

DAFTAR ISI

Halaman Sampul.....	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan	iii
Sari.....	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Tujuan Penelitian	2
I.3. Batasan Penelitian.....	2
I.3.1 Lokasi penelitian.....	2
I.3.2 Batasan masalah.....	3
I.4. Peneliti Terdahulu.....	4
BAB II GEOLOGI REGIONAL	8
II.1. Morfologi Regional	8
II.2. Stratigrafi Regional.....	8
II.3. Struktur Geologi Regional	10
II.4. Geologi Panas Bumi Daerah Penelitian.....	11

BAB III LANDASAN TEORI	15
III.1. Alterasi Hidrotermal.....	15
III.1.1. Pengertian.....	15
III.1.2. Klasifikasi alterasi	16
III.1.2.1. Tipe alterasi.....	16
III.1.2.2. Intensitas alterasi	17
III.1.2.3. Indeks alterasi	18
III.2. Sifat Keteknikan Batuan.....	20
III.2.2. Sifat hidrolika.....	27
III.2.3. Sifat mekanika	28
III.2.4. Perbandingan sifat keteknikan pada batuan alterasi dan batuan non-alterasi	29
III.3. Analisis Kestabilan Lereng Batuan	32
III.3.1. Konsep kestabilan lereng.....	32
III.3.2. Faktor penyebab keruntuhan lereng	33
III.3.3. Metode analisis kestabilan batuan.....	36
III.3.3.1. <i>Rock Mass Quality – Rock Mass Rating (RMR)</i> ..	37
III.3.3.2. Analisis balik	43
III.3.3.3. Keseimbangan batas.....	43
III.4. Studi Kasus Kestabilan Lereng di Daerah Alterasi.....	47
III.5. Hipotesis	50
BAB IV METODE PENELITIAN	51
IV.1. Tahapan Penelitian	51
IV.2. Jadwal Penelitian	72

BAB V PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA	73
V.1. Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	73
V.1.1. Litologi.....	73
V.1.2. Struktur geologi	77
V.1.3. Manifestasi panas bumi	79
V.2. Tipe Alterasi Batuan Daerah Penelitian	83
V.3. Intensitas Alterasi Batuan Daerah Penelitian.....	89
V.3.1. Intensitas alterasi sangat rendah.....	90
V.3.2. Intensitas alterasi rendah.....	91
V.3.3. Intensitas alterasi sedang.....	92
V.3.3. Intensitas alterasi tinggi	93
V.3.4. Intensitas alterasi intensif.....	95
V.4. Indeks Alterasi Batuan Daerah Penelitian	99
V.5. <i>Rock Mass Rating</i> Daerah Penelitian	102
V.5.1. Kelas massa batuan sangat baik	102
V.5.2. Kelas massa batuan baik	103
V.5.3. Kelas massa batuan sedang.....	104
V.5.4. Kelas massa batuan jelek	105
V.5.5. Kelas massa batuan sangat jelek	106
V.6. Karakterisasi Keteknikan Batuan Daerah Penelitian	110
V.6.1. Karakteristik keteknikan batuan berdasarkan tipe alterasi.....	113
V.6.2. Karakteristik keteknikan batuan berdasarkan intensitas dan indeks alterasi	119
V.6.3. Karakteristik keteknikan batuan berdasarkan kelas RMR	128

V.7. Kondisi Kemiringan Lereng Daerah Penelitian	131
V.7.1. Satuan kemiringan lereng datar-hampir datar (0° - 2°)	133
V.7.2. Satuan kemiringan lereng landai (2° - 4°)	133
V.7.3. Satuan kemiringan lereng miring (4° - 8°).....	133
V.7.4. Satuan kemiringan lereng agak curam (8° - 16°)	134
V.7.5. Satuan kemiringan lereng curam (16° - 35°)	135
V.7.6. Satuan kemiringan lereng sangat curam (35° - 55°).....	135
V.7.7. Satuan kemiringan lereng terjal ($> 55^{\circ}$).....	136
V.8. Analisis Kestabilan Lereng	138
V.8.1. Analisis kestabilan lereng dengan data intensitas alterasi	138
V.8.2. Analisis kestabilan lereng dengan data RMR	141
V.8.3. Pengaruh sudut kemiringan lereng terhadap kestabilan lereng batuan.....	143
V.8.4. Analisis balik.....	144
V.8.5. Perbandingan hasil analisis kestabilan lereng daerah penelitian	147
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	153
VI.1. Kesimpulan	153
VI.2. Saran.....	154
DAFTAR PUSTAKA	xxii
LAMPIRAN	xxvii
Lampiran 1. Deskripsi Petrografi	
Lampiran 2. Analisis <i>X-Ray Diffraction</i>	
Lampiran 3. Analisis <i>X-Ray Fluorescence</i>	

