

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
I.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
I.5.1 Ruang Lingkup Lokasi Penelitian.....	4
I.5.2 Ruang Lingkup Kegiatan Pekerjaan.....	6
I.6 Batasan Penelitian.....	7
I.7 Penelitian Terdahulu.....	8
I.8 Keaslian Penelitian.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
II.1 Fisiografi.....	13
II.2 Geomorfologi.....	13
II.3 Geologi dan Stratigrafi Regional.....	17
II.4 Kondisi Material Bawah Permukaan.....	20
II.5 Struktur Geologi.....	20
II.6 Kegempaan.....	20
II.7 Desain Geometri Terowongan Jalan.....	21
BAB III DASAR TEORI.....	23
III.1 Terowongan Jalan.....	23
III.2 Penyelidikan Geologi Teknik.....	24
III.2.1 Peta Geologi.....	24
III.2.2 Geologi Teknik.....	24
III.3 Sifat Tanah/Batuan.....	31
III.3.1 Sifat Indeks Tanah/Batuan.....	31
III.3.2 Sifat Mekanik Batuan/Tanah.....	34
III.4 Klasifikasi Tanah.....	41
III.5 Klasifikasi Kualitas Batuan.....	42
III.6 Longsor.....	50
III.7 Kestabilan Lereng.....	53
III.8 Sistem Penyangga Terowongan.....	53
III.9 Metode Elemen Hingga (<i>Finite-Element Method</i>).....	57
III.10 Faktor Kegempaan.....	58
III.11 Hipotesis.....	60
BAB IV METODE PENELITIAN.....	61
IV.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	61
IV.2 Tahapan dan Alur Penelitian.....	61

IV.2.1	Tahap Pendahuluan.....	63
IV.2.2	Tahapan Pengumpulan Data.....	63
IV.2.2.1	Pengumpulan Data Primer.....	63
IV.2.2.2	Pengumpulan Data Sekunder.....	66
IV.2.3	Tahap Analisis Data.....	70
IV.2.4	Tahap Penyelesaian.....	75
BAB V	PENYAJIAN DATA DAN HASIL ANALISIS.....	79
V.1	Analisis Karakteristik Geologi Teknik.....	79
V.1.1	Kondisi Batuan.....	79
V.1.1.1	Litologi Permukaan.....	80
V.1.1.2	Litologi Bawah Permukaan.....	85
V.1.3.3	Sifat Keteknikan Litologi Permukaan dan Bawah Permukaan.....	88
V.1.2	Kondisi Air Tanah.....	91
V.1.3	Kondisi Geomorfologi.....	100
V.1.4	Struktur Geologi.....	107
V.1.5	Kegempaan.....	110
V.2	Analisis Kualitas Massa Batuan/Tanah Zona Portal.....	115
V.3	Analisis Empiris Sistem Perkuatan Zona Portal.....	116
V.4	Analisis Kondisi Natural dari Massa Batuan/Tanah.....	117
V.5	Analisis Analitis/Numerik Perkuatan Zona Portal.....	118
V.5.1	Analisis Analitis/Numerik Pada Tahap Awal Pelaksanaan Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A.....	118
V.5.2	Analisis Analitis/Numerik Pada Tahap Penyelesaian Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A.....	121
V.5.3	Hasil Analisis Sistem Perkuatan.....	123
BAB VI	PEMBAHASAN.....	125
VI.1	Karakteristik Geologi Teknik.....	125
VI.1.1	Aspek Batuan.....	125
VI.1.2	Air Tanah.....	127
VI.1.3	Aspek Geomorfologi.....	129
VI.1.4	Struktur Geologi.....	131
VI.2	Hasil Analisis Kualitas Massa Batuan/Tanah.....	132
VI.3	Hasil Analisis Sistem Perkuatan Secara Empiris.....	134
VI.4	Hasil Analisis Kondisi Natural.....	135
VI.5	Hasil Analisis Numerik Sistem Perkuatan Zona Portal.....	139
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN.....	141
VII.1	Kesimpulan.....	141
VII.2	Saran.....	145
DAFTAR PUSTAKA	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Trase dan Pembagian Seksi Jalan Tol Yogyakarta-Bawen (PT. Cipta Strada Engineering Consultants, 2021).....	2
Gambar 1.2	Lokasi <i>Twin Tunnel</i> Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Seksi 5 (Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar Grabag Nomor 1409-523 dengan <i>Basemap</i> Google Maps).....	5
Gambar 2.1	<i>Physiographic Sketchmap of Java and Madura</i> (modifikasi dari van Bemmelen, 1949 oleh Hartono, 2010).....	14
Gambar 2.2	Peta Geomorfologi Foto Pulau Jawa dan Madura (Poedjoprajitno, 2011).....	15
Gambar 2.3	Peta Ketinggian Daerah Penelitian (<i>National Digital Elevation Model</i>).....	16
Gambar 2.4	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian dan Sekitarnya Berdasarkan Peta Geologi Regional Magelang dan Semarang, Jawa Skala 1 : 100.000 (Thanden <i>et al.</i> , 1996).....	18
Gambar 2.5	Geometri Rencana Terowongan A, Terowongan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Seksi 5 (PT. Cipta Strada-KSO, 2022).....	21
Gambar 2.6	Peta Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Provinsi Jawa Tengah (Sumber: Robiana <i>et al.</i> , 2010).....	22
Gambar 3.1	Klasifikasi kekuatan batuan utuh (Bieniawski, 1980).....	27
Gambar 3.2	Standar ukuran sampel batuan untuk uji point load dan penentuan diameter ekuivalen (ASTM D 5731-07, 2007).....	35
Gambar 3.3	Contoh prosedur pengukuran dan perhitungan nilai RQD (Deere, 1989).....	43
Gambar 3.4	Jenis Keruntuhan Lereng Akibat Ketidakstabilan Lereng Batuan: (a) longsoran busur, (b) longsoran bidang, (c) longsoran baji, (d) longsoran guling (Matheson, 1983).....	50
Gambar 3.5	Ilustrasi Keruntuhan (<i>Pictorial View</i>) dari Longsoran Baji (Wyllie & Mah, 2004).....	52
Gambar 3.6	Konsep Fundamental pada <i>Finite-Element Method</i>	57
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian.....	62
Gambar 4.2	Peta Lintasan Daerah Penelitian dan Titik Pengambilan Sampel Permukaan.....	76
Gambar 4.3	Lokasi Pengujian dan Pengambilan Sampel pada Terowongan A (Data Primer).....	77
Gambar 4.4	Lokasi Pengujian dan Pengambilan Sampel pada Terowongan A (Data Sekunder).....	77
Gambar 5.1	Dokumentasi singkapan pada STA 28 (a), kenampakan laminasi pada nikol sejajar (b) dan nikol bersilang (c) pada STA 28.....	81
Gambar 5.2	Singkapan Tuf Lapuk Tinggi pada STA 15.....	82
Gambar 5.3	Singkapan Tuf Lapuk Tinggi pada STA 20.....	83
Gambar 5.4	Singkapan Breksi Tuf pada STA 02 (<i>zoom out</i>).....	84

