

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Lingkup Penelitian	2
1.4.1 Lingkup Daerah Penelitian.....	2
1.4.2 Lingkup Kegiatan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Bagi Pemangku Kepentingan.....	4
1.5.2 Bagi Peneliti	4
I.6 Batasan Penelitian	4
I.7 Peneliti Terdahulu	5
I.8 Keaslian Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1 Tinjauan Pustaka.....	7
II.1.1 Fisiografi	7
II.1.2 Geomorfologi	7
II.1.3 Stratigrafi.....	8
II.1.4 Struktur Geologi	10
II.1.5 Geologi dan Geologi Teknik Daerah Penelitian.....	11
II.1.6 Zona Kerentanan Gerakan Tanah.....	13
II.2 Landasan Teori	14
II.2.1 Terowongan	14

II.2.2 Penyelidikan Geologi Teknik	15
II.2.3 Pengujian Sifat Indeks dan Keteknikan Tanah dan Batuan	21
II.2.4 Sistem Klasifikasi Massa Batuan	28
II.2.5 Metode Ekskavasi Terowongan	37
II.2.6 Metode Penyangga Terowongan	38
II.2.7 Tegangan In-Situ	38
II.2.8 Beban Gempa	39
II.2.9 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Keseimbangan Batas	39
II.2.10 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Slope Mass Rating dan Analisis Kinematik	43
II.3 Pertanyaan Penelitian	45
II.4 Hipotesis	45
BAB III METODE PENELITIAN	47
III.1 Peralatan dan Bahan Penelitian	47
III.2 Tahapan Penelitian	48
III.3 Diagram Alir Penelitian	55
III.4 Jadwal Pelaksanaan	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	57
IV.1 Karakteristik Kondisi Geologi Teknik	57
IV.1.1 Aspek Geomorfologi	57
IV.1.2 Aspek Batuan dan Tanah	62
IV.1.3 Aspek Struktur Geologi	69
IV.1.4 Aspek Kondisi Air Tanah	72
IV.1.5 Evaluasi Geologi Teknik Daerah Penelitian	73
IV.1.6 Kualitas Massa Batuan	75
IV.1.7 Korelasi antara RMR, Sistem Q dan GSI	84
IV.2 Kestabilan Lereng Portal Berdasarkan SMR	85
IV.2.1 Analisis Kinematika	86
IV.3 Evaluasi Metode Penggalian Terowongan	91
IV.4 Evaluasi Sistem Penyangga Terowongan	92
IV.5 Analisa Kestabilan Lereng Berdasarkan Metode Keseimbangan Batas	93
BAB V KESIMPULAN	99
V.1 Kesimpulan	99
V.2 SARAN	100
DAFTAR PUSTAKA	101

DAFTAR LAMPIRAN	105
Lampiran I.1 Deskripsi petrografi sampel BH 3	106
Lampiran I.2 Deskripsi petrografi sampel STA 41	109
Lampiran I.3 Deskripsi sampel STA 10	112
Lampiran I.4 Deskripsi sampel STA 38	114
Lampiran I.5 Deskripsi sampel STA 54	116
Lampiran I.6 Deskripsi sampel BH 3	119
Lampiran I.7 Deskripsi sampel STA 62	122
Lampiran II.1 Hasil uji sifat indeks tanah BH3 box 4.....	125
Lampiran II.2 Hasil uji sifat indeks tanah <i>inlet</i> 02	126
Lampiran II.3 Hasil uji sifat indeks tanah <i>outlet</i> 01	127
Lampiran II.4 Hasil uji sifat indeks tanah <i>outlet</i> 02	128
Lampiran II.5 Hasil uji sifat indeks batuan 01	129
Lampiran II.6 Hasil uji sifat indeks batuan 02	130
Lampiran III.1 Hasil uji <i>direct shear</i> BH3 box6 TX6.....	131
Lampiran III.2 Hasil uji <i>direct shear</i> BH3 box5 TX5.....	132
Lampiran III.3 Hasil uji <i>direct shear</i> BH3 box6 TX6.....	133
Lampiran III.4 Hasil uji <i>direct shear</i> BH3 box4 TX4.....	134
Lampiran III.5 Hasil uji <i>direct shear</i> B3 05	135
Lampiran III.6 Hasil uji <i>direct shear inlet</i> 01	136
Lampiran III.7 Hasil uji <i>direct shear inlet</i> 02	137
Lampiran III.8 Hasil uji <i>direct shear outlet</i> 01	138
Lampiran III.9 Hasil uji <i>direct shear outlet</i> 02	139
Lampiran IV.1 Hasil uji triaksial BH3 01	140
Lampiran IV.2 Hasil uji triaksial BH3 02	141
Lampiran IV.3 Hasil uji triaksial <i>inlet</i>	142
Lampiran IV.4 Hasil uji triaksial <i>outlet</i>	143
Lampiran V.1 Hasil uji kuat tekan uniaksial BH03 1 dan 2.....	144
Lampiran VI.1 Hasil uji <i>point load</i>	145
Lampiran VII.1 Data log bor BH-01	146
Lampiran VII.2 Data log bor BH-02	149
Lampiran VIII.1 Tabel penilaian kualitas massa batuan <i>rock mass rating</i>	157
Lampiran VIII Hasil uji laboratorium dari data sekunder 2018	163