Lampiran 4. Perhitungan *Rock Mass Rating*

Lampiran 5. Rangkuman Hasil Uji Sifat Keteknikan

Lampiran 6. Rangkuman Perhitungan Sifat Keteknikan

Lampiran 7. Hasil Uji Ukuran Butir

Lampiran 8. Hasil Uji Batas Konsistensi

Lampiran 9. Rangkuman

Lampiran 10. Analisis Kestabilan Lereng

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi penelitian di sekitar daerah wisata Candi Gedongsongo	3
Gambar 2.1. Peta geologi daerah Gunung Ungaran dan sekitarnya (Budiardjo dkk., 1997) dalam Atmaja, 2011), daerah penelitian berada pada litologi lava andesitik II	10
Gambar 2.2. Lokasi manifestasi permukaan di sekitar candi Gedongsongo (Nukman, 2009).....	12
Gambar 2.3. Lokasi penyebaran batuan di sekitar candi Gedongsongo (Indarto dkk., 2009).....	12
Gambar 2.4. Peta Suhu (°C) daerah Gedongsongo dan sekitarnya (Aribowo dkk., 2003)	13
Gambar 3.1. Standar ukuran butir (ASTM, 1963).....	20
Gambar 3.2. Konsistensi tanah berdasarkan <i>Atterberg limit</i> (Das, 2010).....	24
Gambar 3.3. Diagram alir klasifikasi tanah ukuran butir halus (50% atau lebih melewati sieve no. 200) (ASTM, 2006)	26
Gambar 3.4. Diagram alir klasifikasi tanah ukuran butir kasar (lebih dari 50% tertahan di sieve no. 200) (ASTM, 2006).....	26
Gambar 3.5. Kurva plastisitas (ASTM, 2006)	27
Gambar 3.6. Alat <i>Schmidt Rebound Hammer</i> (http://humboldtmg.com).....	28
Gambar 3.7. Sketsa lereng dan gaya yang bekerja berdasarkan Fellenius dalam Zakaria (2011)	37
Gambar 3.8. Sketsa karakteristik geometri dan diskontinuitas batuan (Priest, 1993).....	41
Gambar 3.9. Metode pengukuran <i>volumetric joint</i> (Palmstorm, 2005).....	42
Gambar 3.10. Gaya yang bekerja pada bidang gelincir lereng batuan (González de Vallejo dan Ferrer, 2011)	44

Gambar 3.11. Pembagian massa tanah yang menggelincir (Abramson dkk, 2002).....	45
Gambar 3.12. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (Abramson dkk, 2002)...	45
Gambar 3.13. Peta kerentanan longsor perkebunan teh Patuhawati (Wijaya, 2013)	48
Gambar 3.14. Verifikasi jumlah titik longsor pada masing-masing kelas parameter AHP (Wijaya, 2013)	49
Gambar 4.1. Peta stasiun titik amat geologi	55
Gambar 4.2. Peta stasiun titik amat RMR	58
Gambar 4.3. Peta stasiun titik amat tipe alterasi	60
Gambar 4.4. Peta stasiun titik amat intensitas alterasi	61
Gambar 4.5. Peta pengambilan sampel sayatan tipis	63
Gambar 4.6. Peta pengambilan sampel XRD	64
Gambar 4.7. Peta pengambilan sampel XRF	65
Gambar 4.8. Peta pengambilan sampel sifat keteknikan batuan.....	68
Gambar 4.9. Diagram alir penelitian.....	71
Gambar 5.1. Peta geologi	74
Gambar 5.2. Profil geologi A-B dan C-D.....	75
Gambar 5.3. Kenampakan singkapan fenokris breksi andesit berukuran bongkah pada STA 12.....	76
Gambar 5.4. Kenampakan singkapan breksi andesit yang memiliki kekar tarik di STA 1.....	76
Gambar 5.5. Kenampakan sampel petrografi intensitas alterasi sangat rendah (1,8%) kode GS 57 TS dari STA 57 di bawah mikroskop dengan kenampakan plagioklas yang telah mengalami sedikit perubahan menjadi mineral lempung.....	77

