

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
INTISARI	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Manfaat Penelitian	3
I.5 Batasan Penelitian	3
I.6 Keterbatasan Penelitian.....	4
I.7 Ruang Lingkup Penelitian	4
I.7.1. Lokasi Penelitian	4
I.7.2. Lingkup Pekerjaan.....	5
I.8 Penelitian Terdahulu	6
I.9 Keaslian Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
II.1 Fisiografi dan Morfologi Regional.....	8
II.2 Statigrafi Regional.....	9
II.3 Struktur Geologi Regional.....	11
II.4 Potensi Kerentanan Gerakan Tanah.....	12
II.5 Faktor Kegempaan.....	13
II.6 Hasil Pengujian Eksisting.....	14
II.7 Rancangan Terowongan	17
BAB III LANDASAN TEORI.....	21
III.1 Pengertian Terowongan.....	21
III.2 Penyelidikan dan Pemetaan Geologi Teknik.....	21

III.2.1 Geomorfologi.....	22
III.2.2 Identifikasi Tanah dan Batuan	24
III.2.3 Stuktur Geologi.....	25
III.2.4 Hidrogeologi	26
III.2.5 Geodinamika.....	27
III.3 Klasifikasi Batuan Beku.....	27
III.4 Pengujian Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan	28
III.4.1 Sifat Fisik Tanah (<i>Soil Index Properties</i>).....	29
III.4.2 Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan (<i>Engineering Properties</i>)	30
III.5 Klasifikasi Kualitas Massa Batuan.....	32
III.5.1 <i>Rock Quality Designation (RQD)</i>	33
III.5.2 <i>Rock Mass Rating (RMR)</i>	34
III.5.3 <i>Geological Strength Index (GSI)</i>	37
III.5.4 <i>Japan Society of Civil Engineers (2007)</i>	40
III.6 Metode Penggalian dan Sistem Penyangga Terowongan.....	45
III.6.1 Metode Penggalian dan Sistem Penyangga Terowongan oleh Bienawski (1989)	45
III.6.2 Metode Penggalian dan Sistem Penyangga Terowongan oleh <i>Japan Society of Civil Engineers (2007)</i>	46
III.7 Stabilitas Lereng Portal Terowongan	54
III.7.1 Analisis Numerik (<i>Finite Element Method</i>).....	55
III.7.2 Perangkat Lunak <i>PHASE2 (Rockscience)</i>	57
III.7.3 Kriteria Keruntuhan <i>Mohr – Coulomb</i>	58
III.7.4 Kriteria Keruntuhan <i>Generalized Hoek Brown</i>	59
III.8 Hipotesis.....	62
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	64
IV.1 Alat dan Bahan Penelitian	64
IV.2 Tahapan Penelitian.....	65
IV.2.1 Tahapan Persiapan.....	65
IV.2.2 Pengumpulan Data	68
IV.2.3 Uji Laboratorium.....	71
IV.2.4 Analisis Data dan Evaluasi Data	73
IV.2.5 Evaluasi Hasil	74
IV.2.6 Pelaporan.....	75

BAB V PENYAJIAN DATA DAN HASIL ANALISIS	76
V.1 Analisis Kondisi Geologi Teknik	76
V.1.1 Kondisi Geomorfologi.....	76
V.1.2 Kondisi Litologi	81
V.1.3 Kondisi Air Tanah.....	90
V.1.4 Kondisi Kegempaan	91
V.1.5 Hasil Pengujian Batuan dan Tanah.....	91
V.1.6 Kualitas Massa Batuan Bawah Permukaan	97
V.2 Analisis Metode Penggalan Terowongan.....	99
V.2.1 Analisis Metode Penggalan Terowongan oleh Bienawski (1989).....	99
V.2.2 Analisis Metode Penggalan Terowongan oleh <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007).....	100
V.3 Analisis Sistem Penyangga Terowongan	102
V.3.1 Analisis Sistem Penyangga Terowongan oleh Bienawski (1989)	102
V.3.2 Analisis Sistem Penyangga Terowongan oleh <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007).....	104
