UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.D
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL DEPAN i
HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN SETELAH HALAMAN JUDUL iii
HALAMAN PERSETUJUAN iv
HALAMAN PERNYATAAN v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR LAMPIRAN xxiii
INTISARI xxiv
ABSTRACT xxv
I. PENDAHULUAN 1
I.1. Latar Belakang 1
I.2. Rumusan Masalah 6
I.3. Batasan Masalah 6
I.4. Keaslian Penelitian 8
I.5. Ruang Lingkup Penelitian 11
I.6. Pertanyaan Penelitian 14
I.7. Tujuan Penelitian 15
I.8. Manfaaat Penelitian 15
II. TINJAUAN PUSTAKA 17
II.1. Tinjauan Pustaka 17
II.1.1. Geologi Regional Daerah Penelitian 17
II.1.2. Kondisi Fisik Daerah Penelitian 19
II.1.3. Mekanisme Gerakan Tanah di Daerah Penelitian Hasil Studi Geologi dan Geoteknik 20

POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE
KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II.1.4. Potensi GPS untuk Analisis Gerakan Tanah 31
II.1.5. Teknik Kalman Filtering sebagai salah satu Solusi Pemodelan Deformasi Dinamis 33
II.2. Landasan Teori 36
II.2.1. Gerakan Tanah 36
II.2.2. Rayapan Tanah 37
II.2.3. Infiltrasi Air Hujan 39
II.2.4. Tanah Ekspansif 43
II.2.4.1. Penyebab lempung mengembang menurut Nelson dan Miller (1992).... 45
II.2.4.2. Penyebab lempung mengembang menurut Sorochan (1991) 46
II.2.4.3. Penyebab lempung mengembang menurut Coduto (1994) 48
II.2.4.4. Kecepatan pengembangan 49
II.2.4.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengembangan tanah 50
II.2.5. *Global Positioning System (GPS)* 50
II.2.5.1. *Space segment* 51
II.2.5.2. *Control segment* 53
II.2.5.3. *User segment* 54
II.2.6. Sinyal Satelit GPS 54
II.2.7. Penentuan Posisi dengan GPS 57
II.2.8. Penentuan Posisi GPS secara Relatif dengan Data Fase 59
II.2.9. Kesalahan dan Bias Pengamatan GPS 65
II.2.9.1. Kesalahan efemeris 66
II.2.9.2. Bias ionosfer 66
II.2.9.3. Bias troposfer 67
II.2.9.4. *Multipath* 68
II.2.9.5. Bias ambiguitas fase 68
II.2.9.6. *Cycle slips* 69
II.2.9.7. Anti *spoofing* 69

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II.2.10. Survei GPS 70
II.2.11. Pengolahan Data Survei GPS 71
II.2.11.1. Pengolahan *baseline* 71
II.2.11.2. Perataan jaring GPS 73
II.2.12. Kontrol Kualitas Hasil Pengolahan GPS 75
II.2.12.1. Hasil uji statistik 75
II.2.12.2. Elips kesalahan 76
II.2.12.3. Kehandalan jaring GPS 78
II.2.13. Model Analisis Deformasi Statik untuk Analisis Rayapan Tanah 79
II.2.14. Model Analisis Deformasi Dinamis dengan Memasukkan Pengaruh Besarnya Infiltrasi Air Hujan sebagai Penyebab Gerakan untuk Analisis Rayapan Tanah 82
II.2.15. Teknik *Kalman Filtering* untuk Penyelesaian Pemodelan Dinamis Rayapan Tanah 85
II.2.16. Model Interpolasi Linear 3-D 87
II.3. Hipotesis 88
III. METODE PENELITIAN 90
III.1. Bahan Penelitian 90
III.2. Alat Penelitian 90
III.3. Pelaksanaan Penelitian 91
III.3.1. Studi Literatur 91
III.3.2. Pembangunan Jaring Kontrol Pemantauan dengan GPS 92
III.3.2.1. Desain jaring kontrol pemantauan 93
III.3.2.2. *Reconnaissance* 94
III.3.2.3. Pembuatan dan pemasangan tugu 95
III.3.3. Survei GPS secara Periodik 95
III.3.3.1. Survei GPS periode-1 96
III.3.3.2. Survei GPS periode-2 97
III.3.3.3. Survei GPS periode-3 101