- Gambar 5.6.** Kekar tarik pada breksi andesit STA 1 yang terbagi menjadi tiga set kekar dengan arah *strike/dip* rata-rata N336°E/75°, N220°E/83°, dan N71°E/80° (kamera menghadap ke barat) 78
- Gambar 5.7.** Kenampakan *slickenside* pada sesar minor di STA 15 dengan *trend* N 28° E dan *plunge* sebesar 85° (kamera menghadap arah timur)..... 79
- Gambar 5.8.** Fumarol di daerah penelitian pada STA 5 dengan diameter kurang lebih 0,5 meter dan mengeluarkan uap air dan gas sulfur monoksida dan karbon dioksida..... 80
- Gambar 5.9.** *Active steaming ground* di daerah penelitian pada STA 6 yang ditandai dengan permukaan batuan hangat, di beberapa celah keluar uap air dan gas serupa fumarol, dan tersusun oleh batuan alterasi 81
- Gambar 5.10.** Salah satu mataair panas di daerah penelitian pada *steaming ground* STA 4 dengan debit kecil namun konstan..... 83
- Gambar 5.11.** Contoh hasil identifikasi mineral dari uji XRD pada kode sampel GS 4.1 XRD..... 85
- Gambar 5.12.** Kenampakan singkapan tipe alterasi argilik lanjut di lapangan pada STA 4 dari beberapa LP 86
- Gambar 5.13.** Peta tipe alterasi 87
- Gambar 5.14.** Profil A-B dan C-D tipe alterasi 88
- Gambar 5.15.** Kenampakan sampel petrografi intensitas alterasi rendah (35,6%) kode GS 1 TS dari STA 1 di bawah mikroskop dengan kenampakan gelas vulkanik yang telah mengalami perubahan menjadi mineral sekunder..... 92
- Gambar 5.16.** Kenampakan sampel petrografi intensitas alterasi sedang kode GS 26 TS dari STA 26 di bawah mikroskop dengan kenampakan gelas vulkanik yang sebagian telah berubah menjadi mineral sekunder dan plagioklas, hornblenda dan piroksen yang sebagian berubah menjadi mineral lempung 93
- Gambar 5.17.** Kenampakan singkapan intensitas alterasi tinggi pada *relic steaming ground* di STA 23 yang baik fenokris maupun massa dasarnya telah mengalami alterasi..... 94

Gambar 5.18. Kenampakan sampel petrografi intensitas alterasi tinggi (78,8%) kode GS 23.3 TS dari STA 23 LP 3 di bawah mikroskop dengan kenampakan plagioklas, hornblende, dan klinopiroksen yang telah mengalami perubahan menjadi mineral lempung	95
Gambar 5.19. Kenampakan singkapan dengan intensitas alterasi intensif di STA 5 yang baik fenokris maupun massa dasarnya telah mengalami alterasi total	96
Gambar 5.20. Kenampakan sampel petrografi intensitas alterasi intensif (90,2%) kode GS 5.11 TS dari STA 5 LP 11 di bawah mikroskop dengan kenampakan plagioklas yang telah terubah menjadi mineral lempung dan gelas vulkanik yang telah mengalami perubahan menjadi mineral sekunder	96
Gambar 5.21. Peta intensitas alterasi	97
Gambar 5.22. Profil A-B dan C-D intensitas alterasi.....	98
Gambar 5.23. Peta numerik intensitas alterasi dan CIA.....	101
Gambar 5.24. Peta kelas RMR.....	108
Gambar 5.25. Profil A-B dan C-D RMR.....	109
Gambar 5.26. Perbandingan nilai PI tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	115
Gambar 5.27. Perbandingan nilai kandungan air dan porositas tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	115
Gambar 5.28. Perbandingan nilai densitas, berat jenis, dan <i>specific gravity</i> tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	116
Gambar 5.29. Perbandingan nilai <i>fine grains</i> tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	117
Gambar 5.30. Perbandingan nilai sudut geser dalam tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	117
Gambar 5.31. Perbandingan nilai kohesi tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	118