V.4 Analisis Kestabilan Lereng Portal.....	106
V.4.1 Parameter Analisis Kestabilan Lereng Portal.....	106
V.4.2 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Portal.....	110
V.5 Analisis Kestabilan Terowongan.....	111
V.5.1 Parameter Analisis Kestabilan Terowongan.....	112
V.5.2 Hasil Analisis Kestabilan Terowongan.....	116
BAB VI PEMBAHASAN.....	121
VI.1 Evaluasi Kondisi Geologi Teknik	121
VI.2 Evaluasi Metode Penggalan Terowongan.....	124
VI.3 Evaluasi Sistem Penyangga Terowongan	125
VI.4 Kestabilan Lereng Portal Terowongan.....	128
VI.5 Kestabilan Terowongan.....	129
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	131
VII.1 Kesimpulan.....	131
VII.2 Saran	132
DAFTAR PUSTAKA.....	134
DAFTAR LAMPIRAN.....	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Lokasi penelitian terowongan suplesi PLTA Wado 50 MW (Google Earth, 2024)	5
Gambar II.1 Peta Fisiografi Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949).....	8
Gambar II.2 Lokasi penelitian yang menjadi bagian dari lembar peta geologi Ardjawinangun (Djuri, 1973).....	10
Gambar II.3 Peta Zonasi Kerentanan Gerakan Tanah di Provinsi Jawa Barat (PVMBG, 2017)	13
Gambar II.4 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) ...	14
Gambar II.5 Rancangan pembesian dan lining terowongan PLTA Wado 50 MW (PT. Waskita Karya, 2019).....	18
Gambar II.6 <i>Layout</i> pembangunan terowongan suplesi PLTA Wado 50 MW (PT. Waskita Karya, 2019).....	19
Gambar II.7 Rancangan sistem penyangga terowongan PLTA Wado 50 MW (PT. Waskita Karya, 2019).....	20
Gambar III.1 Hubungan antara penggalian terowongan dan lipatan: a) terowongan di tengah antiklin; b) terowongan di tengah sinklin; dan c) terowongan pada puncak sinklin (Gattinoni et. al, 2014).....	26
Gambar III.2 Contoh struktur geologi yang dapat menyebabkan aliran air tanah yang besar selama penggalian terowongan: a) batuan yang retak, b) sungai purba, c) sesar (Gattinoni et al., 2014).....	27
Gambar III.3 Klasifikasi batuan beku vulkanik (Streckeisten, 1976).....	28
Gambar III.4 Prosedur penentuan nilai RQD menggunakan pengeboran inti (Deere & Deere, 1988).....	33
Gambar III.5 Klasifikasi <i>Geological Strength Index</i> (GSI) dari observasi geologi (Marinos & Hoek, 2000).....	38
Gambar III.6 Klasifikasi massa batuan GSI, hubungan antara <i>Joint Condition</i> dan RQD (Hoek et. al, 2013).....	40
Gambar III.7 Geometri lereng terbuka yang menunjukkan hubungan antara sudut lereng, sudut <i>inter-ramp</i> , dan geometri <i>bench</i> (Wyllie, 2005).....	54
Gambar III.8 Tipe elemen 2 dimensi dalam FEM (Suhendro, 2000).....	56
Gambar III.9 Diagram mohr (Mohr, 1900 dalam Hungr, 2014).....	59
Gambar IV.1 Diagram alir penelitian.....	66
Gambar IV.2 Peta lintasan lokasi penelitian	69
Gambar V.1 Kenampakan morfologi perbukitan vulkanik berlereng agak curam di lokasi penelitian	76
Gambar V.2 Kenampakan morfologi perbukitan vulkanik berlereng curam di lokasi penelitian	77
Gambar V.3 Peta geomorfologi terowongan suplesi PLTA Wado	78
Gambar V.4 Sayatan geomorfologi terowongan suplesi PLTA Wado.....	79