Gambar 5.5	Singkapan Breksi Tuf pada STA 02 (<i>zoom in</i>).....	85
Gambar 5.6	Kenampakan Sampel Tuf pada (a) sampel TN 03 KIRI 2-3 M dan (b) sampel TN 04 KIRI 41-41,7 M.....	86
Gambar 5.7	Contoh Breksi Tuf pada sampel TN 11 KIRI 69-70 M.....	87
Gambar 5.8	Contoh Breksi Tuf pada sampel TN 16 KIRI 45-46 M (a) dan fragmennya (b dan c).....	87
Gambar 5.9	Kenampakan <i>corestone</i> pada TN 14 KIRI 74-75 M.....	88
Gambar 5.10	Peta Geologi Lokasi Penelitian.....	92
Gambar 5.11	Penampang Geologi Trase Terowongan A pada Lokasi Penelitian.....	93
Gambar 5.12	Peta Tingkat Pelapukan Lokasi Penelitian.....	95
Gambar 5.13	Penampang Tingkat Pelapukan Batuan di Sepanjang Terowongan A (<i>Rock Mass Model</i>).....	96
Gambar 5.14	Kenampakan Geomorfologi Lokasi Penelitian dan Sekitarnya.....	102
Gambar 5.15	Peta Pola Pengaliran Air Sungai Pada Lokasi Penelitian.....	103
Gambar 5.16	Peta Pola Kelurusan pada Lokasi Penelitian dan Sekitarnya.....	104
Gambar 5.17	Peta Geomorfologi Lokasi Penelitian dengan Skala 1 : 12.500.....	105
Gambar 5.18	Salah satu singkapan lereng pada STA 4 (kiri) dan interpretasi kekarnya (kanan).....	107
Gambar 5.19	Singkapan lereng alami pada STA 5 (a), hasil analisis diagram mawar (b), dan interpretasi kekar pada salah satu singkapan lereng STA 5 (c).....	108
Gambar 5.20	Singkapan lereng alami pada STA 29 (a), hasil analisis diagram mawar (b), dan interpretasi kekar pada salah satu singkapan lereng STA 29 (c).....	109
Gambar 5.21	Singkapan lereng alami pada STA 43 (a), hasil analisis diagram mawar (b), dan interpretasi kekar pada salah satu singkapan lereng STA 43 (c).....	110
Gambar 5.22	Peta Seismotektonik Jawa Tengah dan DIY (Pusat Studi Gempa Nasional 2017 dan Katalog Gempabumi United States Geological Survey).....	112
Gambar 5.23	Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	113
Gambar 5.24	Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.....	114
Gambar 5.25	Kondisi Massa Batuan/Tanah pada Zona Portal Outlet Terowongan A...	116
Gambar 5.26	Kondisi Bawah Permukaan dengan Mempertimbangkan Konsistensi Nilai N-SPT dan Klasifikasi USCS (Model <i>Soil-Like Approach</i>).....	118
Gambar 5.27	Ketidakstabilan <i>Slope Cut</i> pada Tahap Awal Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A yang Ditunjukkan Melalui Pola Mesh Deformation.....	119
Gambar 5.28	Ketidakstabilan Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Pekerjaan <i>Slope Cut</i> yang ditandai dengan Kode Error: 101 pada PLAXIS 2D.....	

