

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xvii</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>I.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>I.4 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>I.5 Lingkup Penelitian.....</b>	<b>5</b>
<b>I.5.1 Lingkup Daerah Penelitian.....</b>	<b>5</b>
<b>I.5.2 Lingkup Pekerjaan.....</b>	<b>5</b>
<b>I.6 Batasan Penelitian.....</b>	<b>6</b>

<b>I.7 Penelitian Terdahulu .....</b>	<b>8</b>
<b>I.8 Keaslian Penelitian.....</b>	<b>9</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>10</b>
<b><i>II.A Tinjauan Pustaka.....</i></b>	<b>10</b>
<b>II.A.1 Stratigrafi Regional Desa Karangsari Kabupaten Karanganyar.....</b>	<b>10</b>
<b>II.A.2 Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian .....</b>	<b>11</b>
<b>II.A.3 Geometri Terowongan .....</b>	<b>17</b>
<b><i>II.B Landasan Teori .....</i></b>	<b>18</b>
<b>II.B.1 Pengertian Terowongan.....</b>	<b>18</b>
<b>II.B.2 Penyelidikan Geologi Teknik .....</b>	<b>19</b>
<b>II.B.3 Pemetaan Geologi Teknik Permukaan.....</b>	<b>20</b>
<b>II.B.4 Klasifikasi Kualitas Massa Batuan.....</b>	<b>24</b>
<b>II.B.5 Mekanika Teknik Tanah dan Batuan .....</b>	<b>30</b>
<b>II.B.6 Pengaruh Kestabilan Lereng terhadap Portal Terowongan.</b>	<b>42</b>
<b>II.B.7 Metode Ekskavasi Bukaan Terowongan.....</b>	<b>43</b>
<b>II.B.8 Kestabilan Sistem Penyangga Terowongan.....</b>	<b>44</b>
<b>II.B.9 Pengaruh Gempa terhadap Terowongan.....</b>	<b>46</b>
<b>II.B.10 Software RS2 (Rocscience, Inc) .....</b>	<b>47</b>
<b><i>II.C Hipotesis .....</i></b>	<b>51</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>53</b>
<b>III.1 Alat dan Bahan Penelitian.....</b>	<b>53</b>

<b>III.2 Tahapan Penelitian .....</b>	<b>53</b>
<b>III.2.1 Pekerjaan Pendahuluan.....</b>	<b>53</b>
<b>III.2.2 Pekerjaan Pengumpulan Data .....</b>	<b>54</b>
<b>III.2.3 Pekerjaan Penyelidikan Laboratorium.....</b>	<b>58</b>
<b>III.2.4 Pekerjaan Analisis Data .....</b>	<b>59</b>
<b>III.2.5 Pekerjaan Evaluasi Hasil.....</b>	<b>65</b>
<b>III.2.6 Pekerjaan Pelaporan.....</b>	<b>66</b>
<b>BAB IV PENYAJIAN DATA DAN HASIL ANALISIS.....</b>	<b>68</b>
<b>IV.1 Karakteristik Geologi Teknik Daerah Penelitian .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.1.1 Morfologi.....</b>	<b>68</b>
<b>IV.1.2 Aspek Batuan dan Tanah .....</b>	<b>70</b>
<b>IV.1.3 Struktur Geologi.....</b>	<b>79</b>
<b>IV.1.4 Air Tanah.....</b>	<b>81</b>
<b>IV.1.5 Kegempaan .....</b>	<b>82</b>
<b>IV.2 Analisis Parameter Kualitas Massa Batuan .....</b>	<b>83</b>
<b>IV.3 Satuan Karakteristik Geologi Teknik Batuan .....</b>	<b>92</b>
<b>IV.4 Analisis Kestabilan Lereng Portal Terowongan .....</b>	<b>97</b>
<b>IV.5 Analisis Metode Ekskavasi Bukaan Terowongan .....</b>	<b>111</b>
<b>IV.6 Analisis Kestabilan Terowongan .....</b>	<b>113</b>
<b>IV.6.1 Penentuan Sistem Penyangga Terowongan .....</b>	<b>113</b>
<b>IV.6.2 Data Masukan Pemodelan.....</b>	<b>114</b>
<b>IV.6.3 Hasil Pemodelan Analisis Kestabilan Terowongan .....</b>	<b>119</b>

<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>	<b>128</b>
<b>V.1 Evaluasi Kondisi Geologi Teknik .....</b>	<b>128</b>
<b>V.2 Evaluasi Kestabilan Lereng Pada Portal Terowongan .....</b>	<b>130</b>
<b>V.3 Evaluasi Metode Ekskavasi Terowongan .....</b>	<b>132</b>
<b>V.4 Evaluasi Kestabilan Terowongan .....</b>	<b>133</b>
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>144</b>
<b>VI.1 Kesimpulan.....</b>	<b>144</b>
<b>VI.2 Saran .....</b>	<b>146</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>147</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>152</b>
I. Denah Terowongan Pengelak Bendungan Jlantah.....	153
II. Lokasi Bor Inti Bendungan Jlantah.....	154
III. Data Bor Inti .....	155
IV. Perhitungan Koefisien Gempa .....	178
V. Hasil Uji Laboratorium .....	180
VI. Hasil Pemodelan Numerik Kestabilan Terowongan.....	207