Gambar V.5 Peta kemiringan lereng terowongan suplesi PLTA Wado.....	80

Gambar V.6 Kenampakan kelurusan di lokasi penelitian	81
Gambar V.7 Kenampakan sesar geser dextral pada STA 34	82
Gambar V.8 Hasil analisis arah kekar gerus pada STA 34.....	82
Gambar V.9 Hasil analisis arah kekar dengan diagram mawar STA 34	83
Gambar V.10 Kenampakan hasil pengujian petrografi breksi andesit I pada STA 1	84
Gambar V.11 Satuan breksi andesit I pada STA 1.....	85
Gambar V.12 Kenampakan hasil pengujian petrografi breksi andesit II pada STA 30... ..	86
Gambar V.13 Satuan breksi andesit II pada STA 30	86
Gambar V.14 Peta geologi terowongan suplesi PLTA Wado	87
Gambar V.15 Sayatan geologi terowongan suplesi PLTA Wado	88
Gambar V.16 Profil memanjang terowongan suplesi PLTA Wado	88
Gambar V.17 Peta tingkat pelapukan terowongan suplesi PLTA Wado.....	89
Gambar V.18 Profil memanjang tingkat pelapukan terowongan suplesi PLTA Wado....	90
Gambar V.19 Profil memanjang muka air tanah terowongan suplesi PLTA Wado	91
Gambar V.20 Profil memanjang kualitas massa batuan bawah permukaan terowongan suplesi.....	98
Gambar V.21 Penampang memanjang metode penggalian terowongan suplesi yang digunakan berdasarkan Bienawski (1989)	100
Gambar V.22 Penampang memanjang metode penggalian terowongan suplesi yang digunakan berdasarkan <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007).....	102
Gambar V.23 Hasil plot <i>standup-time</i> dan <i>unsupported roof span</i>	103
Gambar V.24 Penampang memanjang sistem penyangga terowongan suplesi yang digunakan berdasarkan Bienawski (1989)	104
Gambar V.25 Penampang memanjang sistem penyangga terowongan suplesi yang digunakan berdasarkan klasifikasi <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007)	106
Gambar V.26 Lokasi analisa kestabilan lereng inlet dan outlet terowongan suplesi	107
Gambar V.27 Geometri lereng portal inlet dan outlet terowongan suplesi.....	108
Gambar V.28 Analisis FEM pada lereng portal: (a) inlet terowongan; (b) outlet terowongan.....	111
Gambar V.29 Lokasi analisis kestabilan terowongan suplesi	113
Gambar V.30 Desain terowongan dan lapisan tingkat pelapukan pada zona 4 terowongan suplesi.....	114
Gambar VI.1 Peta geologi teknik terowongan suplesi PLTA Wado 50 MW	123
Gambar VI.2 Fungsi dan pengaruh pemasangan sistem penyangga terowongan berupa <i>rock bolt</i> (<i>Japan Society of Civil Engineers</i> , 2007).....	126
Gambar VI.3 Fungsi dan pengaruh pemasangan sistem penyangga terowongan berupa <i>shotcrete</i> (<i>Japan Society of Civil Engineers</i> , 2007)	127
Gambar VI.4 Fungsi dan pengaruh pemasangan sistem penyangga terowongan berupa <i>steel sets</i> (<i>Japan Society of Civil Engineers</i> , 2007)	128

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Penelitian terdahulu terkait lokasi dan topik penelitian.....	6
Tabel II.1 Hasil Pengujian <i>index properties</i> dan <i>engineering properties</i> pada batuan dan tanah (PT. Waskita Karya, 2019)	15
Tabel III.1 Hubungan ketinggian absolut dengan morfografi (van Zuidam, 1983).....	23
Tabel III.2 Hubungan kelas lereng dengan sifat-sifat proses dan kondisi lahan (van Zuidam, 1983).....	23
