



TUGAS AKHIR - RG141536

ANALISA TEMPORAL REGANGAN PADA GUNUNG MERAPI BERDASARKAN DATA PENGAMATAN GPS PERIODE JANUARI-JULI 2015

JOKO PURNOMO
NRP 3512 100 037

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil., P.hD

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan.



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

TEMPORAL STRAIN ANALYSIS BASED ON GPS OBSERVATION DATA IN MERAPI VOLCANO PERIOD JANUARY-JULY 2015

JOKO PURNOMO
NRP 3512 100 037

Supervisor
Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil., P.hD

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISA TEMPORAL REGANGAN PADA GUNUNG MERAPI BERDASARKAN DATA PENGAMATAN GPS PERIODE JANUARI-JULI 2015

Nama Mahasiswa : Joko Purnomo
NRP : 3512100037
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Ira Mutiara A, ST., M.Phil., P.hD

Abstrak

Gunung Merapi merupakan gunung api tipe A yaitu gunung api yang memiliki kegiatan magma dan erupsi tercatat sejak tahun 1600. Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api teraktif di dunia. Hampir setiap periode Gunung Merapi mengalami erupsi. Periode ulang aktivitas erupsi berkisar antara 2 – 7 tahun. Untuk mengetahui kondisi gunung Merapi dilakukan beberapa metode pemantauan. Salah satu metode pemantauan Gunung Merapi yaitu dengan metode deformasi. Pemantauan deformasi yaitu pemantauan terhadap perubahan koordinat beberapa titik yang mewakili sebuah gunung api dari waktu ke waktu. Perhitungan deformasi pada penelitian ini dengan menggunakan data GPS CORS pengamatan Gunung Merapi pada stasiun KLAT, PLAW, DELS dan GRWH dengan titik ikat BPTK. Dari hasil pengolahan data GPS, didapat pergeseran titik dari Januari hingga Juli 2015 memiliki nilai yang berbeda. Pada bulan Januari dan Februari pola dan arah pergeseran semua titik sama namun besar pergeseran berbeda. Begitu pula pada bulan Mei dan Juni pola dan pergeseran sama namun besar pergeseran berbeda. Untuk bulan lainnya pergeseran memiliki arah yang berbeda dengan besar yang berbeda juga. Dari hasil pergeseran yang terjadi kemudian dilakukan analisis regangan dimana selama Januari hingga Juli 2015 tubuh gunung Merapi mengalami ekstensi (inflasi) antara 1.36 hingga 6.36 μ -strain.

Regangan yang terjadi pada tubuh Runung Merapi memiliki korelasi 0.8809 terhadap seismistas dengan korelasi yang positif.

Kata kunci—Gunung Merapi, GPS, Deformasi, Pergeseran, Regangan, Seismistas.

TEMPORAL STRAIN ANALYSIS BASED ON GPS OBSERVATION DATA IN MOUNT MERAPI PERIOD JANUARY-JULY 2015

Student Name : Joko Purnomo
NRP : 3512100037
Department : Geomatics Engineering FTSP – ITS
Student Lecturer : Ira Mutiara A, ST, M.Phil., P.hD

Abstract

Merapi volcano is a type A volcano. Type A volcanoes are volcanoes that have magma activity and eruptions recorded since 1600. Merapi volcano is one of the most active volcanoes in the world. Almost every period, eruption occurred in Merapi volcano. Eruptive activity repeats from 2-7 years. To determine the condition of Merapi volcano some monitoring methods are required. One method for monitoring Merapi volcano is the deformation method. Deformation method observes changes in the coordinates of several points that represent a volcano from time to time. Calculation of deformation in this study was computed by using data GPS CORS observation of Merapi volcano on stations KLAT, PLAW, DELS and GRWH with BPTK as base point. Results from processing of GPS data every station from January to July 2015 have different moving values. In January and February every station has the same pattern and direction but different values. Similarly, in May and June deformation's pattern is similar but different in value. For the other months deformation has a different direction with a different value as well. Then, deformation rate is used to compute strain rate in Merapi volcano. Strain rate in Merapi volcano from January to July 2015 has values between 1.36 and 6.36 μ -strain where the body of Merapi experienced extensions (inflation). Strain that occurred in the

body Merapi volcano has $R= 0.8809$ toward seismisity with positive correlation.

