

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN.....	iiv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
INTISARI.....	xvii
<i>ABSTRACT</i> .....	xviii
<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 Lingkup Penelitian.....	5
I.5.1 Lingkup Daerah Penelitian .....	5
I.5.2 Lingkup Pekerjaan .....	6
I.6 Batasan Penelitian .....	7
I.7 Penelitian Terdahulu.....	8
I.8 Keaslian Penelitian .....	10
<b>BAB II GEOLOGI REGIONAL .....</b>	<b>12</b>
II.1 Geomorfologi Regional.....	12
II.2 Stratigrafi Regional .....	14
II.3 Struktur Geologi Regional.....	17
II.4 Potensi kerentanan gerakan tanah .....	18

<b>BAB III DASAR TEORI</b>	21
III.1 Pengertian Terowongan	21
III.2 Klasifikasi Batuan Sedimen Silisiklastik	22
III.3 Klasifikasi Batuan Piroklastik	24
III.4 X-Ray Diffraction (XRD)	26
III.5 Paleontologi	27
III.6 Penyelidikan Geologi Teknik	29
III.6.1 Pemetaan Geologi Teknik Permukaan	29
III.6.2 Pengujian Sifat Indeks Dan Keteknikan Tanah Batuan di Laboratorium	32
III.6.2.1 Sifat Indeks Tanah dan Batuan	32
III.6.2.2 Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan	37
III.6.3 Klasifikasi Tanah	42
III.6.4 Klasifikasi Kualitas Massa Batuan	48
III.6.4.1 <i>Rock Quality Designation (RQD)</i>	48
III.6.4.2 <i>Rock Mass Rating (RMR)</i>	49
III.6.4.3 <i>Geological Strength Index (GSI)</i>	51
III.6.4.4 Hubungan RMR dan GSI	58
III.6.5 Air Tanah	59
III.7 Kestabilan Lereng	59
III.7.1 Metode Keseimbangan Batas ( <i>Limit Equilibrium Method</i> )	60
III.7.1.1 <i>Bishop's Simplified Method</i>	62
III.7.1.2 <i>Morgenstern-Price Method</i>	63
III.8 Metode Ekskavasi Bukaan Terowongan	63
III.9 Kestabilan Sistem Penyangga Terowongan	73
III.9.1 Kriteria Keruntuhan dari Hoek dan Brown untuk Aplikasi dalam <i>RS2 (Rocscience, Inc)</i>	75

III.9.2	<i>In Situ Stresses</i> (Tegangan Vertikal dan Tegangan	
	Horisontal .....	756
III.10.	Hipotesis.....	78
BAB IV	METODE PENELITIAN .....	79
IV.1	Alat dan Bahan Penelitian .....	79
IV.2	Tahapan Penelitian .....	80
IV.2.1	Pekerjaan Pendahuluan.....	80
IV.2.2	Pengumpulan Data .....	81
IV.2.2.1	Pengumpulan Data Primer.....	81
IV.2.2.2	Pengumpulan Data Sekunder .....	84
IV.2.3	Penyelidikan Laboratorium .....	86
IV.2.3.1	Index Properties Tanah dan Batuan.....	86
IV.2.3.2	Uji Sifat Keteknikan Tanah dengan <i>Direct Shear</i> ....	87
IV.2.3.3	Uji Sifat Keteknikan Batuan dengan <i>Point Load</i>	
	<i>Index</i> .....	89
IV.2.3.4	Petrografi .....	90
IV.2.3.5	Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	91
IV.2.3.6	Uji Paleontologi.....	91
IV.2.4	Analisis Data.....	93
IV.2.5	Evaluasi Hasil .....	99
IV.2.6	Pelaporan .....	99
IV.3	Diagram alir penelitian .....	100
BAB V	PENYAJIAN DAN HASIL ANALISIS.....	102
V.1	Karakteristik Geologi Teknik Daerah Penelitian .....	102
V.1.1	Litologi .....	102
V.1.2	Stratigrafi .....	114
V.1.3	Struktur Geologi .....	117
V.1.4	Morfologi Daerah Penelitian .....	120

V.1.5	Air Tanah .....	124
V.1.6	Kualitas Massa Batuan di Daerah Penelitian .....	126
V.1.6.1	<i>Geological Strength Index</i> (GSI) Permukaan .....	127
V.1.6.2	Sifat Keteknikan Batuan Utuh ( <i>intact rock</i> ) Permukaan .....	135
V.1.6.3	<i>Geological Strength Index</i> (GSI) Batuan Bawah Permukaan .....	138
V.1.6.4	Sifat Keteknikan Batuan Utuh ( <i>intact rock</i> ) Bawah Permukaan .....	143
V.1.7	Satuan Karakteristik Geologi Teknik Batuan Permukaan ....	145
V.2	Analisis Kemiringan Lereng Pada Portal Terowongan .....	150
V.3	Analisis Metode Ekskavasi .....	153
V.4	Analisis Kestabilan Terowongan .....	155
BAB VI	PEMBAHASAN .....	166
VI.1	Evaluasi Kemiringan Lereng Pada Portal Terowongan .....	166
VI.2	Evaluasi Metode Ekskavasi Pada Terowongan .....	172
VI.3	Evaluasi Sistem Penyangga Terowongan .....	175
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN .....	188
VII.1	Kesimpulan .....	188
VII.2	Saran .....	191
DAFTAR PUSTAKA	.....	193
DAFTAR LAMPIRAN	.....	197