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.3.4. Penentuan Koordinat Titik Kontrol Pemantauan setiap Periode Survei.. 104
III.3.5. Pengukuran dan Pembuatan DEM Daerah Penelitian dengan GPS RTK 106
III.3.6. Tahapan Analisis Kecepatan dan Percepatan serta Besar Pengaruh Infiltrasi Air Hujan terhadap Gerakan pada Titik-titik Kontrol Pemantauan GPS …….. 112
III.3.7. Tahapan Analisis Kecepatan dan Percepatan serta Besar Pengaruh Infiltrasi Air Hujan terhadap Gerakan pada Titik-titik DEM 113
III.3.8. Pembuatan Program Analisis, Prediksi dan Visualisasi Gerakan Rayapan Tanah ……..... 113
III.3.8.1. Analisis vektor status titik-titik kontrol pemantauan periode-1…….... 114
III.3.8.2. Prediksi vektor status dengan model dinamis dengan memasukkan pengaruh infiltrasi air hujan sebagai penyebab gerakan …..…..... 119
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 129
IV.1. Jaring Kontrol Pemantauan 129
IV.1.1. Titik Ikat GPS01 ……..... 129
IV.1.2. Lokasi dan Distribusi Titik-titik Jaring Kontrol Pemantauan 131
IV.1.3. Konstruksi Pilar Jaring Kontrol Pemantauan 136
IV.2. Koordinat, Ketelitian dan Keandalan Jaring Kontrol Pemantauan 138
IV.2.1. Koordinat, Ketelitian dan Keandalan Jaring Kontrol Pemantauan Periode-1 ……..... 138
IV.2.1.1. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring GPS periode-1 ….. 138
IV.2.1.2. Koordinat dan ketelitian titik-titik kontrol pemantauan periode-1..... 141
IV.2.1.3. Keandalan jaring kontrol pemantauan periode-1 ……..... 146
IV.2.2. Koordinat, Ketelitian dan Keandalan Jaring Kontrol Pemantauan Periode-2 ……..... 148
IV.2.2.1. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring GPS periode-2 148
IV.2.2.2. Koordinat dan ketelitian titik-titik kontrol pemantauan periode-2 151
IV.2.2.3. Kehandalan jaring kontrol pemantauan periode-2 157
IV.2.3. Koordinat, Ketelitian dan Kehandalan Jaring Kontrol Pemantauan

POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Periode-3 159
IV.2.3.1. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring kontrol pemantauan periode-3 159
IV.2.3.2. Koordinat dan ketelitian titik-titik kontrol pemantauan periode-3 160
IV.2.3.3. Kehandalan jaring kontrol pemantauan periode-3 164
IV.3. DEM dan Peta Situasi Daerah Penelitian 165
IV.3.1. Kapabilitas RTK GPS untuk Akuisisi Data DEM dan Peta Situasi 165
IV.3.2. DEM Daerah Penelitian 167
IV.3.3. Peta Situasi Daerah Penelitian dan Ketelitiannya 168
IV.3.3.1. Ketelitian planimetris peta situasi daerah penelitian 168
IV.3.3.2. Ketelitian vertikal peta situasi 170
IV.4. Simulasi Nilai Infiltrasi Air Hujan pada Titik-titik Kontrol 173
IV.5. Gerakan Titik-titik Kontrol Pemantauan Hasil Pengukuran GPS 177
IV.6. Verifikasi Gerakan Hasil Pengukuran GPS terhadap Hasil Studi Geologi.. 180
IV.7. Gerakan Titik-titik Kontrol Pemantauan Hasil Analisisi Metode Dinamis... 186
IV.7.1. Vektor Status Titik-titik Kontrol Pemantauan Periode-1 186
IV.7.2. Vektor Status Titik-titik Kontrol Pemantauan Periode -2 190
IV.7.3. Vektor Status Titik-titik Kontrol Pemantauan Periode -3 194
IV.7.4. Prediksi Gerakan Titik-titik Kontrol Pemantauan 198
IV.8. Gerakan Titik-titik DEM 217
IV.9. Besar dan Pola Regangan di Daerah Studi 220
IV.10. Korelasi Gerakan Hasil Analisis dan Prediksi dengan Gerakan Studi Geologi dan Geoteknik 226
IV.10.1. Korelasi Gerakan Hasil Analisis dengan Gerakan Bawah Permukaan 226
IV.10.2. Korelasi Gerakan dengan Fenomena Pengembangan Tanah 230
V. KESIMPULAN DAN SARAN 236
V.1. Kesimpulan 236
V.2. Saran 238
DAFTAR PUSTAKA 240