Keywords: Merapi Volcano, GPS, Deformation, Strain seismicity.

**ANALISA TEMPORAL REGANGAN PADA
GUNUNG MERAPI BERDASARKAN DATA
PENGAMATAN GPS PERIODE JANUARI-JULI 2015**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

JOKO PURNOMO

NRP. 3512 100 37

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil., P.h.D.

NIP. 1978 1231 2002 12 2001



SURABAYA, JUNI 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamiin. Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan nikmat, dan rahmat-Nya berupa keimanan, kemudahan dan pertolongan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Temporal Regangan pada Gunung Merapi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Periode Januari-Juli 2015”**.

Terselesainya Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orangtua tercinta, Surono dan Parinah yang telah memberikan dukungan dan doa yang tak pernah putus.
2. Bapak Nur Cahyadi ST, M.Sc, PhD selaku Ketua Program Studi Teknik Geomatika - FTSP ITS.
3. Bapak Khomsin, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir, terima kasih atas semua bantuan dan kesempatan yang telah di berikan.
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil., Ph.d selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis. Terimakasih atas kesempatan, bimbingan serta dukungan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Ibu Sulistyani,S.si selaku pembimbing yang telah mengenalkan banyak hal baru tentang Gunung Merapi, memberikan ilmu, tempat dan kesempatan untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir di kantor Badan Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG).
6. Bapak Akbar Kurniawan ST, MT dan ibu Meiriska Yusfania, ST, MT selaku dosen yang telah memberi waktu dan materi terkait deformasi dan GAMIT/GLOBK.
7. Bapak Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.sc selaku dosen wali penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah bapak berikan.

8. Teman-teman Lab Geodinamika dan Lingkungan yang telah banyak membantu, memberi saran dan kritik dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teknik Geomatika angkatan 2012 terutama Rakhmaniar F, Arief Yusuf, Megananda, Irsyadi F, Naufal Majdi, Fitriana K, Musdiyana T, Irma'atus, dan Nurul Aini yang telah banyak memberikan masukan dan dukungan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak mungkin penulis sebutkan satu per satu
Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gunung Api.....	5
2.1.1 Gempa Bumi dan Aktivitas Gunung Api	7
2.2 Deformasi	8
2.2.1 Analisa Deformasi.....	10
2.2.2 Deformasi Gunung Api	11
2.3 <i>Global Position System</i> (GPS)	12
2.3.1 Penentuan Posisi dengan GPS	13
2.3.2 Pengolahan Data Pengamatan GPS	14
2.4 Pemantauan Deformasi.....	16
2.4.1 Vektor Pergeseran	17
2.4.2 Uji Signifikansi Pergeseran Titik	19
2.4.3 Analisa Regangan.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Data dan Peralatan.....	24
3.2.1 Data	24
3.2.2 Peralatan	25
3.3 Tahapan Penelitian	26