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Daerah Penelitian. Daerah penelitian ditunjukkan oleh tanda berwarna merah .....	5
Gambar 2.1	Fisiografi daerah penelitian menurut Van Bemmelen, 1949 (Manalu, 2007) .....	12
Gambar 2.2	Peta geomorfologi regional Bengkulu (Suhartono, 2014).....	14
Gambar 2.3	Kolom Stratigrafi Cekungan Bengkulu (Heryanto dan Suyoko, 2007).....	15
Gambar 2.4	Kondisi geologi regional daerah penelitian berdasarkan bagian dari Peta Geologi Lembar Manna dan Enggano, Sumatera (Amin dkk., 1993) .....	17
Gambar 2.5	Peta zona kerentanan gerakan tanah daerah penelitian berdasarkan bagian dari peta zona kerentanan tanah Provinsi Bengkulu (PVMBG, 2009) .....	19
Gambar 3.1	Bentuk penampang terowongan (Arifin, 2009).....	21
Gambar 3.2	Klasifikasi batuan sedimen klastik (Pettijohn, 1975) .....	22
Gambar 3.3	Klasifikasi batuan Piroklastik (a. Schmid (1981), b. After Fisher, (1966)) .....	25
Gambar 3.4	Batas – batas <i>Atterberg</i> (Das B.M., 2010).....	35
Gambar 3.5	Peralatan untuk pengujian <i>Atterberg Limit</i> (Das B.M., 2010).....	36
Gambar 3.6	Kriteria keruntuhan <i>Mohr – Coloumb</i> (Nugroho S.A., 2012) .....	39
Gambar 3.7	Peralatan untuk pengujian kuat geser tanah (Das, 2010).....	40
Gambar 3.8	Dimensi sampel untuk uji <i>Index Point Load (ASTM D 5731-02)</i> .....	41
Gambar 3.9	Diagram alir klasifikasi tanah berbutir kasar (ASTM 2487, 2000) .....	46
Gambar 3.10	Diagram alir klasifikasi tanah berbutir halus (ASTM 2487, 2000) .....	47
Gambar 3.11	Chart estimasi nilai <i>gsi</i> untuk batuan terkekarkan (Hoek dan Marinos, 2000).....	53

Gambar 3.12	Grafik penilaian ekskavabilitas pada batuan ( <i>Pettifer and Fookers</i> , 1994).....	65
Gambar 3.13	Persyaratan penyangga batuan menggunakan RMR dan Q System (Lwin, 2009).....	73
Gambar 3.14	Tipe elemen dua dimensi dalam FEM (Suhendro, 2000).....	76
Gambar 3.15	Rasio tegangan horisontal dan tegangan vertikal berdasarkan perbedaan nilai modulus deformasi (Shoerey, 1994).....	77
Gambar 3.16	Korelasi tegangan vertikal dan kedalaman terhadap nilai k (Wen, dkk. (2012).....	77
Gambar 4.1	Tahapan pengujian sifat indeks batuan dan tanah .....	87
Gambar 4.2	Tahapan pengujian <i>direct shear</i> .....	89
Gambar 4.3	Tahapan pengujian indeks <i>point load</i> .....	90
Gambar 4.4	Geometri rencana terowongan jaringan irigasi kanan D.I Air Alas (BWS Sumatera VII,2014) .....	96
Gambar 4.5	Diagram Alir Penelitian.....	101
Gambar 5.1	Peta lintasan STA daerah penelitian.....	104
Gambar 5.2	Diskripsi litologi pada core di BH04 .....	105
Gambar 5.3	Satuan perselingan batupasir tufan karbonatan dengan batulempung tufan karbonatan pada STA 15 (kamera menghadap barat laut) .....	110
Gambar 5.4	Satuan endapan fluvial kerakalan (kamera menggunakan drone menghadap barat laut) .....	111
Gambar 5.5	Peta geologi daerah penelitian.....	112
Gambar 5.6	Profil sayatan geologi daerah penelitian.....	113
Gambar 5.7	Stratigrafi bawah permukaan pada setiap kedalaman lubang bor .....	116
Gambar 5.8	Peta pola kelurusan struktur geologi daerah penelitian .....	117
Gambar 5.9	(a) Kekar paralel pada STA 4 hasil dari sesar turun (kamera menghadap timur laut) .....	118
Gambar 5.10	(a) Gores garis sesar naik pada STA 4 (kamera menghadap barat laut) (b) Bidang sesar naik pada STA 4 (kamera menghadap barat laut) .....	119
Gambar 5.11	Sesar geser sinistral pada STA 20 LP 2 (kamera menghadap timur) .....	119

