (Bieniawski, 1989)....	65

Tabel 3.20	Kriteria perancangan gempa berdasarkan peruntukan infrastruktur (SNI 8460:2017).....	72
Tabel 3.21	Klasifikasi situs (AASHTO, 2012).....	73
Tabel 3.22	Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F _{pga} dan F _a) (AASHTO, 2012).....	73
Tabel 4.1	Jadwal penelitian.....	95
Tabel 5.1	Kolom geomorfologi daerah penelitian.....	98
Tabel 5.2	Contoh pengamatan sampel batuan bawah permukaan BT.01.....	108
Tabel 5.3	Resume hasil pengamatan mikroskopis (petrografi).....	109
Tabel 5.4	Kekar pada lokasi penelitian.....	114
Tabel 5.5	Deskripsi satuan geologi teknik tingkat pelapukan.....	123
Tabel 5.6	Hasil pengujian sifat indeks pada sampel tanah dan batuan.....	133
Tabel 5.7	Hasil pengujian distribusi ukuran butir, atterberg limit dan direct shear pada sampel tanah (soil).....	134
Tabel 5.8	Resume penilaian GSI bawah permukaan	135
Tabel 5.9	Hasil pengujian sifat indeks batuan.....	138
Tabel 5.10	Hasil pengujian sifat indeks batuan (BBWS Pompengan - Jeneberang, 2016).....	138
Tabel 5.11	Hasil pengujian sifat mekanika.....	139
Tabel 5.12	Hasil pengujian sifat mekanika (BBWS Pompengan Jeneberang, 2016).....	139
Tabel 5.13	Parameter analisis kestabilan lereng.....	141
Tabel 5.14	Nilai <i>field stress properties</i>	143
Tabel 5.15	Analisis inlet section X.....	144
Tabel 5.16	Analisis inlet section Y1.....	145
Tabel 5.17	Analisis pengaruh penggalian terowongan pada inlet (tanpa beban gempa).....	146
Tabel 5.18	Analisis pengaruh penggalian terowongan pada inlet (dengan beban gempa).....	144
Tabel 5.19	Hasil analisis kestabilan terowongan pada desain saluran terbuka....	148

Tabel 5.20	Hasil analisis kestabilan terowongan akibat pengaruh penggalian terowongan.....	148
Tabel 5.21	Analisis outlet section X.....	149
Tabel 5.22	Analisis outlet section Y1.....	150
Tabel 5.23	Analisis pengaruh penggalian terowongan pada outlet (tanpa beban gempa).....	151
Tabel 5.24	Analisis pengaruh penggalian terowongan pada outlet (dengan beban gempa).....	152
Tabel 5.25	Metode penggalian berdasarkan nilai GSI dan <i>Point load index</i>	157
Tabel 5.26	Perhitungan nilai faktor kompetensi (JSCE).....	158
Tabel 5.27	Penentuan kategori tanah/batuan (JSCE).....	158
Tabel 5.28	Pemilihan metode penggalian (JSCE).....	159
Tabel 5.29	Pemilihan metode penggalian (RMR).....	160
Tabel 5.30	Jenis sistem penyangga berdasarkan metode JSCE dan RMR.....	163
Tabel 5.31	Nilai <i>field stress properties</i>	165
Tabel 5.32	Input parameter kestabilan terowongan.....	166
Tabel 5.33	Hasil analisis nilai <i>displacement</i> pada atap, dinding dan lantai terowongan setelah seluruh proses penggalian dilakukan (tanpa pengaruh gempa).....	168
Tabel 5.34	Hasil analisis nilai <i>displacement</i> pada atap, dinding dan lantai terowongan setelah seluruh proses penggalian dilakukan (dengan pengaruh gempa).....	168
Tabel 5.35	Hasil <i>displacement</i> pada section 1 tanpa perkuatan.....	170
Tabel 5.36	Hasil <i>displacement</i> pada section 1 dengan perkuatan RMR.....	171
Tabel 5.37	Hasil <i>displacement</i> pada section 1 dengan perkuatan JSCE.....	172
Tabel 6.1	Hasil analisis kestabilan lereng desain saluran terbuka.....	179
Tabel 6.2	Hasil analisis kestabilan lereng akibat pengaruh penggalian terowongan.....	179
Tabel 6.3	Kenaikan nilai <i>total displacement</i> akibat beban gempa.....	185