Gambar 5.32. Perbandingan nilai permeabilitas tipe alterasi argilik lanjut dengan batuan teralterasi rendah.....	118
Gambar 5.33. Perbandingan nilai indeks plastisitas intensitas alterasi sedang hingga intensif	121
Gambar 5.34. Perbandingan nilai porositas dan kandungan air intensitas alterasi sedang hingga intensif	122
Gambar 5.35. Perbandingan nilai densitas dan berat jenis kering intensitas Alterasi sedang hingga intensif	123
Gambar 5.36. Perbandingan nilai densitas total, berat jenis total dan <i>specific gravity</i> intensitas alterasi sedang hingga intensif	123
Gambar 5.37. Perbandingan nilai derajat kejenuhan intensitas alterasi sedang hingga intensif	124
Gambar 5.38. Perbandingan nilai ukuran butir halus intensitas alterasi sedang hingga intensif	125
Gambar 5.39. Perbandingan nilai sudut geser dalam intensitas alterasi sedang hingga intensif	126
Gambar 5.40. Perbandingan nilai kohesi intensitas alterasi sedang hingga intensif	126
Gambar 5.41. Perbandingan nilai permeabilitas intensitas alterasi sedang hingga intensif	127
Gambar 5.42. Peta kemiringan lereng	132
Gambar 5.43. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng datar-hampir datar dan landau di sisi barat daerah penelitian.....	133
Gambar 5.44. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng miring di sisi timur daerah penelitian	134
Gambar 5.45. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng agak curam di sisi timur daerah penelitian.....	134
Gambar 5.46. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng curam pada <i>steaming ground</i> di sisi utara daerah penelitian	135

Gambar 5.47. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng sangat curam pada lokasi ditemukannya fumarol di sisi utara daerah penelitian	136
Gambar 5.48. Keruntuhan lereng pada <i>steaming ground</i> STA 4 di daerah dengan tingkat kemiringan lereng sangat curam	136
Gambar 5.49. Daerah dengan tingkat kemiringan lereng terjal di sisi selatan daerah penelitian	137
Gambar 5.50. Peta sayatan analisis kestabilan lereng	139
Gambar 5.51. Sayatan 7 yang menunjukkan lereng dengan manifestasi panas bumi fumarol menghasilkan nilai F_k sebesar 2,026	141
Gambar 5.52. Profil keruntuhan lereng pada STA 4 sayatan 11	145
Gambar 5.53. Peta zonasi faktor keamanan lereng	150

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Stratigrafi daerah Gunung Ungaran (Van Bemmelen, 1970 dengan modifikasi dalam Atmaja, 2011)	9
Tabel 3.1. Klasifikasi jenis alterasi aluminosilikat pada batuan vulkanik, sedimen, dan metamorf (Meyer dan Hemley, 1967)	16
Tabel 3.2. Klasifikasi intensitas alterasi berdasarkan persentase perubahan mineral sekunder (Browne, 1978)	17
Tabel 3.3. Kategori plastisitas berdasarkan nilai PI (Das, 2010)	25
Tabel 3.4. Klasifikasi keteknikan batuan berdasarkan kekuatan batuan (ISRM, 1978)	29
Tabel 3.5. Pengaruh intensitas alterasi terhadap porositas total dan efektif batuan vulkanik lava di solfatara Lapangan Phlegraean, Italia (Pola dkk., 2012)	31
Tabel 3.6. Pengaruh intensitas alterasi terhadap densitas dan berat jenis batuan vulkanik lava di solfatara Lapangan Phlegraean, Italia (Pola dkk., 2012)	32
Tabel 3.7. Pengaruh intensitas alterasi terhadap nilai CIA dan sifat mekanika batuan vulkanik lava di solfatara Lapangan Phlegraean, Italia (Pola dkk., 2012)	32
Tabel 3.8. Klasifikasi kemiringan lereng Van Zuidam (1985)	34
Tabel 3.9. Faktor keamanan dan intensitas longsornya (Bowles, 1989)	37
Tabel 3.10. Hubungan RQD dengan kualitas batuan (Deere, 1964)	39
Tabel 3.11. Perhitungan RQD untuk batuan terlapukkan (Deere dan Deere, 1988)	39
Tabel 3.12. Klasifikasi kekuatan batuan utuh berdasarkan nilai Is dan UCS (Bienawski, 1989; ISO 14689-1, 2003)	40
Tabel 3.13. Rating RQD (Bienawski, 1989)	41
Tabel 3.14. Klasifikasi spasi diskontinuitas batuan (Bienawski, 1989; ISO 14689-1, 2003)	41