3.4 Tahap Pengolahan Data	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Pengolahan Data	39
4.1.1 Hasil Pengolahan GAMIT	39
4.1.2 Hasil Pengolahan GLOBK	40
4.1.3 Hasil Pengolahan Pergeseran.....	43
4.2 Analisa Hasil	44
4.2.1 Uji Statistik dan Vektor Pergeseran Titik Horisontal	44
4.2.2 Analisa Temporal Pergeseran.....	54
4.2.3 Analisa Regangan	56
4.2.3 Analisa Seismisitas Terhadap Regangan	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Translasi materi	9
Gambar 2.2 Rotasi Materi	9
Gambar 2.3 Regangan	9
Gambar 2.4 Gejala Deformasi pada gunung api aktif	12
Gambar 2.5 Tiga segmen teknologi GPS	13
Gambar 3.1 Lokasi Gunung Merapi	23
Gambar 3.2 Lokasi Stasiun Pemantaun GPS di Gunung Merapi	25
Gambar 3.3 Diagram Alir Pekerjaan	27
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data-1	30
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data-2	31
Gambar 3.6 Direktori Kerja	32
Gambar 4.1 Nilai <i>nrms</i> Solusi Harian Pengolahan GAMIT	40
Gambar 4.2 Deret Waktu Pengamatan GPS Stasiun DELS	42
Gambar 4.3 Vektor Pergeseran Bulan Januari 2015	46
Gambar 4.4 Vektor Pergeseran Bulan Februari 2015	47
Gambar 4.5 Vektor Pergeseran Bulan Maret 2015	48
Gambar 4.6 Vektor Pergeseran Bulan April 2015	50
Gambar 4.7 Vektor Pergeseran Bulan Mei 2015	51
Gambar 4.8 Vektor Pergeseran Bulan Juni 2015	52
Gambar 4.9 Vektor Pergeseran Bulan Juli 2015	54
Gambar 4.10 Perubahan Jumlah seismisitas periode Januari-Juli 2015	55
Gambar 4.11 Regangan Bulan Januari 2015	58
Gambar 4.12 Regangan Bulan Februari 2015	58
Gambar 4.13 Regangan Bulan Maret 2015	59
Gambar 4.14 Regangan Bulan April 2015	59
Gambar 4.15 Regangan Bulan Mei 2015	60
Gambar 4.16 Regangan Bulan Juni 2015	60
Gambar 4.17 Regangan Bulan Juli 2015	61
Gambar 4.18 Arah Perputaran <i>Principal Strain</i> Selama Januari- Juli 2015	61
Gambar 4.19 Korelasi Seismisitas dengan Regangan	63

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Distribusi dan tipe gunung api di Indonesia	7
Tabel 3. 1 Lokasi Data Pengamatan GPS.....	24
Tabel 4. 1 Pergeseran titik GPS.....	43
Tabel 4. 2 Pergeseran titik GPS-2	44
Tabel 4. 3 Hasil Uji Statistik Pergeseran Januari 2015	45
Tabel 4. 4 Hasil Uji Statistik Pergeseran Februari 2015	47
Tabel 4. 5 Hasil Uji Statistik Pergeseran Maret 2015	48
Tabel 4. 6 Hasil Uji Statistik Pergeseran April 2015	49
Tabel 4. 7 Hasil Uji Statistik Pergeseran Mei 2015	50
Tabel 4. 8 Hasil Uji Statistik Pergeseran Juni 2015	52
Tabel 4. 9 Hasil Uji Statistik Pergeseran Juli 2015	53
Tabel 4. 10 Nilai Resultan Pergeseran	54
Tabel 4. 11 Perubahan Komponen vertikal (dalam mm)	56
Tabel 4. 12 Parameter Regangan Bulan Januari-Juli 2015.....	57
Tabel 4. 13 Nilai <i>Principal Strain</i>	57

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang banyak dilalui oleh jalur pegunungan berapi yang membentang dari Sumatera hingga laut Banda (Witton & Mark, 2003). Gunung api tersebut terbentuk akibat adanya zona subduksi antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Di sepanjang zona penujaman lempeng terdapat 129 gunung api yang masih aktif dari total keseluruhan 500 gunung api di Indonesia (Nugroho, 2000). Dengan jumlah gunung api tersebut, Indonesia memiliki 13% populasi gunung api aktif di Indonesia dengan panjang pegunungan berapi mencapai 7000 km (Tjetjep, 2002).

Dari jumlah 13% tersebut 79 gunung api yang ada memiliki tipe A. Tipe A yaitu Gunung api yang memiliki kegiatan magma dan erupsi tercatat sejak tahun 1600. Gunung Aktif tipe A perlu dilakukan pemantauan aktivitasnya untuk prediksi letusannya apabila terjadi peningkatan aktivitas pada sewaktu-waktu. Sedangkan gunung api lainnya merupakan gunung api dengan tipe B dan C. Gunung api tipe B dan C mengalami aktivitas sebagai manifestasi vulkanisme yang memiliki potensi kecil untuk meletus (VSI, 2008).