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Karakteristik deformasi daerah penelitian (Dwijaka, 2006) …… 29
Tabel II.2. Karakteristik model deformasi geodetik (Welsch dan Heunecke, 2001) 34
Tabel II.3. Efek dari pengurangan data (Abidin, 2000) …… 64
Tabel III.1. Sesi-sesi pengamatan GPS periode-1 96
Tabel III.2. Sesi-sesi pengamatan GPS periode-2 99
Tabel III.3. Sesi-sesi pengamatan GPS periode-3 102
Tabel III.4. Simbol notasi analisis deformasi dinamis dengan teknik *Kalman Filtering* ……... 124
Tabel IV.1. Koordinat titik ikat GPS01 ……..... 131
Tabel IV.2. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring GPS periode-1 138
Tabel IV.3. Koordinat dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-1 dalam sistem koordinat kartesian 141
Tabel IV.4. Dimensi dan orientasi elips kesalahan hasil survei GPS periode-1.... 143
Tabel IV.5. Koordinat dan ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-1 dalam sistem koordinat UTM 144
Tabel IV.6. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring control pemantauan periode-2 148
Tabel IV.7. Koordinat dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-2 dalam sistem koordinat kartesian 152
Tabel IV.8. Dimensi dan orientasi elips kesalahan titik-titk jaring kontrol pemantauan periode-2 154
Tabel IV.9. Koordinat dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-2 dalam sistem koordinat UTM 156
Tabel IV.10. Komponen dan ketelitian vektor *baseline* jaring kontrol pemantauan periode-3 159
Tabel IV.11. Koordinat dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-3 dalam sistem koordinat kartesian 161

POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE
KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel IV.12. Dimensi dan orientasi elips kesalahan titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-3 162
Tabel IV.13. Koordinat dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan periode-3 dalam sistem koordinat UTM 163
Tabel IV.14. Nilai kapasitas infiltrasi simulasi (mm/bulan) ……..... 174
Tabel IV.15. Nilai infiltrasi kumulatif simulasi mm/bulan 174
Tabel IV.16. Kelerengan titik-titik pantau 177
Tabel IV.17. Besar vektor pergeseran dan ketelitian titik-titik jaring kontrol pemantauan hasil pengukuran periode-1 dan periode-2 …… 178
Tabel IV.18. Perbandingan besar gerakan vertikal dan horisontal titik-titik kontrol pemantauan …… 182
Tabel IV.19. Vektor status titik-titik kontrol pemantauan periode-1……. 189
Tabel IV.20. Vektor status titik-titik kontrol pemantauan periode-2…….. 193
Tabel IV.21. Vektor status titik-titik kontrol pemantauan periode-3 197
Tabel IV.22. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan pada awal musim hujan 198
Tabel IV.23. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari awal musim hujan ke minggu ke-1 setelah awal musim hujan……. 199
Tabel IV.24. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-1 ke minggu-2 setelah awal musim hujan 200
Tabel IV.25. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-2 ke minggu-3 setelah awal musim hujan 201
Tabel IV.26. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-3 ke minggu-4 setelah awal musim hujan 202
Tabel IV.27. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-4 ke minggu-5 setelah awal musim hujan 203
Tabel IV.28. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-5 ke minggu-6 setelah awal musim hujan 204
Tabel IV.29. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-6 ke minggu-7 setelah awal musim hujan ……..... 205

