

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
INTISARI .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
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 Lokasi Penelitian .....	4
I.5.2 Lingkup Pekerjaan.....	6
I.6 Batasan Penelitian .....	7
I.7 Penelitian Terdahulu .....	7
I.8 Keaslian Penelitian .....	8
BAB II GEOLOGI REGIONAL.....	9
II.1 Fisiografi Regional .....	9
II.2 Stratigrafi dan Geologi Struktur Regional .....	10
II.3 Geometri Terowongan Ciuyah .....	11
II.4 Geologi Teknik Terowongan Ciuyah .....	11
II.5 Survey Geofisika Trase Terowongan Ciuyah .....	13
BAB III TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	16
III.1 Terowongan.....	16
III.2 Penyelidikan Geologi Teknik.....	17
III.2.1 Kondisi Geomorfologi.....	17
III.2.2 Kondisi Tanah dan Batuan .....	19
III.2.3 Kondisi Geologi Struktur .....	25
III.2.4 Kondisi Hidrogeologi.....	27
III.3 Sifat Indeks dan Keteknikan Tanah dan Batuan .....	30

III.3.1 Sifat Indeks Tanah dan Batuan.....	30
III.3.2 Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan.....	31
III.4 Klasifikasi Kualitas Massa Batuan.....	32
III.5 Metode Penggalian Terowongan.....	38
III.6 Sistem Penyangga Terowongan .....	40
III.7 Perangkat Lunak Analisis Rembesan .....	41
III.8 Hipotesis.....	43
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>44</b>
IV.1 Alat dan Bahan Penelitian .....	44
IV.1.1 Alat dan Bahan dalam Pengumpulan Data.....	44
IV.1.2 Alat dan Bahan dalam Pengolahan Data dan Analisis .....	45
IV.2 Langkah Penelitian .....	47
IV.2.1 Persiapan .....	47
IV.2.2 Pengumpulan Data .....	47
IV.2.3 Analisis Data .....	50
IV.2.4 Penyusunan Laporan .....	54
<b>BAB V HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>55</b>
V.1 Geologi Daerah Penelitian .....	55
V.1.1 Geomorfologi .....	55
V.1.2 Litologi.....	62
V.1.3 Struktur Geologi.....	69
V.1.4 Kondisi Geologi .....	71
V.2 Karakteristik Kondisi Geologi Teknik .....	74
V.2.1 Air Tanah.....	74
V.2.2 Sifat Keteknikan dan Kualitas Massa Batuan .....	76
V.3 Rembesan Air Tanah .....	93
<b>BAB VI PEMBAHASAN.....</b>	<b>98</b>
VI.1 Geologi Teknik Daerah Penelitian .....	98
VI.2 Evaluasi Penyebab Kebocoran Air Tanah.....	100
VI.3 Evaluasi Potensi Kebocoran Air Tanah .....	105
VI.4 Evaluasi Metode Penggalian Terowongan.....	109
VI.5 Evaluasi Metode Sistem Penyangga Terowongan .....	111

VI.6 Perbandingan Metode Sistem Penyangga Terowongan Ciuyah .....	116
VI.7 Perbandingan Metode Pengalihan Terowongan Ciuyah .....	122
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....	127
VII.1 Kesimpulan.....	127
VII.2 Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA .....	130
LAMPIRAN I Hasil Analisa Petrografi.....	134
LAMPIRAN II Hasil Uji Sifat Fisik Batuan.....	149
LAMPIRAN III Penilaian Kualitas Massa Batuan Hasil Pemboran .....	157
LAMPIRAN IV Penilaian Kualitas Massa Batuan Hasil Facemaping.....	164
LAMPIRAN V Foto Kegiatan Lapangan.....	166