Berdasarkan Abidin (2006) sebelum mengalami letusan gunung api mengalami gejala dan fenomena awal seperti meningkatnya aktivitas seismik, terjadinya deformasi dari tubuh gunung api, adanya perubahan komposisi dan kecepatan semburan gas, adanya perubahan-perubahan temperatur, serta adanya perubahan harga percepatan gaya berat di kawasan gunung api. Untuk memprediksi letusan tersebut maka perlu dilakukan pemantaun. Pemantauan gunung api meliputi beberapa metode yaitu pemantauan tekanan suhu kawah, pemantauan hidrotermal, pemantauan geokimia, serta pemantauan deformasi gunungapi (Dzurisin, 2007).

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api aktif di dunia. Hampir setiap periode gunung Merapi mengalami erupsi. Periode ulang aktivitas erupsi berkisar antara 2 – 7 tahun. Aktivitas erupsi Gunung Merapi dengan ciri khas mengeluarkan lava pijar dan awan panas, tanpa membentuk kaldera (kawah). (Susilo & Rudiarto, 2014). Hingga Juli 2015 gunung Merapi masih mengalami aktivitas vulkanisme yang menunjukkan gunung tersebut masih aktif yaitu terjadi gempa vulkanik B pada 20 april, 2 juni, 1 juli dan 20 juli. (BPPTKG, 2015).

Untuk mengetahui kondisi gunung Merapi dilakukan beberapa metode pemantauan. Salah satu metode pemantauan Gunung Merapi yaitu dengan metode deformasi. Pemantauan deformasi yaitu pemantauan terhadap perubahan koordinat beberapa titik yang mewakili sebuah gunung api dari waktu ke waktu. Metode deformasi pada penelitian tugas akhir ini dengan menggunakan data GPS CORS dan karakteristik deformasi yang dikaji meliputi posisi, arah, dan besar pergeseran. Dari nilai pergeseran yang didapat kemudian dilakukan analisa regangan, yaitu analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk, dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data regangan atau menggunakan data regangan yang diperoleh dari data pengamatan geodetik medan pergeseran (Sulasdi, 1995). Nilai regangan yang didapat kemudian dianalisa terhadap aktivitas gunung Merapi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah

1. berapa nilai dan arah vektor pergeseran yang terjadi pada Gunung Merapi pada periode Januari-Juli 2015;
2. berapa besar regangan yang terjadi akibat adanya pergeseran pada Gunung Merapi pada periode Januari-Juli 2015;
3. bagaimana kaitan regangan yang terjadi selama periode Januari-Juli 2015 dengan seismisitas yang terjadi pada Gunung Merapi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu :

1. penelitian dilakukan di Gunung Merapi;
2. pemantauan deformasi dan perhitungan regangan didasarkan pada data pengamatan GPS kontinyu dalam rentang pada Januari-Juli 2015 pada stasiun BPTK, DELS, GRWH, PLAW dan KLAT;
3. perangkat lunak yang digunakan diantaranya GAMIT/GLOBK, TEQC, GMT (*General Mapping Tools*), dan Matlab, *Ms Office*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. menghitung pergeseran titik pengamatan GPS di wilayah sekitar Gunung Merapi akibat aktivitas tektonik dan vulkaniknya;
2. mengestimasi besar regangan yang terjadi akibat pergeseran yang terjadi;
3. menganalisa besar regangan yang terjadi dikaitkan dengan peningkatan aktivitas Gunung Merapi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai karakteristik deformasi yang terjadi pada Gunung Merapi sedangkan nilai estimasi pergeseran, vektor pergeseran dan nilai regangan serta karakteristik deformasi yang terjadi pada Gunung Merapi dapat digunakan sebagai data tambahan dalam mitigasi bencana dimasa depan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gunung Api

Gunung Api adalah fraktur pada kerak bumi karena dorongan magma dari dalam interior bumi ke permukaan bumi. Gunung Api biasanya berbentuk kerucut pada daerah sekitar dan diatas fraktur karena akumulasi dari material yang dikeluarkan (Casertano, 1996 dalam Borgia et al, 2010). Pada umumnya gunung api terdapat pada jalur-jalur tertentu di muka bumi, yaitu pada jalur pegunungan tengah samudera, jalur pertemuan dua buah lempeng kulit bumi dan pada titik-titik panas dimuka bumi tempat keluarnya magma (Matahalemual, 1982 dalam Nandi, 2006).