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel IV.30. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-7 ke minggu-8 setelah awal musim hujan 206
Tabel IV.31. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-8 ke minggu-9 setelah awal musim hujan 207
Tabel IV.32. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-9 ke minggu-10 setelah awal musim hujan..... 208
Tabel IV.33. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-10 ke minggu-11 setelah awal musim hujan..... 209
Tabel IV.34. Prediksi koordinat titik kontrol pemantauan dan pergeserannya dari minggu ke-11 ke minggu-12 setelah awal musim hujan..... 210
Tabel IV.35. Vektor status titik-titik DEM 218
Tabel IV.36. Besar regangan hasil analisis dari survei GPS periode-1 dan periode-2 …..... 220
Tabel IV.37. Prediksi besarnya regangan dari awal musim hujan sampai Puncak musim hujan 223
Tabel IV.38. Besarnya prediksi gerakan titik-titik kontrol pemantauan selama 12 minggu …..... 233

POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE
KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.D
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. Lokasi penelitian (sumber : modifikasi dari Ma'ruf, dkk (2014), Karnawati (2005b) dan Google Map) 4
Gambar I.2. Ruang lingkup topik penelitian dalam investigasi dan prediksi gerakan massa tanah (The Japan Landslide Society, 1996) 12
Gambar I.3. Ruang lingkup penelitian 13
Gambar II.1. Peta lokasi pengeboran dan peralatan pemantau gerakan tanah Di daerah penelitian (Long, 2005) 24
Gambar II.2. Profil stratigrafi lereng daerah penelitian (Karnawati, dkk, 2005) 27
Gambar II.3. Kedalaman gerakan tanah hasil pemantauan dan prediksi dengan perangkat lunak Geoslope (Karnawati, dkk, 2005; Tu, 2006) 26
Gambar II.4. Profil lereng sepanjang pengeboran (Kyi, 2007) 26
Gambar II.5. Pergeseran total hasil analisis dengan model PCV 2-D (Kyi, 2007) 27
Gambar II.6. Pergeseran horisontal hasil analisis dengan model PCV 2-D (Kyi, 2007) 27
Gambar II.7. Shear strain hasil analisis dengan model PCV 2-D (Kyi, 2007) ... 28
Gambar II.8. Deformasi daerah penelitian untuk kadar air 20% (Dwijaka, 2006) 30
Gambar II.9. Deformasi daerah penelitian untuk kadar air 30% (Dwijaka, 2006) 30
Gambar II.10. Deformasi daerah penelitian untuk kadar air 54% (Dwijaka, 2006) 31
Gambar II.11. Konsep studi gerakan tanah dengan GPS (Abidin, dkk., 2006) .. 32
Gambar II.12. Hirarki model dari analisis deformasi geodetik (Welsch and Heunecke, 2001) 34
Gambar II.13. Proses terjadinya gerakan tanah dan komponen penyebabnya (Karnawati, 2005a) 36
Gambar II.14. Kapasitas infiltrasi sebagai fungsi waktu (Horton, 1940 dalam Triatmodjo, 2008) 41
Gambar II.15. Infiltrasi kumulatif (Horton, 1940 dalam Triatmodjo, 2008) 42
Gambar II.16. Sistem GPS (Satellite Navigation and Positioning Group, 1999) 51

POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE
KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.D
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar II.17. Konstelasi satelit GPS (Satellite Navigation and Positioning Group, 1999) 52
Gambar II.18. Sebaran stasiun kontrol utama GPS 53
Gambar II.19. Struktur sinyal satelit GPS (Satellite Navigation and Positioning Group, 1999) 55
Gambar II.20. Struktur *Navigation Message* (*Satellite Navigation and Positioning Group*, 1999) 56
Gambar II.21. Kesalahan dan bias pengamatan GPS (Satellite Navigation and Positioning Group, 1999) 65
Gambar II.22. Jaring GPS (Ma'ruf modifikasi dari Abidin, 1995) 70
Gambar II.23. Prosedur urutan pengolahan baseline (Ma'ruf modifikasi dari Abidin, 1995) 72
Gambar II.24. Konsep perataan jaring GPS (Ma'ruf modifikasi dari Abidin, 1995) 74
Gambar II.25. Elips Kesalahan (Mikhail and Gracie, 1981) 77
Gambar III.1. Tahapan-tahapan pembangunan jaring kontrol pemantauan 93
Gambar III.2. Geometri jaring pengamatan survei GPS periode-1 98
Gambar III.3. Geometri jaring pengamatan survei GPS periode-2 100
Gambar III.4. Geometri jaring pengamatan survei GPS periode-3 103
Gambar III.5. Tahapan-tahapan penentuan koordinat titik kontrol pemantauan... 105
Gambar III.6. Diagram alir pengukuran dan pembuatan DEM dan peta situasi ... 107
Gambar III.7. Dokumentasi *setting base-station* dan *rover* 109
Gambar III.8. Dokumentasi pengukuran titik-titik DEM dengan RTK GPS..... 110
Gambar III.9. Data pengukuran RTK 111
Gambar III.10. Dokumentasi uji DEM dan peta situasi 112
Gambar III.11. Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian 126
Gambar III.12. Diagram alir pelaksanaan penelitian 128
Gambar IV.1. Lokasi titik ikat dan daerah penelitian (modifikasi dari Ma'ruf, (2015) dan Google Map) 129

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar IV.2. Distribusi titik-titik kontrol pemantauan 132
Gambar IV.3. Foto lokasi titik-titik kontrol pemantauan 133
Gambar IV.4. Foto lokasi titik-titik kontrol pemantauan 134
Gambar IV.5. Foto lokasi titik-titik kontrol pemantauan 135
Gambar IV.6. Konstruksi pilar dan kenampakan fisik titik ikat 137
Gambar IV.7. Konstruksi pilar dan kenampakan fisik titik ikat (titik GPS04)..... 137
Gambar IV.8. Ketelitian *baseline* jaring GPS periode-1 ……..... 140
Gambar IV.9. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-1 dalam sistem koordinat kartesian ……..... 142
Gambar IV.10. Dimensi, bentuk dan orientasi elips kesalahan jaring GPS periode-1 …….. 144
Gambar IV.11. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-1 dalam sistem koordinat UTM ...……..... 146
Gambar IV.12. Keandalan dalam jaring kontrol pemantauan periode-1 …..... 146
Gambar IV.13. Keandalan luar jaring kontrol pemantauan periode-1 ……..... 147
Gambar IV.14. Ketelitian *baseline* jaring GPS periode-2 ……..... 151
Gambar IV.15. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-2 dalam sistem koordinat kartesian ……..... 153
Gambar IV.16. Dimensi, bentuk dan orientasi elips kesalahan jaring GPS periode-2 ……..... 155
Gambar IV.17. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan hasil survey GPS periode-2 dalam sistem koordinat UTM …..……..... 157
Gambar IV.18. Keandalan dalam jaring kontrol pemantauan periode-2 …..... 157
Gambar IV.19. Keandalan luar jaring kontrol pemantauan periode-2 ……..... 158
Gambar IV.20. Ketelitian *baseline* jaring kontrol pemantauan periode-3 160
Gambar IV.21. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-3 dalam sistem koordinat kartesian ……..... 162
Gambar IV.22. Ketelitian titik-titik kontrol jaring pemantauan periode-3 dalam sistem koordinat UTM …...……..... 163