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta administrasi lokasi penelitian dan lokasi terowongan (Peta Bakosurtanal, 1998)	3
Gambar 2.1	Fisiografi Jawa (van Bemmelen, 1949). Lokasi penelitian terletak di fisiografi egunungan serayu utara	7
Gambar 2.2	Peta geomorfologi Kabupaten Kendal (Lumbanbatu dan Hidayat, 2007). Lokasi penelitian berada pada morfologi perbukitan bergelombang	8
Gambar 2.3	Peta geologi regional lokasi penelitian (Thanden dkk, 1996). Lokasi penelitian berada pada Formasi Penyatan dan Kaligetas	10
Gambar 2.4	Stratigrafi regional lokasi penelitian (Thanden dkk, 1996)	10
Gambar 2.5	Peta Geologi Daerah Bendungan dan Genangan Bodri (PT. Mettana, 2018)	11
Gambar 2.6	Peta geologi teknik genangan Bendungan Bodri (PT. Mettana, 2018)....	12
Gambar 2.7	Peta potensi longsor Kabupaten Kendal (Yogiswara dkk, 2020)	14
Gambar 2.8	Bentuk penampang terowongan (Arifin, 2009); a. bentuk lingkaran, b. bentuk tapal kuda, c. bentuk oval, d. bentuk bulat.	15
Gambar 2.9	Bukit dan lembah (Brahmantyo dan Bandono, 2006)	17
Gambar 2.10	Dasar penamaan batuan beku vulkanik maupun plutonik asam, intermediet, basa berdasarkan IUGS (Streckeisen, 1976; Le Bas dan Streckeisen, 1991).	19
Gambar 2.11	Klasifikasi batuan piroklastik (Fisher, 1966 dalam McPhie dkk., 1993)	19
Gambar 2.12	Skala ukuran butir sedimen klastik (Uden dan Wenworth, 1922 dalam Nichols, 2009)	20
Gambar 2.13	Klasifikasi penamaan mikroskopis untuk batuan silisklastik (Pettijohn, 1975 dalam Nichols, 2009)	20
Gambar 2.14	Diagram fase tanah (Darwis, 2018)	21
Gambar 2.15	Diagram batas – batas atterberg (Das, 1995)	24
Gambar 2.16	Kurva tegangan regangan uji kuat tekan uniaksial (Rai dkk, 2014)	27
Gambar 2.17	Contoh grafik pengujian langsung batuan SNI cara uji geser langsung batu (SNI 2824: 2011.).....	27
Gambar 2.18	Stand-up time Versus Unsupported Span untuk berbagai kelas massa batuan menurut RMR89 (Bieniawski, 1989).	31
Gambar 2.19	Grafik kebutuhan penyangga (NGI, 2015)	34