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Penelitian.....	5
Gambar 2.1	Peta Fisiografi Jawa Bagian Barat (van Bemmelen, 1949).....	9
Gambar 2.2	Peta Geologi Regional daerah penelitian .....	10
Gambar 2.3	Peta lintasan uji geolistrik di trase Terowongan Ciuyah (Daelim-Wika-Waskita JO, 2019) .....	13
Gambar 2.4	Interpretasi batuan berdasarkan nilai resistivity (Daelim-Wika-Waskita JO, 2019) .....	14
Gambar 2.5	Hasil survey geolistrik pada Line 1 (Daelim-Wika-Waskita JO, 2019) .....	14
Gambar 2.6	Hasil survey geolistrik pada Line 2 (Daelim-Wika-Waskita JO, 2019) .....	14
Gambar 2.7	Hasil survey geolistrik pada Line 3 (Daelim-Wika-Waskita JO, 2019) .....	14
Gambar 3.1	Klasifikasi batuan piroklastik (a) berdasarkan tipe material (Schmid, 1981), (b) berdasarkan ukuran butir (Fisher, 1966) ..	19
Gambar 3.2	Jenis Kekar (Malcolm Reeves, University of Saskatchewan) ..	25
Gambar 3.3	Jenis Sesar (Philips, 2018) .....	26
Gambar 3.4	Nilai konduktivitas batuan (Heath, 2004) .....	29
Gambar 3.5	Profil kekasaran (Modifikasi ISRM, 1981).....	37
Gambar 3.6	Metode empirik metode penggalian oleh Franklin et al.1971...	39
Gambar 3.7	Estimasi kategori penyangga terowongan berdasarkan Q-System (Grimstad and Barton, 1993) .....	42
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian .....	46
Gambar 5.1	Peta pola pengaliran sungai daerah penelitian .....	56
Gambar 5.2	Analisis kelurusan dengan sudut penyinaran 45°.....	57
Gambar 5.3	Analisis kelurusan dengan sudut penyinaran 135°.....	57
Gambar 5.4	Satuan Perbukitan rendah denudasional berlereng landai.....	58
Gambar 5.5	Satuan Perbukitan rendah struktural berlereng agak curam.....	60

Gambar 5.6	Peta Geomorfologi daerah penelitian.....	61
Gambar 5.7	Contoh singkapan Satuan Tuff pada STA 1A.....	62
Gambar 5.8	(a) Arang dan fosil kayu pada STA 24, (b) rembesan air dinding batuan pada STA 25.....	64
Gambar 5.9	Contoh singkapan batulempung tuffan pada STA 16. ....	65
Gambar 5.10	Peta kerangka dan lintasan daerah penelitian.....	66
Gambar 5.11	Lokasi titik pemboran penyelidikan litologi bawah permukaan .....	67
Gambar 5.12	Profil penampang pemboran bawah permukaan .....	67
Gambar 5.13	Kenampakan batupasir tuffan pada BTC-1 kedalaman 10-15 m .....	68
Gambar 5.14	Kenampakan batulempung tuffan pada BTC-2 kedalaman 45-50 m .....	69
Gambar 5.15	Offset batuan pada dinding lereng outlet portal.....	70
Gambar 5.16	Struktur monoklin pada jalan akses outlet portal.....	70
Gambar 5.17	Kenampakan kekar pada STA 18.....	71
Gambar 5.18	Pengolahan data kekar STA 18 dengan software Dips .....	71
Gambar 5.19	Peta geologi daerah penelitian .....	72
Gambar 5.20	Profil penampang geologi .....	73
Gambar 5.21	Kondisi muka air tanah berdasarkan data pemboran .....	74
Gambar 5.22	Peta pola aliran air permukaan.....	75
Gambar 5.23	Peta geologi teknik tingkat pelapukan batuan daerah penelitian.....	77
Gambar 5.24	Contoh singkapan Satuan Tuff lapuk tinggi pada STA 1A .....	78
Gambar 5.25	Contoh singkapan Satuan Tuff lapuk sempurna pada STA 12 .....	79
Gambar 5.26	Contoh singkapan batupasir tuffan lapuk ringan pada STA 25 .....	79
Gambar 5.27	Contoh singkapan batulempung tuffan lapuk sedang pada STA 8 .....	80

Gambar 5.28	Profil kualitas massa batuan trase terowongan .....	86
Gambar 5.29	Kebocoran air tanah pada STA 0+719,6 (Daelim-Wika-Waskita, 2021).....	93
Gambar 5.30	Muka galian STA 0+719,6 (kiri), kenampakan slickenside (kanan) (Daelim-Wika-Waskita, 2021).....	94
Gambar 5.31	Void pada atap (kiri), rembesan air tanah pada void (kanan) (Daelim-Wika-Waskita, 2021).....	94
Gambar 5.32	Monitoring debit aliran air STA 0+719,6 dan STA 0+714,6 (Daelim-Wika-Waskita, 2021).....	96
Gambar 6.1	Pemodelan arah aliran air tanah .....	101
Gambar 6.2	Model kondisi pergerakan air tanah pada penggalian terowongan di sekitar STA 0+719,6 .....	103
Gambar 6.3	Model kondisi pergerakan air tanah pada penggalian terowongan di sekitar STA 1+224 .....	104
Gambar 6.4	Aliran air pada muka galian STA 1+224 .....	105
Gambar 6.5	Aliran air melalui pipe roof setelah STA 1+224.....	105
Gambar 6.6	Lokasi rembesan pada batuan tipikal di luar penggalian terowongan.....	106
Gambar 6.7	Potensi rembesan pada trase terowongan yang belum digali....	107
Gambar 6.8	Kontur tekanan air pori pada trase terowongan yang belum digali.....	108
Gambar 6.9	Rekomendasi metode penggalian berdasarkan excavatability classification system.....	110
Gambar 6.10	Hasil plot untuk menentukan metode penyangga berdasarkan Q-system .....	113
Gambar 6.11	Sistem penyangga berdasarkan Q-system (Norwegian Geotechnical Institute, 2013) .....	115
Gambar 6.12	Perkuatan rock bolt (JSCE 2018).....	119
Gambar 6.13	Efek perkuatan forepoling (JSCE, 2018) .....	120
Gambar 6.14	Contoh instalasi forepoling (JSCE, 2018).....	120
Gambar 6.15	Contoh instalasi pipe roof (JSCE, 2018).....	121