Gambar 5.12	(a) Sesar geser dekstral pada STA 8 (kamera menghadap Utara)	
	(b) sesar geser dekstral pada STA 14 (kamera menghadap utara) .....	120
Gambar 5.13	Peta kemiringan lereng daerah penelitian.....	121
Gambar 5.14	Kenampakan zona dataran-landaian fluvial Air Alas (kamera menggunakan drone menghadap selatan).....	122
Gambar 5.15	Kenampakan zona perbukitan berlereng agak curam (kamera menghadap selatan) .....	123
Gambar 5.16	Kenampakan zona perbukitan berlereng sangat curam (kamera menghadap barat) .....	124
Gambar 5.17	Kenampakan zona perbukitan berlereng curam (kamera menghadap barat laut).....	124
Gambar 5.18	Kondisi kedalaman air tanah pada STA 19 (kamera menghadap barat) .	125
Gambar 5.19	Peta lintasan <i>Geological Strength Index (GSI)</i> daerah penelitian .....	127
Gambar 5.20	Penilaian GSI permukaan pada STA 7 dengan kualitas massa batuan <i>very poor</i> (kamera menghadap utara).....	129
Gambar 5.21	Penilaian GSI permukaan pada STA 11 dengan kualitas massa batuan <i>poor</i> (kamera menghadap barat). Garis berwarna merah menunjukkan kekar- kekar, garis biru menunjukkan hancuran batuan berbentuk <i>rounded</i> yang bercampur dengan bentuk <i>angular</i> . .....	130
Gambar 5.22	Penilaian GSI permukaan pada STA 16 dengan kualitas massa batuan <i>fair</i> (kamera menghadap timur). Garis berwarna merah menunjukkan kekar-kekar. ....	131
Gambar 5.23	Penilaian GSI permukaan pada STA 15 dengan kualitas massa batuan <i>good</i> (kamera menghadap utara). Garis berwarna merah menunjukkan kekar-kekar dengan struktur <i>blocky</i> .....	133
Gambar 5.24	Peta <i>Geological Strength Index (GSI)</i> daerah penelitian.....	134
Gambar 5.25	Arah sayatan untuk analisis kestabilan terowongan pada jalur terowongan (E-F).....	141
Gambar 5.26	Sketsa Perlapisan batuan pada setiap titik bor sepanjang jalur terowongan (Arah sayatan E-F).....	142
Gambar 5.27	Peta geologi teknik daerah penelitian.....	149
Gambar 5.28	Grafik penentuan nilai $k = 2$ .....	157
Gambar 6.1	Hasil analisis FS pada inlet terowongan kondisi eksisting.....	167
Gambar 6.2	Hasil analisis FS pada outlet terowongan kondisi eksisting.....	167

Gambar 6.3	Hasil analisis FS pada inlet terowongan dengan slope 45 <sup>0</sup> sebelum pembangunan terowongan.....	169
Gambar 6.4	Hasil analisis FS pada inlet terowongan dengan slope 45 <sup>0</sup> setelah pembangunan terowongan.....	169
Gambar 6.5	Hasil analisis FS pada outlet terowongan dengan slope 70 <sup>0</sup> sebelum pembangunan terowongan.....	170
Gambar 6.6	Hasil analisis FS pada inlet terowongan dengan slope 70 <sup>0</sup> setelah pembangunan terowongan.....	171
Gambar 6.7	Titik plot penentuan metode ekskavasi di daerah penelitian .....	173
Gambar 6.8	Perbandingan tttotal displacement terhadap nilai k pada BH09 .....	176
Gambar 6.9	<i>Total displacement</i> pada variasi nilai k ( <i>field stress</i> ) .....	176
Gambar 6.10	Hasil analisis nilai <i>total displacement</i> pada setiap STA titik bor pada variasi perkuatan sistem penyangga di daerah penelitian.....	181
Gambar 6.11	Hasil analisis numerik RS2 ( <i>Rocscience, Inc</i> ) pada BH04 tanpa penyangga.....	183
Gambar 6.12	Hasil analisis numerik RS2 ( <i>Rocscience, Inc</i> ) pada BH04 menggunakan penyangga pada kondisi k=2 dengan klasifikasi RMR dan <i>Qsystem</i> .....	184
Gambar 6.13	Hasil analisis numerik RS2 ( <i>Rocscience, Inc</i> ) pada BH04 menggunakan penyangga pada kondisi k=2 dengan alternatif 1 dan alternatif 2 .....	185