Gambar 2.20	Penentuan metode ekskavasi berdasarkan nilai indeks point load dan spasi diskontinuitas (Pettifer dan Fookes, 1994).....	38
Gambar 2.21	Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk periode ulang 1000 tahun (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2022).....	39
Gambar 2.22	Gambaran proyeksi stereografis untuk analisis kinematika jenis longsoran; a. model longsoran planar; b. model longsoran baji; c. model longsoran guling (Norrish dan Wylie, 1996).	44
Gambar 3.1	Peta lintasan	49
Gambar 3.2	Geometri lereng <i>inlet</i>	53
Gambar 3.3	Geometri lereng <i>outlet</i>	54
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	55
Gambar 4.1	Satuan perbukitan homoklin Singorojo	58
Gambar 4.2	Satuan lembah sungai Bodri bagian Utara.....	59
Gambar 4.3	Satuan lembah sungai Bodri bagian Selatan.....	59
Gambar 4.4	Peta pola penyaluran sungai.....	60
Gambar 4.5	Peta pola kelurusan	61
Gambar 4.6	Peta geomorfologi.....	61
Gambar 4.7	Profil sayatan geomorfologi.....	62
Gambar 4.8	Batupasir tufan STA 62	64
Gambar 4.9	Kenampakan PPL (a) dan XPL (b) STA 62.....	64
Gambar 4.10	Breksi andesit STA 54	65
Gambar 4.11	Kenampakan PPL (a) dan XPL (b) STA 54.....	65
Gambar 4.12	Batu lempung sisipan batupasir STA 38.....	66
Gambar 4.13	Kenampakan PPL (a) dan XPL (b) STA 38.....	67
Gambar 4.14	Peta geologi.....	67
Gambar 4.15	Profil geologi A-B dan C-D.....	68
Gambar 4.16	Kolom stratigrafi daerah penelitian	69
Gambar 4.17	Kekar ekstensi STA 18	70
Gambar 4.18	Pengukuran kekar gerus STA 25 (a) dan STA 34 (b).....	70
Gambar 4.19	Diagram rosette area inlet STA 25.....	71
Gambar 4.20	Diagram rosette area outlet STA 34.....	71
Gambar 4.21	Sesar geser dekstral STA 38	72
Gambar 4.22	Interpertasi kedalaman muka airtanah	72
Gambar 4.23	Peta tingkat pelapukan batuan permukaan.....	74

Gambar 4.24	Profil tingkat pelapukan batuan sepanjang trase terowongan.....	75
Gambar 4.25	Profil kualitas massa batuan bbawah permukaan berdasarkan RMR	82
Gambar 4.26	Profil kualitas massa batuan bawah permukaan berdasarkan sistem Q ...	82
Gambar 4.27	Kurva korelasi antara RMR dengan GSI	84
Gambar 4.28	Kurva korelasi antara Sistem Q dengan RMR	85
Gambar 4.29	<i>Planar sliding inlet</i> terowongan STA 25	87
Gambar 4.30	<i>Wedge sliding inlet</i> terowongan STA 25	87
Gambar 4.31	<i>Flexural toppling inlet</i> terowongan STA 25	88
Gambar 4.32	<i>Direct toppling inlet</i> terowongan STA 25	88
Gambar 4.33	<i>Planar sliding outlet</i> terowongan STA 34	89
Gambar 4.34	<i>Wedge sliding outlet</i> terowongan STA 34	89
Gambar 4.35	<i>Flexural toppling outlet</i> terowongan STA 34	90
Gambar 4.36	<i>Direct toppling outlet</i> terowongan STA 34	90
Gambar 4.37	Titik plot metode penggalan	91
Gambar 4.38	Titik plot kebutuhan penyangga berdasarkan sistem Q	92
Gambar 4.39	Analisis kestabilan lereng inlet tanpa gempa dengan spencer	94
Gambar 4.40	Analisis kestabilan lereng inlet tanpa gempa dengan GLE/Morgenstern-Price.....	94
Gambar 4.41	Analisis kestabilan lereng inlet gempa dengan spencer.....	95
Gambar 4.42	Analisis kestabilan lereng inlet gempa dengan GLE/Morgenstern-Price	95
Gambar 4.43	Analisis kestabilan lereng outlet tanpa gempa dengan spencer	96
Gambar 4.44	Analisis kestabilan lereng outlet tanpa gempa dengan GLE/Morgenstern-Price.....	96
Gambar 4.45	kestabilan lereng outlet gempa dengan spencer.....	97
Gambar 4.46	kestabilan lereng outlet gempa dengan GLE/Morgenstern-Price	97