Gambar 6.16	Keruntuhan muka galian STA 0+360 .....	122
Gambar 6.17	Kenampakan muka galian STA 1+ 210 setelah pemasangan steel rib .....	123
Gambar 6.18	Perbandingan metode penggalian .....	124
Gambar 6.19	Stand up time berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989).....	125

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penelitian Terdahulu .....	7
Tabel 2.1	Resume kualitas massa batuan pada penggalian terowongan sisi inlet .....	12
Tabel 2.2	Resume kualitas massa batuan pada penggalian terowongan sisi outlet .....	12
Tabel 3.1	Bentuk morfologi terhadap ketinggian relatif (Bermana, 2006).....	18
Tabel 3.2	Klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1983) .....	18
Tabel 3.3	Klasifikasi batuan sedimen klastik (Wentworth, 1922) .....	20
Tabel 3.4	Klasifikasi tanah USCS (Das, 1995).....	22
Tabel 3.5	Klasifikasi tingkat pelapukan massa batuan (ISRM, 1981) .....	23
Tabel 3.6	Klasifikasi kekuatan massa batuan ISRM modifikasi dari Brown (1981) dan Hoek (2007) .....	24
Tabel 3.7	Nilai porositas pada batuan (Heath, 2004) .....	28
Tabel 3.8	Pengujuan Laboratorium untuh Tanah dan Batuan (modifikasi Kemen PUPR, 2015).....	30
Tabel 3.9	Klasifikasi kualitas massa batuan berdasarkan RQD (Deere 1988).....	33
Tabel 3.10	Klasifikasi massa batuan RMR (Bieniawski, 1989).....	34
Tabel 3.11	Klasifikasi jumlah set kekar (Barton et al, 1974).....	35
Tabel 3.12	Klasifikasi kekasaran kekar (Barton et al, 1974) .....	36
Tabel 3.13	Klasifikasi jumlah alterasi kekar (Barton et al, 1974).....	37
Tabel 3.14	Faktor reduksi air (Barton et al, 1974) .....	38
Tabel 3.15	Faktor reduksi tekanan (Barton et al, 1974).....	38
Tabel 3.16	Petunjuk penggalian dan sistem penyangga terowongan berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989) .....	40
Tabel 5.1	Profil geomorfologi daerah penelitian.....	60
Tabel 5.2	Data kondisi muka air tanah berdasarkan hasil pemboran.....	75

Tabel 5.3	Fluktuasi kondisi muka air tanah berdasarkan sumur pengamatan.....	75
Tabel 5.4	Resume penilaian RMR dan Q-system berdasarkan hasil pemboran.....	81
Tabel 5.5	Resume penilaian RMR dan Q-system sisi outlet terowongan.....	86
Tabel 5.6	Resume penilaian RMR dan Q-system sisi inlet terowongan.....	87
Tabel 5.7	Data sekunder hasil pengujian laboratorium sifat indeks dan mekanika batuan lokasi penelitian .....	88
Tabel 5.8	Data sekunder hasil pengujian batuan pada elevasi terowongan .....	89
Tabel 5.9	Data sekunder pengujian batuan di lapangan .....	90
Tabel 5.10	Monitoring aliran air (Daelim-Wika-Waskita, 2021) .....	95
Tabel 5.11	Monitoring penurunan permukaan tanah (Daelim-Wika-Waskita, 2021).....	97
Tabel 6.1	Rekomendasi metode penggalian berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989) .....	111
Tabel 6.2	Rekomendasi sistem penyangga terowongan berdasarkan RMR ....	112
Tabel 6.3	Rekomendasi sistem penyangga terowongan berdasarkan Q-system.....	114
Tabel 6.4	Perbandingan metode sistem penyangga terowongan.....	118