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b>	Lokasi daerah penelitian .....	6
<b>Gambar 2. 1</b>	Kondisi geologi regional daerah penelitian menurut peta geologi regional Lembar Ponorogo 1508-1(Sampurna dkk., 1997) .....	11
<b>Gambar 2. 2</b>	Zona kerentanan gerakan tanah daerah penelitian menurut peta zona kerentanan gerakan tanah Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018) .....	14
<b>Gambar 2. 3</b>	Kondisi muka air tanah pada rencana lokasi bendungan (PT. Aditya Engineering Consultant, 2017) .....	16
<b>Gambar 2. 4</b>	Zona kawasan rawan gempabumi daerah penelitian menurut peta kawasan rawan bencana gempabumi Provinsi Jawa Tengah (Robiana dkk., 2010) .....	17
<b>Gambar 2. 5</b>	Chart estimasi nilai GSI (Hoek dkk., 2013).....	26
<b>Gambar 2. 6</b>	Persyaratan penyangga batuan menggunakan RMR dan Q Sistem (Lwin, 2009) .....	45
<b>Gambar 2. 7</b>	Tipe elemen dua dimensi dalam FEM (Suhendro, 2000) .....	47
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir penelitian .....	67
<b>Gambar 4. 1</b>	Kondisi kemiringan lereng daerah penelitian (a) bagian utara; (b) bagian timur; (c) bagian selatan; (d) bagian barat lokasi rencana Bendungan Jlantah.....	69
<b>Gambar 4. 2</b>	Peta kemiringan lereng daerah penelitian .....	70

<b>Gambar 4. 3</b>	Peta lintasan STA pengamatan daerah penelitian (Triatmojo, 2019) .....	76
<b>Gambar 4. 4</b>	Peta geologi daerah penelitian (Triatmojo, 2019) .....	77
<b>Gambar 4. 5</b>	Kenampakan litologi sepanjang trase terowongan (Triatmojo, 2019) .....	78
<b>Gambar 4. 6</b>	Peta kelurusan daerah penelitian (Triatmojo, 2019) .....	80
<b>Gambar 4. 7</b>	Hasil analisis kelurusan dengan diagram mawar daerah penelitian (Triatmojo, 2019) .....	81
<b>Gambar 4. 8</b>	Posisi kedalaman muka air tanah pada trase terowongan (BBWS Bengawan Solo, 2017) .....	82
<b>Gambar 4. 9</b>	Peta sebaran kualitas massa batuan permukaan daerah penelitian berdasarkan nilai GSI (Triatmojo, 2019) .....	85
<b>Gambar 4. 10</b>	Kualitas massa batuan berdasarkan penilaian GSI pada trase terowongan .....	89
<b>Gambar 4. 11</b>	Kondisi geologi teknik batuan bawah permukaan rencana lokasi trase terowongan .....	93
<b>Gambar 4. 12</b>	Peta geologi teknik batuan permukaan pada lokasi penelitian .	94
<b>Gambar 4. 13</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan kondisi kemiringan lereng sesuai desain rencana tanpa pengaruh gempa .....	99
<b>Gambar 4. 14</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan kondisi kemiringan lereng sesuai desain rencana dengan pengaruh gempa .....	100

<b>Gambar 4. 15</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan alternatif 1 (1V:1,5H) tanpa pengaruh gempa.....	101
<b>Gambar 4. 16</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan alternatif 1 (1V:1,5H) dengan pengaruh gempa.....	102
<b>Gambar 4. 17</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan alternatif 2 (1V:2H) tanpa pengaruh gempa.....	103
<b>Gambar 4. 18</b>	Hasil analisis pemodelan pada inlet portal terowongan alternatif 2 (1V:2H) dengan pengaruh gempa.....	104
<b>Gambar 4. 19</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan kondisi kemiringan lereng sesuai desain rencana tanpa pengaruh gempa .....	105
<b>Gambar 4. 20</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan kondisi kemiringan lereng sesuai desain rencana dengan pengaruh gempa .....	106
<b>Gambar 4. 21</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan alternatif 1 (1V:1,5H) tanpa pengaruh gempa.....	107
<b>Gambar 4. 22</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan alternatif 1 (1V:1,5H) dengan pengaruh gempa.....	108
<b>Gambar 4. 23</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan alternatif 2 (1V:2H) tanpa pengaruh gempa.....	109
<b>Gambar 4. 24</b>	Hasil analisis pemodelan pada outlet portal terowongan alternatif 2 (1V:2H) dengan pengaruh gempa.....	110