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar IV.23. Keandalan dalam jaring kontrol pemantauan periode-3 164
Gambar IV.24. Keandalan luar jaring kontrol pemantauan periode-3 164
Gambar IV.25. Peta distribusi titik-titik detil DEM lokasi penelitian 166
Gambar IV.26. DEM lokasi penelitian dan sebaran titik uji ketelitian 167
Gambar IV.27. Grafik perbandingan profil tinggi dari *Total Station* dengan DEM 168
Gambar IV.28. Peta situasi daerah penelitian 169
Gambar IV.29. Hasil uji ketinggian pada profil GPS07-BMKG16 171
Gambar IV.30. Hasil uji ketinggian pada profil GPS07-GPS04 171
Gambar IV.31. Hasil uji ketinggian pada profil GPS04-SG2 172
Gambar IV.32. Hasil uji ketinggian pada profil SG2-GPS08 172
Gambar IV.33. Hasil uji ketinggian pada propil GPS08-GPS04 173
Gambar IV.34. Grafik kapasitas infiltrasi titik kontrol pemantauan selama masa prediksi 175
Gambar IV.35. Grafik infiltrasi kumulatif titik kontrol pemantauan selama masa prediksi 175
Gambar IV.36. Besar dan arah pergeseran horisontal dan vertikal titik jaring kontrol pemantauan periode-1 ke periode-2 179
Gambar IV.37. Model mekanisme gerakan massa tanah di lokasi penelitian hasil studi geologi (Perdana, 2006) 181
Gambar IV.38. Peta geologi dan gerakan titik-titik kontrol pemantauan hasil pengukuran GPS periode-1 ke periode-2 183
Gambar IV.39. Peta situasi dan gerakan titik-titik kontrol pemantauan hasil pengukuran GPS periode-1 ke periode-2 di daerah kaki lereng 184
Gambar IV.40. Prediksi gerakan titik-titik kontrol pemantauan secara 3D dalam kurun waktu 3 bulan setelah awal musim hujan (gerakan diperbesar 1000 kali)..... 211
Gambar IV.41. Peta prediksi gerakan titik-titik kontrol pemantauan dari awal sampai puncak musim hujan..... 212

UNIVERSITAS GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.D
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar IV.42. Prediksi gerakan horisontal titik-titik kontrol pemantauan dalam kurun waktu 3 bulan setelah awal musim hujan (gerakan diperbesar 1000 kali) ..…….. 213
Gambar IV.43. Lokasi titik GPS23 yang mengalami gerakan paling besar …. 214
Gambar IV.44. Obyek jembatan dan saluran talang air yang terdeformasi Vertikal ……... 215
Gambar IV.45. Prediksi gerakan vertikal (bidang XZ) titik-titik kontrol pemantauan dalam kurun waktu 3 bulan setelah awal musim hujan (gerakan diperbesar 1000 kali) .. …… 216
Gambar IV.46. Prediksi gerakan vertikal (bidang YZ) titik-titik kontrol pemantauan dalam kurun waktu 3 bulan setelah awal musim hujan (gerakan diperbesar 1000 kali) ……. 216
Gambar IV.47. Prediksi gerakan rayapan tanah dalam kurun waktu 3 bulan setelah awal musim hujan …….. 219
Gambar IV.48. Besar dan pola regangan hasil analisis pergeseran titik-titik kontrol pemantauan dari periode-1 ke periode-2 222
Gambar IV.49. Prediksi besar dan pola regangan dari awal musim hujan sampai puncak musim hujan …….... 225
Gambar IV.50. Besar dan pola regangan hasil analisis periode-1 ke periode-2 pada profil SG1 s.d. SG5 ……... 227
Gambar IV.51. Prediksi besar dan pola regangan dari awal musim hujan sampai puncak musim hujan pada profil SG1 s.d. SG5 ……. 228
Gambar IV.52. Pergeseran total hasil analisis dengan model PCV 2-D (Kyi, 2007) …… 229
Gambar IV.53. Kedalaman gerakan tanah hasil pemantauan dan prediksi dengan perangkat lunak Geoslope (Karnawati, dkk, 2005; Tu, 2006) …… 230

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
POLA GEOMETRI RAYAPAN TANAH DI SEGMEN KM 15,9 SALURAN IRIGASI KALIBAWANG KULON PROGO DENGAN METODE KALMAN FILTERING
BILAL MARUF, ST.,MT., Prof. Dr. Ir. Subagyo Pramumidjoyo, DEA ; Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.D
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar IV.54. Kondisi tanah pada survei GPS periode-1 231
Gambar IV.55. Kondisi tanah BM-BM pemantauan pada saat survei GPS periode-1 231
Gambar IV.56. Kondisi tanah pada saat survei GPS periode-2 232
Gambar IV.57. Kondisi tanah BM-BM pemantauan pada saat survei GPS periode-2 233