

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Lingkup Penelitian	6
1.5.1. Lokasi Penelitian.....	6
1.5.2. Lingkup Pekerjaan	6
1.6. Batasan Masalah	7
1.7. Peneliti Terdahulu	8
1.8. Keaslian Penelitian	9
BAB II GEOLOGI DAN GEOLOGI TEKNIK REGIONAL	12
2.1. Stratigrafi Regional.....	12
2.2. Struktur Geologi Regional.....	12
2.3. Geologi Teknik Regional.....	15
BAB III DASAR TEORI DAN HIPOTESIS.....	17
3.1. Pengertian Terowongan.....	17
3.2. Penyelidikan Geologi Teknik.....	18
3.2.1. Pemetaan Geologi Teknik Permukaan	18
3.2.2. Pengujian Sifat Indeks dan Keteknikan Tanah di Laboratorium	21
3.2.2.1. Sifat Indeks Tanah	21
3.2.2.2. Sifat Keteknikan Tanah	25
3.2.3. Klasifikasi Tanah	29
3.3. Mineral Lempung.....	30
3.4. Deformasi Terowongan.....	36

3.5.	Metode Penggalan Bukaan Terowongan	39
3.6.	Sistem Penyangga Terowongan.....	47
3.7.	Kestabilan pada Terowongan yang Berdekatan	61
3.8.	Gempa Bumi.....	62
3.9.	Gempa Bumi di Jawa Barat	62
3.10.	Respon Spektrum di Permukaan	63
3.10.1.	Identifikasi Gempa.....	64
3.10.2.	Fungsi Atenuasi	64
3.11.	Risiko Pada Terowongan dan Mitigasi	75
3.12.	Perangkat Lunak RS2 (<i>Rocscience, Inc</i>)	77
3.13.	Hipotesis	77
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		79
4.1.	Alat dan Bahan Penelitian	79
4.1.1.	Alat dan Bahan di Lapangan dan di Laboratorium.....	79
4.1.2.	Alat dan Bahan untuk Analisis dan Pengolahan Data	80
4.2.	Tahapan Penelitian.....	80
4.3.	Analisis Data	84
4.4.	Diagram Alir Penelitian	109
BAB V PENYAJIAN DATA DAN HASIL ANALISIS		111
5.1.	Karakteristik Geologi Teknik Daerah Penelitian	111
5.1.1.	Morfologi	111
5.1.2.	Struktur Geologi	112
5.1.3.	Batuan dan Tanah	113
5.2.	Analisis numerik deformasi dan kestabilan pada terowongan yang berdekatan	131
5.3.	Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Nilai Deformasi	147
5.4.	Analisis Numerik Kestabilan Terowongan Akibat Pengaruh Gempa.....	154
BAB VI PEMBAHASAN		160
6.1.	Evaluasi Karakteristik Geologi Teknik	160
6.1.1.	Batuan dan tanah.....	160
6.2.	Evaluasi Kestabilan Pada Terowongan Yang Berdekatan.....	161
6.3.	Evaluasi Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Nilai Deformasi.....	166
6.4.	Evaluasi Analisis Numerik Pengaruh Gempa Terhadap Kestabilan Terowongan	168
6.5.	Evaluasi Mitigasi pada Risiko Pembangunan Terowongan Cisumdawu	170

6.5.1. Runtuhnya Atap Terowongan dan Penurunan Tanah di Permukaan	170
6.5.2. Kenaikan Lantai Terowongan	172
6.5.3. Pengaruh Gempa Pada Kestabilan Terowongan	173
6.5.3.1. Mitigasi Pada Terowongan Yang Memiliki Seismisitas	174
BAB VII KESIMPULAN	178
7.1. Kesimpulan	178
7.2. Saran	181
DAFTAR PUSTAKA	182