Tabel 3.15. Klasifikasi kondisi diskontinuitas batuan (Bienawski, 1989)	42
Tabel 3.16. Kondisi airtanah (Bienawski, 1989)	42
Tabel 3.17. Kelas massa batuan, kohesi, dan sudut geser dalam berdasarkan nilai RMR (Bienawski, 1989)	43
Tabel 3.18. Kondisi keseimbangan statik yang dipenuhi metode kesetimbangan batas (Abramson dkk., 2002)	46
Tabel 4.1. Jadwal penelitian	72
Tabel 5.1. Stasiun titik amat ditemukannya <i>steaming ground</i>	81
Tabel 5.2. Hasil identifikasi mineral dari pengujian sampel XRD	83
Tabel 5.3. Hasil pengamatan dan <i>point counting</i> serta analisis XRD	89
Tabel 5.4. Rangkuman hasil pengamatan, <i>point counting</i> dan XRD berdasarkan intensitas alterasi	90
Tabel 5.5. Nilai CIA berdasarkan perhitungan konsentrasi senyawa dari pengujian XRF dan intensitas alterasi berdasarkan pengamatan petrografi	99
Tabel 5.6. Deskripsi parameter dan rating pada STA kelas massa batuan sangat baik	103
Tabel 5.7. Deskripsi parameter dan rating kelas massa batuan baik STA 1 ..	104
Tabel 5.8. Deskripsi parameter dan rating pada STA kelas massa batuan sedang	105
Tabel 5.9. Deskripsi parameter dan rating pada STA kelas massa batuan jelek	106
Tabel 5.10. Deskripsi parameter dan rating pada STA kelas massa batuan sangat jelek	107
Tabel 5.11. Rangkuman data hasil pengujian sifat indeks pada 20 sampel sifat keteknikan	111
Tabel 5.12. Rangkuman data hasil pengujian batas konsistensi dari 17 sampel	112

Tabel 5.13. Rangkuman data hasil pengujian sifat hidrolika dan sifat mekanika dari 15 sampel	112
Tabel 5.14. Karakteristik sifat keteknikan batuan berdasarkan tipe alterasi ..	114
Tabel 5.15. Karakteristik sifat keteknikan batuan berdasarkan intensitas alterasi	120
Tabel 5.16. Karakteristik sifat keteknikan batuan berdasarkan RMR	130
Tabel 5.17. Data yang digunakan dalam input software Slide 6.0 berdasarkan hasil intensitas alterasi	138
Tabel 5.18. Kondisi faktor keamanan pada berbagai intensitas alterasi dan kemiringan lereng.....	140
Tabel 5.20. Data yang digunakan dalam <i>input software Slide 6.0</i> berdasarkan kelas RMR.....	141
Tabel 5.21. Kondisi faktor keamanan pada berbagai intensitas alterasi, RMR, dan kemiringan lereng	142
Tabel 5.22. Hasil nilai Fk dengan <i>range</i> berdasarkan data intensitas dan kemiringan lereng.....	143
Tabel 5.23. Hasil analisis kestabilan lereng masing-masing kelas RMR dan kemiringan lereng	144
Tabel 5.24. Perubahan nilai Fk dengan variasi nilai kohesi	146
Tabel 5.25. Perubahan nilai Fk dengan variasi nilai sudut geser dalam	146
Tabel 5.26. Hasil nilai Fk dengan nilai c dari analisis balik dibandingkan Fk intensitas alterasi	147