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penelitian yang pernah dilakukan terkait lokasi penelitian dan topik penelitian.....	5
Tabel 2.1	Klasifikasi bentuk muka bumi (Bramantyo dan Bandono, 2006)	18
Tabel 2.2	Rangkuman sistem klasifikasi massa batuan yang digunakan pada penelitian ini (Singh dan Goel, 2011).....	28
Tabel 2.3	Kualitas massa batuan berdasarkan RQD (Deere dan Deere, 1988)	29
Tabel 2.4	Parameter penentuan RMR (Bienawski, 1989)	30
Tabel 2.5	Panduan penggalian dan penyangga terowongan dengan lebar 10 m berdasarkan kelas RMR (Bieniawski, 1989)	31
Tabel 2.6	Nilai dari parameter RQD, Jr, Jn dan Ja pada sistem Q (Barton, 2002)... ..	32
Tabel 2.7	Nilai dari parameter Jw dan SRF pada sistem Q (Barton, 2002).....	33
Tabel 2.8	Nilai ESR (NGI, 2015)	33
Tabel 2.9	Klasifikasi GSI untuk batuan yang homogen (Hoek dan Marinos, 2000). ..	35
Tabel 2.10	Klasifikasi GSI pada jenis batuan heterogen (Marinos, 2017)	35
Tabel 2.11	Klasifikasi tingkat pelapukan pada massa batuan (ISRM, 1978).....	36
Tabel 2.12	Penentuan kondisi kekar (<i>joint condition</i>) dengan pengisi (Bieniawski, 1989).....	37
Tabel 2.13	Penentuan kondisi kekar (<i>joint condition</i>) tanpa pengisi (Bieniawski, 1989).....	37
Tabel 2.14	Rasio <i>ground motion</i> berdasarkan kedalaman terowongan (Power, 1998).....	39
Tabel 2.15	Klasifikasi situs (AASHTO, 2012 dalam SNI 8460-2017).....	40
Tabel 2.16	Nilai faktor amplifikasi untuk PGA (SNI 8460-2017).....	40
Tabel 2.17	Nilai rekomendasi SF lereng batuan (SNI 8460-2017).....	42
Tabel 2.18	Faktor gangguan D (<i>Disturbance Factor</i>) (SNI 8460-2017).....	43
Tabel 2.19	Klasifikasi <i>slope mass rating</i> (Laubscher, 1975)	44
Tabel 3.1	Jadwal pelaksanaan penelitian	56
Tabel 4.1	Koreksi <i>apparent dip</i>	68
Tabel 4.2	Kekar Gerus STA 1	70
Tabel 4.3	Kualitas massa batuan pada sisi <i>inlet</i>	76
Tabel 4.4	Kualitas massa batuan pada sisi tengah	77
Tabel 4.5	Kualitas massa batuan pada sisi <i>outlet</i>	78
Tabel 4.6	Hasil pengujian sifat indeks dan mekanik sampel permukaan	80

Tabel 4.7	Kualitas massa batuan bawah permukaan BH 03	81
Tabel 4. 8	Hasil pengujian sifat indeks bawah permukaan.....	83
Tabel 4.9	Hasil pengujian sifat mekanik bawah permukaan	83
Tabel 4.10	Kualitas massa batuan berdasarkan korelasi antara RMR dan GSI.....	85
Tabel 4.11	Rekapitulasi <i>slope mass rating</i>	86
Tabel 4.12	Rekapitulasi kebutuhan penyangga terowongan	92
Tabel 4.13	Rekapitulasi data parameter pemodelan kestabilan lereng.....	93
Tabel 4.14	Hasil evaluasi kestabilan desain lereng	98