		119
Gambar 5.29	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Awal Pelaksanaan Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Rock Mass</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Plate Structure</i> (FK = 1,501).....	120
Gambar 5.30	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Awal Pelaksanaan Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Rock Mass</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Soil-Grouting Interface</i> (FK = 1,501)....	120
Gambar 5.31	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Awal Pelaksanaan Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Soil-Like Approach</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Plate Element</i> (FK = 1,601).....	121
Gambar 5.32	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Penyelesaian Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Rock Mass</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Plate Element</i> (FK = 1,564).....	122
Gambar 5.33	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Penyelesaian Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Soil-Like Approach</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Soil-Grouting Interface</i> (FK = 1,501)....	122
Gambar 5.34	Stabilitas Sistem Perkuatan pada Tahap Penyelesaian Konstruksi Zona Portal Outlet Terowongan A untuk Model <i>Soil-Like Approach</i> dan <i>Long Face Bolt</i> dimodelkan sebagai <i>Plate Element</i> (FK = 1,564).....	122
Gambar 6.1	Evaluasi Satuan dengan Mempertimbangkan Batas Konsistensi dan Klasifikasi USCS (Model <i>Soil-Like Approach</i>).....	139

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Deskripsi Visual Material Bor Inti pada Terowongan A.....	19
Tabel 3.1	Estimasi nilai UCS batuan utuh di lapangan (Marinos dan Hoek, 2000).....	25
Tabel 3.2	Skala Tingkat Pelapukan Batuan (Dearman, 1991).....	26
Tabel 3.3	Klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1985).....	29
Tabel 3.4	Hubungan Ketinggian Absolut dengan Morfografi (van Zuidam, 1985).....	29
Tabel 3.5	Klasifikasi Simbol Warna Satuan Geomorfologi (Verstappen dan Van Zuidam, 1975).....	30
Tabel 3.6	Variasi Nilai η_H	38
Tabel 3.7	Variasi Nilai η_B	38
Tabel 3.8	Variasi Nilai η_S	38
Tabel 3.9	Variasi Nilai η_R	38
Tabel 3.10	Korelasi N-SPT dan Konsistensi.....	39
Tabel 3.11	Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS (Das, 2010).....	45
Tabel 3.12	Klasifikasi Kualitas Massa Batuan/Tanah (JSCE, 2007).....	46
Tabel 3.13	Metode Penggalian dan Karakteristiknya (JSCE, 2007).....	47
Tabel 3.14	Kriteria Pemilihan Jenis Perkuatan (JSCE, 2007).....	55
Tabel 3.15	Skema Tipikal Pola Perkuatan Serta Deformasi Izin (JSCE, 2007).....	56
Tabel 3.16	Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (Fpga dan Fa) (AASHTO, 2012).....	58
Tabel 3.17	Kriteria Perencanaan Gempa berdasarkan Peruntukkan Infrastruktur (BSN, 2017).....	59
Tabel 3.18	Klasifikasi situs (AASHTO, 2012).....	59
Tabel 4.1	Tabulasi Lokasi Pengamatan dan Total Pengamatan Data Primer dan Sekunder.....	78
Tabel 5.1	Sifat Keteknikan dari Hasil Laboratorium untuk Sampel Bawah Permukaan.....	94
Tabel 5.2	Deskripsi Fisik dan Keteknikan Terkait Satuan Geologi Teknik.....	97
Tabel 5.3	Profil Penampang Geomorfologi Lokasi Penelitian.....	106
Tabel 5.4	Kualitas Massa Batuan/Tanah pada Zona Portal Outlet Terowongan A..	115
Tabel 5.5	Sistem Penyangga Zona Portal Outlet Terowongan A (Metode Empiris).....	116
Tabel 5.6	Hasil Analisis Parameter Kekuatan Kondisi Natural pada Model <i>Rock Mass</i>	117
Tabel 5.7	Hasil Analisis Parameter Keteknikan Kondisi Natural pada Model <i>Soil-Like Approach</i>	118

Tabel 5.8	Hasil Analisis Sistem Perkuatan dengan Mempertimbangkan Metode Empiris dan Analitis/ <i>Numerical Analysis</i> pada Zona Portal Outlet Terowongan A.....	123
Tabel 5.9	Resume Gaya Dalam Normal <i>Long Face Bolt</i> pada Tahap Konstruksi Awal Zona Portal dan Tahap Penyelesaian Konstruksi Zona Portal.....	124
Tabel 6.1	Nilai Kohesi Efektif dari Data Lab dan Hasil Korelasi.....	136
Tabel 6.2	Hasil Uji <i>Slake Durability</i>	137
Tabel 6.3	Rerata Nilai N-SPT dan USCS Symbol pada Setiap Kode Satuan.....	138