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Peneliti terdahulu serta hubungannya dengan topik penelitian.....	10
Tabel 3. 1	Hubungan skala dengan fase penyelidikan (Look, 2007).....	18
Tabel 3. 2	Tingkat pelapukan batuan (ISRM, 1978)	19
Tabel 3. 3	Klasifikasi dan Karakteristik Metode Penggalian Terowongan (JSCE, 2007)	41
Tabel 3. 4	Kriteria Pemilihan Sistem Penyangga (JSCE, 2007)	49
Tabel 3. 5	Tipikal Standar Penyangga Terowongan untuk Terowongan Jalan Raya dengan Penampang Besar, lebar Inner 12,5 m sampai 14 m (JSCE, 2007)	51
Tabel 3. 6	Kategori batuan/tanah menurut JSCE (2007)	52
Tabel 3. 7	Kategori batuan/tanah menurut JSCE (2007) lanjutan	53
Tabel 3. 8	Klasifikasi Perkuatan Tambahan (JSCE, 2007)	54
Tabel 3. 9	Ilustrasi dan Penjelasan Metode Tambahan (JSCE, 2007)	55
Tabel 3. 10	Sesar Aktif di Jawa bagian Barat (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)	63
Tabel 3. 11	Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Jawa dan sekitarnya (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).....	64
Tabel 3. 12	Logic tree untuk sumber gempa patahan (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).....	66
Tabel 3. 13	Logic tree untuk sumber gempa subduksi interface (Megathrust) (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).....	66
Tabel 3. 14	Logic tree untuk sumber gempa subduksi shallow background (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).....	67
Tabel 3. 15	Logic tree untuk sumber gempa subduksi deep intraslab (Benioff) (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).....	67
Tabel 3. 16	Koeffisien Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia 2014 (1)	71
Tabel 3. 17	Koeffisien Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia 2014 (2)	71
Tabel 3. 18	Koeffisien Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia 2014 (3)	72
Tabel 3. 19	Koeffisien Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia 2014 (4)	72
Tabel 3. 20	Koeffisien Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia 2014 (5)	73
Tabel 3. 21	Jenis Ketidakpastian Pada Proyek Terowongan (Spackova, 2012).....	75
Tabel 4. 1	Nilai Parameter Material.....	88
Tabel 4. 2	Nilai Parameter Forepolling	89
Tabel 4. 3	Nilai Parameter Sistem Penyangga dan Lining System	90
Tabel 4. 4	Nilai Parameter Rockbolt.....	90
Tabel 4. 5	Tahapan Analisis Deformasi Terowongan.....	91
Tabel 4. 6	Tahapan analisis numerik kestabilan pada terowongan yang berdekatan	97
Tabel 4. 7	Parameter yang digunakan dalam perhitungan PGA.....	99
Tabel 4. 8	Tahapan dalam analisis numerik pengaruh gempa terhadap kestabilan terowongan.....	102
Tabel 5. 1	Hasil validasi kedalaman batas lapisan satu	118
Tabel 5. 2	Karakteristik keteknikan tanah permukaan.....	124