<b>Gambar 4. 25</b>	Posisi tinjauan/section analisis metode ekskavasi dan kestabilan terowongan.....	112
<b>Gambar 4. 26</b>	Penentuan sistem penyangga terowongan menggunakan Q sistem .....	114
<b>Gambar 4. 27</b>	Sketsa lapisan tanah dan batuan pada tiap section sepanjang trase terowongan.....	117
<b>Gambar 4. 28</b>	Hasil nilai displacement pemodelan kestabilan terowongan pada tinjauan section S1 tanpa perkuatan.....	125
<b>Gambar 4. 29</b>	Hasil nilai displacement pemodelan kestabilan terowongan pada tinjauan section S1 dengan perkuatan berdasarkan klasifikasi RMR.....	126
<b>Gambar 4. 30</b>	Hasil nilai displacement pemodelan kestabilan terowongan pada tinjauan section S1 dengan perkuatan berdasarkan klasifikasi Q sistem .....	127
<b>Gambar 5. 1</b>	Hasil analisis kestabilan terowongan tahap penggalian top heading.....	139
<b>Gambar 5. 2</b>	Hasil analisis kestabilan terowongan tahap penggalian bench	140
<b>Gambar 5. 3</b>	Perbandingan nilai displacement bagian atap pada pemodelan kestabilan terowongan berdasarkan metode RMR dan Q sistem .....	141



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. 1</b>	Penelitian terdahulu .....	8
<b>Tabel 2. 1</b>	Hubungan kelas lereng dengan sifat - sifat proses dan kondisi lahan (Van Zuidam, 1983) .....	21
<b>Tabel 2. 2</b>	Skala tingkat pelapukan massa batuan (ISRM, 1978 dalam Dearman, 1991) .....	23
<b>Tabel 2. 3</b>	Penentuan kondisi kekar (joint condition) jika terdapat infilling (Bieniawski, 1989) .....	28
<b>Tabel 2. 4</b>	Penentuan kondisi kekar (joint condition) tanpa infilling (Bieniawski, 1989) .....	28
<b>Tabel 2. 5</b>	Kualitas GSI massa batuan (Sivakugan, 2013) .....	28
<b>Tabel 2. 6</b>	Angka Poisson Tanah (Das, 1995) .....	35
<b>Tabel 2. 7</b>	Modulus Elastisitas pada Tanah (Das, 1995) .....	35
<b>Tabel 2. 8</b>	Petunjuk estimasi nilai D (disturbance factor) (Hoek dan Brown, 2002) .....	38
<b>Tabel 2. 9</b>	Panduan nilai modulus ratio (MR) (Deere dkk., 1968) .....	39
<b>Tabel 2. 10</b>	Sistem Klasifikasi Tanah Unified (Das, 1995) .....	41
<b>Tabel 2. 11</b>	Panduan penggalian dan sistem penyangga terowongan dengan rentang 10 meter dengan sistem RMR (Bieniawski, 1989) .....	43
<b>Tabel 2. 12</b>	Nilai Excavation Support Ratio (ESR) untuk variasi struktur underground (Barton dkk., 1974) .....	46

<b>Tabel 3. 1</b>	Data penyangga terowongan.....	64
<b>Tabel 4. 1</b>	Hasil pengujian sifat indeks dan mekanika pada sampel batuan (intack rock) permukaan .....	86
<b>Tabel 4. 2</b>	Hasil pengujian sifat indeks pada sampel tanah (soil).....	86
<b>Tabel 4. 3</b>	Hasil pengujian sifat mekanika pada sampel tanah (soil).....	87
<b>Tabel 4. 4</b>	Penilaian GSI batuan bawah permukaan pada trase terowongan .....	90
<b>Tabel 4. 5</b>	Hasil pengujian sifat indeks sampel batuan bawah permukaan .	91
<b>Tabel 4. 6</b>	Hasil pengujian sifat mekanika sampel batuan bawah permukaan .....	91
<b>Tabel 4. 7</b>	Deskripsi kondisi batuan dan tanah lokasi penelitian.....	95
<b>Tabel 4. 8</b>	Parameter input pemodelan kestabilan lereng portal .....	97
<b>Tabel 4. 9</b>	Hasil perhitungan analisis kestabilan lereng portal .....	98
<b>Tabel 4. 10</b>	Hasil analisis metode ekskavasi bukaan terowongan .....	112
<b>Tabel 4. 11</b>	Hasil analisis sistem penyangga yang disarankan .....	115
<b>Tabel 4. 12</b>	Parameter generalized Hoek-Brown criterion untuk pemodelan .....	118
<b>Tabel 4. 13</b>	Hasil perhitungan nilai Eh .....	118
<b>Tabel 4. 14</b>	Hasil pemodelan nilai displacement tahap penggalian top heading .....	121

<b>Tabel 4. 15</b>	Hasil analisis nilai displacement pada atap, dinding dan lantai terowongan setelah seluruh proses penggalian dilakukan (tanpa pengaruh gempa).....	121
<b>Tabel 4. 16</b>	Hasil analisis nilai displacement pada atap, dinding dan lantai terowongan setelah seluruh proses penggalian dilakukan (dengan pengaruh gempa).....	122
<b>Tabel 4. 17</b>	Hasil analisis kestabilan terowongan tanpa pengaruh gempa.	123
<b>Tabel 4. 18</b>	Hasil kestabilan terowongan dengan pengaruh gempa.....	124
<b>Tabel 5. 1</b>	Nilai displacement pada atap akibat pengaruh beban gempa dan tanpa beban gempa.....	142