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Resume penelitian terdahulu yang digunakan sebagai pustaka.....	10
Tabel 3.1 Klasifikasi batuan Piroklastik dan Epiklastik (Schmid, 1981) .....	25
Tabel 3.2 Klasifikasi kemiringan lereng (Van Zuidam, 1983).....	32
Tabel 3.3 Nilai indeks plastisitas dan jenis tanah (Hardiyatmo, 2006).....	37
Tabel 3.4 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS (Das, 1998) .....	44
Tabel 3.5 Kualitas massa batuan berdasarkan RQD (Deere dan Miller, 1996) .....	48
Tabel 3.6 Kualitas massa batuan (Bieniawski, 1989) .....	50
Tabel 3.7 Panduan penggalian dan sistem penyangga terowongan dengan rentang 10 meter dengan sistem RMR (Bieniawski, 1989).....	51
Tabel 3.8 Estimasi nilai Uniaxial Compressive Strength di lapangan untuk batuan utuh (Hoek dan Brown, 1998) .....	54
Tabel 3.9 Klasifikasi tingkat pelapukan pada massa batuan (ISRM, 1981).....	54
Tabel 3.10 Penentuan kondisi kekar (joint condition) jika terdapat infilling (Bieniawski, 1989).....	55
Tabel 3.11 Penentuan kondisi kekar (joint condition) tanpa infilling (Bieniawski, 1989)	55
Tabel 3.12 Petunjuk estimasi nilai D (disturbance factor) (Hoek and Brown, 2002) .....	57
Tabel 3.13 Kualitas GSI massa batuan (Das dkk, 2013).....	58
Tabel 3.14 Analisa kestabilan lereng berdasarkan metode limit equilibrium and slice method (Abramson dkk.1, 2002) .....	61
Tabel 3.15 Klasifikasi dan Karakteristik Metode Penggalian Terowongan (JSCE, 2007).....	67
Tabel 3.16 Nilai Excavation Support Ratio (ESR) Untuk Variasi Struktur Underground (Barton, dkk, 1974) .....	74

Tabel 5.1 Kesimpulan hasil petrografi batuan di daerah penelitian.....	106
Tabel 5.2 Komposisi mineral yang muncul pada hasil pengujian XRD di daerah penelitian .....	107
Tabel 5.3 Hasil laboratorium kualitas air tanah daerah penelitian.....	126
Tabel 5.4 Resume penilaian GSI batuan permukaan di 28 STA pada daerah penelitian .....	128
Tabel 5.5 Hasil pengujian sifat indeks dan mekanika pada sampel batuan ( <i>intack rock</i> ) permukaan.....	136
Tabel 5.6 Hasil pengujian sifat indeks pada sampel tanah ( <i>soil</i> ) .....	137
Tabel 5.7 Hasil pengujian sifat mekanika pada sampel tanah ( <i>soil</i> ).....	137
Tabel 5.8 Resume penilaian GSI batuan bawah permukaan di 16 titik bor pada jalur terowongan .....	139
Tabel 5.9 Data sekunder hasil pengujian sifat indeks dan mekanika pada sampel batuan ( <i>intack rock</i> ) bawah permukaan (BWS Sumatera VII, 2014).....	144
Tabel 5.10 Parameter analisis kestabilan lereng .....	150
Tabel 5.11 Hasil analisis kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan batas di daerah penelitian.....	152
Tabel 5.12 Hasil analisis metode ekskavasi bukaan terowongan di daerah penelitian....	154
Tabel 5. 13 Parameter <i>material properties</i> analisis kestabilan terowongan di daerah penelitian.....	155
Tabel 5.14 Tabel perhitungan penentuan nilai $k = 2$ .....	157
Tabel 5.15 <i>Properties of Rockbolt</i> (Phanthoudeth, dkk, 2016).....	158
Tabel 5.16 <i>Properties of Shotcrete</i> (Phanthoudeth, dkk, 2016).....	158
Tabel 5.17 <i>Properties of Stell Arch / Steel Rib</i> (Phanthoudeth, dkk, 2016).....	158
Tabel 5.18 <i>Properties of Invert</i> (BWS Sumatera VII, 2014) .....	158

Tabel 5.19 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 04 .....	159
Tabel 5.20 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 05 – BH 06 .....	160
Tabel 5.21 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 07 – BH 08 .....	161
Tabel 5.22 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 09 – BH 10 .....	162
Tabel 5.23 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 11 – BH 12 .....	163
Tabel 5.24 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 13 – BH 14 .....	164
Tabel 5.25 Hasil analisis kestabilan terowongan di BH 15 .....	165