Tabel 5. 3 Karakteristik Geologi Teknik Permukaan	125
Tabel 5. 4 Karakteristik keteknikan bawah permukaan	128
Tabel 5. 5 Karakteristik geologi teknik tanah bawah permukaan	129
Tabel 5. 6 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+658,8	132
Tabel 5. 7 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+662,4	133
Tabel 5. 8 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+667	134
Tabel 5. 9 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+672	134
Tabel 5. 10 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+674,3	135
Tabel 5. 11 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+676,5	135
Tabel 5. 12 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+678,9	136
Tabel 5. 13 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+681,3	136
Tabel 5. 14 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+682	137
Tabel 5. 15 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+682,5	137
Tabel 5. 16 Hasil analisis kestabilan terowongan STA. 12+684	138
Tabel 5. 17 Hasil analisis kestabilan sisi terowongan STA. 12+658,8, STA. 12+662,4, dan STA. 12+667	138
Tabel 5. 18 Hasil analisis kestabilan sisi terowongan STA. 12+672, STA. 12+674,3, dan STA. 12+676,5	139
Tabel 5. 19 Hasil analisis sisi terowongan STA. 12+678,9, STA. 12+681,3, dan STA. 12+682	139
Tabel 5. 20 Hasil analisis kestabilan sisi terowongan STA. 12+682,5 dan STA. 12+684	140
Tabel 5. 21 Hasil analisis kestabilan lantai terowongan STA. 12+658,8, STA. 12+662,4, dan STA. 12+667	140
Tabel 5. 22 Hasil analisis kestabilan lantai terowongan STA. 12+672, STA. 12+674,3, dan STA. 12+676,5	141
Tabel 5. 23 Hasil analisis kestabilan lantai terowongan STA. 12+678,9, STA. 12+681,3, dan STA. 12+682	141
Tabel 5. 24 Hasil analisis kestabilan lantai STA. 12+682,5 dan STA. 12+684	142
Tabel 5. 25 Nilai besaran roof displacement pada semua STA	146
Tabel 5. 26 Nilai besaran side displacement pada semua STA	146
Tabel 5. 27 Hasil analisis roof displacement pada variasi jarak antar terowongan	147
Tabel 5. 28 Hasil analisis roof displacement pada variasi nilai young's modulus	148
Tabel 5. 29 Hasil analisis roof displacement pada variasi nilai kohesi	148
Tabel 5. 30 Hasil analisis roof displacement pada variasi nilai sudut geser dalam (friction angle)	148
Tabel 5. 31 Hasil analisis roof displacement dan faktor keamanan pada saat sebelum dan setelah gempa	155
Tabel 5. 32 Nilai critical SSR dan maximum shear strain pada kondisi awal dan kondisi pseudostatik	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian Terowongan Cisumdawu.....	5
Gambar 2. 1 Kondisi geologi daerah penelitian dan sekitarnya menurut Peta Geologi Regional Lembar Bandung (Silitonga, 1973).....	13
Gambar 2.2 Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian Menurut Peta Geologi Teknik Daerah Bandung dan Sekitarnya (Djaja dan Hermawan, 1996).....	14
Gambar 3.1 Peralatan untuk Pengujian.....	22
Gambar 3.2 Peralatan untuk Pengujian Berat Jenis.....	23
Gambar 3.3 Peralatan untuk Pengujian Hidrometer.....	23
Gambar 3.4 Peralatan untuk Pengujian Atterberg Limit.....	24
Gambar 3. 5 Lingkaran Mohr dan Kondisi Tegangan pada Keadaan Runtuh (Hardiyatmo, 2002).....	27
Gambar 3.6 Peralatan untuk Pengujian Kuat Geser.....	28
Gambar 3.7 Diagram Alir Klasifikasi Tanah Berbutir Kasar Pada Kondisi Persentase Gravel Lebih Banyak Dari Persentase Sand (ASTM 2487, 2000).....	32
Gambar 3. 8 Diagram Alir Klasifikasi Tanah Berbutir Kasar Pada Kondisi Persentase Sand Lebih Banyak Dari Persentase Gravel (ASTM 2487, 2000).....	33
Gambar 3.9 Diagram Alir Klasifikasi Tanah Berbutir Halus Pada Kondisi Liquid Limit Lebih Besar Sama Dengan 50 (ASTM 2487, 2000).....	34
Gambar 3. 10 Diagram Alir Klasifikasi Tanah Berbutir Halus Pada Kondisi Liquid Limit Lebih Kecil Dari 50 (ASTM 2487, 2000).....	35
Gambar 3.11 Mekanisme tegangan yang terjadi saat penggalian terowongan (Aldiamar, 2014).....	38
Gambar 3.12 Perilaku deformasi penampang memanjang pada tahap penggalian terowongan (Awaji, 2013 dalam Aldiamar, 2014).....	38
Gambar 3.13 Kontur displacement pada penampang terowongan tapal kuda (Aldiamar, 2014).....	39
Gambar 3.14 Pemasangan Baut Batuan (JSCE, 2007).....	48
Gambar 3.15 Pemasangan Baut Batuan pada Arah Memanjang (JSCE, 2007).....	48
Gambar 3. 16 Peta bahaya gempa deterministik PGA di batuan dasar akibat sumber gempa sesar dangkal dengan 84 percentile (150% median) di Jawa Barat (PusGen 2017).....	74
Gambar 3. 17 Peta bahaya gempa deterministik PGA di batuan dasar akibat sumber gempa subduksi dengan 84 percentile (150% median) di Jawa Barat (PusGen 2017).....	74
Gambar 4.1 Face Map Buka Terowongan.....	86
Gambar 4. 2 Permodelan Terowongan Cisumdawu pada aplikasi RS2 (Rocscience, Inc.).....	91
Gambar 4. 3 Tahapan dalam analisis deformasi terowongan.....	92
Gambar 4. 4 Perbandingan empat variasi jarak pada pemodelan Terowongan Cisumdawu.....	98
Gambar 4. 5 Tahapan dalam analisis numerik pengaruh gempa terhadap kestabilan terowongan.....	103
Gambar 4.6 Diagram Alir Penelitian.....	110
Gambar 5. 1 Kenampakan morfologi perbukitan pada daerah penelitian.....	112
Gambar 5. 2 Kenampakan morfologi dataran pada daerah penelitian.....	112