Tabel III.3 Perkiraan Nilai <i>Unaxial Compressive Strength</i> Batuan di Lapangan (Marinos & Hoek, 2000)	24
Tabel III.4 Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978).....	25
Tabel III.5 Kualitas massa batuan berdasarkan nilai RQD (Deere & Miller, 1966).....	34
Tabel III.6 Klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> dan pembobotan nilainya (Bieniawski, 1989)	35
Tabel III.7 Klasifikasi kondisi diskontinuitas dengan pengisi (Bieniawski, 1989)	36
Tabel III.8 Klasifikasi kondisi diskontinuitas tanpa pengisi (Bieniawski, 1989)	36
Tabel III.9 Pengaruh dari <i>strike and dip orientation</i> dalam pekerjaan terowongan (Bieniawski, 1989).....	36
Tabel III.10 Klasifikasi kelas massa batuan dari total bobot (Bieniawski, 1989).....	37
Tabel III.11 Klasifikasi tanah dan batuan menurut JSCE (2007)	42
Tabel III.12 Panduan untuk metode ekskavasi dan sistem penyangga pada terowongan batuan berdasarkan metode RMR (Bieniawski, 1989)	46
Tabel III.13 Klasifikasi dan karakteristik metode penggalan (JSCE, 2007).....	48
Tabel III.14 Sistem Penyangga dan Deformasi yang diijinkan (JSCE, 2007).....	53
Tabel III.15 Rekomendasi nilai SF untuk klasifikasi batuan (SNI 8460:2017).....	55
Tabel III.16 Nilai <i>mi</i> untuk batuan utuh (Hoek et. al, 2002).....	60
Tabel III.17 Estimasi Nilai D (Hoek et al., 2013).....	61
Tabel IV.1 Alat dan Bahan dalam penelitian.....	64
Tabel V.1 Hasil pengujian sifat indeks batuan	93
Tabel V.2 Hasil pengujian UCS	94
Tabel V.3 Hasil pengujian sifat indeks tanah	94
Tabel V.4 Hasil pengujian sifat teknik tanah.....	95
Tabel V.5 Komposisi mineral hasil pengujian petrografi sampel permukaan dan bawah permukaan.....	96
Tabel V.6 Rangkuman elevasi terowongan, litologi, nilai RMR, kelas batuan, kualitas massa batuan dan metode penggalan oleh Bienawski (1989).....	100
Tabel V.7 Rangkuman elevasi terowongan, litologi, kondisi inti pengeboran (RQD), kelas batuan, dan metode penggalan berdasarkan klasifikasi <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007).....	101
Tabel V.8 Sistem penyangga terowongan, <i>stand-up time</i> , dan <i>unsupported roof span</i> berdasarkan Bienawski (1989).....	104
Tabel V.9 Sistem penyangga terowongan suplesi berdasarkan klasifikasi <i>Japan Society of Civil Engineers</i> (2007).....	105

Tabel V.10 Parameter input kestabilan lereng menggunakan <i>Finite Element Method</i> (FEM).....	109
Tabel V.11 Parameter input kestabilan terowongan menggunakan <i>Finite Element Method</i> (FEM)	115
Tabel V.12 Parameter <i>rockbolt properties</i>	116
Tabel V.13 Parameter <i>shotcrete properties</i>	116
Tabel V.14 Parameter <i>steel sets properties</i>	116
Tabel V.15 Parameter <i>wiremesh properties</i>	116
Tabel V.16 Hasil pemodelan FEM kestabilan terowongan suplesi dengan sistem penyangga JSCE (2007).....	118
Tabel VI.1 Hasil Evaluasi rekomendasi desain lereng portal terowongan suplesi	129
Tabel VI.2 Hasil pemodelan FEM pada zona 3, dan zona 4, sesudah dilakukan <i>dewatering</i> pada terowongan suplesi dengan sistem penyangga JSCE (2007)	130