Gambar 5. 3 Peta lintasan pengambilan sample batuan	114
Gambar 5. 4 Peta geologi daerah penelitian	115
Gambar 5. 5 Profil sayatan geologi daerah penelitian	116
Gambar 5. 6 Kenampakan singkapan satuan breksi tuf pada daerah penelitian.....	117
Gambar 5. 7 Kenampakan singkapan satuan breksi andesit pada daerah penelitian.....	117
Gambar 5. 8 Hasil pengambilan data seismik refraksi pada lokasi terowongan (Laboratorium Geofisika ITB, 2007)	119
Gambar 5. 9 Persebaran titik bor dan pengambilan data N-SPT sepanjang Terowongan Cisumdawu	122
Gambar 5. 10 Penampang lapisan batuan dan facemap pengambilan sample batuan pada daerah pembangunan Terowongan Cisumdawu	123
Gambar 5. 11 Peta klasifikasi tanah permukaan daerah penelitian	130
Gambar 5. 12 Analisa deformasi pada variasi jarak 1,5D.....	143
Gambar 5. 13 Analisa deformasi pada variasi jarak 2D.....	143
Gambar 5. 14 Analisa deformasi pada variasi jarak 2,5D.....	143
Gambar 5. 15 Analisa deformasi pada variasi jarak 3D.....	144
Gambar 5. 16 Analisa strength factor dan radius zona plastis pada jarak 1,5D	144
Gambar 5. 17 Analisa strength factor dan radius zona plastis pada jarak 2D	145
Gambar 5. 18 Analisa strength factor dan radius zona plastis pada jarak 2,5D	145
Gambar 5. 19 Analisa strength factor dan radius zona plastis pada jarak 3D	145
Gambar 5. 20 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi jarak 1,5D	149
Gambar 5. 21 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi jarak 2D	149
Gambar 5. 22 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi jarak 2,5D	150
Gambar 5. 23 Hasil analisis deformasi pada variasi jarak 3D.....	150
Gambar 5. 24 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi nilai young's modulus : 33.039,9 kPa .	150
Gambar 5. 25 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi nilai young's modulus : 53.039,9 kPa .	151
Gambar 5. 26 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi nilai young's modulus : 73.039,9 kPa .	151
Gambar 5. 27 Hasil analisis numerik deformasi pada variasi nilai young's modulus : 93.039,9 kPa .	151
Gambar 5. 28 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai kohesi : 20,207 kPa.....	152
Gambar 5. 29 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai kohesi 40,207 kPa	152
Gambar 5. 30 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai kohesi 60,207 kPa	152
Gambar 5. 31 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai kohesi 80,207 kPa.....	153
Gambar 5. 32 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai friction angle : 15,7°	153
Gambar 5. 33 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai friction angle : 25,7°	153
Gambar 5. 34 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai friction angle : 35,7°	154
Gambar 5. 35 Hasil analisis deformasi pada variasi nilai friction angle : 45,7°	154
Gambar 5. 36 Analisis nilai critical SSR dan maximum shear strain pada kondisi awal	157
Gambar 5. 37 Analisis nilai critical SSR dan maximum shear strain pada kondisi pseudostatik	158

Gambar 5. 38 Radius zona plastis pada kondisi sebelum gempa	159
Gambar 5. 39 Radius zona plastis pada kondisi setelah gempa	159
Gambar 6. 1 Grafik perbandingan nilai roof displacement pada 4 variasi jarak	164
Gambar 6. 2 Grafik perbandingan nilai side displacement pada empat variasi jarak	164
Gambar 6. 3 Grafik perbandingan nilai invert displacement pada empat variasi jarak	165
Gambar 6. 4 Grafik nilai roof displacement pada terowongan sisi "L"	165
Gambar 6. 5 Grafik nilai side displacement pada terowongan sisi "L"	166
Gambar 6. 6 Grafik perbandingan nilai deformasi pada variasi nilai parameter batuan dan jarak antar terowongan pada STA. 12+658,8.....	167
Gambar 6. 7 Grafik perbandingan nilai deformasi pada variasi nilai parameter batuan dan jarak antar terowongan pada STA. 12+676,5.....	167
Gambar 6. 8 Grafik perbandingan nilai deformasi pada variasi nilai parameter batuan dan jarak antar terowongan pada STA. 12+684	168
Gambar 6. 9 Grafik perbandingan nilai roof displacement sebelum dan setelah gempa	169
Gambar 6. 10 Grafik perbandingan nilai faktor keamanan sebelum dan sesudah gempa	169
Gambar 6. 11 Profil memanjang dari pemasangan steel pipe grouting	171
Gambar 6. 12 Profil melintang dari pemasangan steel pipe grouting	171
Gambar 6. 13 Profil penggunaan steel pipe double layer	172
Gambar 6. 14 Pengukuran roof displacement di Terowongan Cisumdawu	172