Secara umum gunung api aktif adalah gunung yang masih aktif melakukan aktivitas vulkaniknya seperti letusan atau erupsi. Aktivitas vulkanik didefinisikan sebagai proses naiknya magma yang terkandung di dalam gunung tersebut ke permukaan bumi. Aktifitas gunung api dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu aktifitas vulkanik dan non vulkanik. Aktifitas non vulkanik biasanya diasosiasikan tidak identik dengan penyebab terjadinya gunung api, namun biasanya hanya menghasilkan fenomena alam disekitar gunung api seperti sumber air panas (*geyser*) yang berasal dari air magma (*juvenile water*) berfase gas yang naik ke atas, kemudian membentuk fasa cair dikarenakan terjadi penurunan temperatur, solfatar yang merupakan endapan belerang disekitar lubang kepundan, fumarol yang merupakan uap panas dan kering, dipancarkan melalui lubang kepundan. Sedangkan bencana gunung api biasanya identik dengan aktifitas vulkanik gunung api (Andreas, 2001).

Pergerakan antar lempeng di dunia menimbulkan empat busur gunung api berbeda (VSI, 2008), yaitu:

1. Pemekaran kerak benua, dimana lempeng bergerak saling menjauh sehingga memberikan kesempatan magma bergerak

ke permukaan, kemudian membentuk busur gunung api tengah samudera.

2. Tumbukan antar kerak, dimana kerak samudera menunjam di bawah kerak benua. Akibat gesekan antar kerak tersebut terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunung api di tepi benua.
3. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horizontal, sehingga menimbulkan rekahan atau patahan. Patahan atau rekahan tersebut menjadi jalan ke permukaan lelehan batuan atau magma sehingga membentuk busur gunung api tengah benua atau banjir lava sepanjang rekahan.
4. Penipisan kerak samudera akibat pergerakan lempeng memberikan kesempatan bagi magma menerobos ke dasar samudera, terobosan magma ini merupakan banjir lava yang membentuk deretan gunung api perisai.

Di Indonesia gunung api terbentuk karena proses tumbukan antar lempeng. Lempeng-lempeng tersebut adalah lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Hal tersebut menjadikan Indonesia sebagai negara kepulauan dan terkenal sebagai negara yang mempunyai gunungapi terbanyak di dunia. Adapun gunung api yang terdapat di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Gunung api diklasifikasikan menjadi 3 tipe yaitu (VSI, 2008).

1. Tipe A
Gunung api yang pernah mengalami erupsi magmatik sekurang-kurangnya satu kali sesudah tahun 1600.
2. Tipe B
Gunung api yang sesudah tahun 1600 belum lagi mengadakan erupsi magmatik, namun masih memperlihatkan gejala kegiatan seperti kegiatan solfatara.
3. Tipe C
Gunung api yang erupsinya tidak diketahui dalam sejarah manusia, namun masih terdapat tanda-tanda kegiatan masa

lampau berupa lapangan solfatara/fumarola pada tingkah lemah.

Tabel 2. 1 Distribusi dan tipe gunung api di Indonesia (VSI, 2008)

Kawasan	Jumlah Gunung Api		
	Tipe A	Tipe B	Tipe C
Sumatra	12	12	6
Jawa	21	8	5
Bali	2	-	-
Nusa Tenggara	20	3	5
Laut Banda	9	1	-
Sulawesi	6	2	5
Sangihe	5	-	-
Halmahera dan Sekitarnya	5	2	-

2.1.1 Gempa Bumi dan Aktivitas Gunung Api

Peningkatan aktivitas gunung api dapat menimbulkan gempa bumi. Gempa vulkanik terjadi karena adanya aktivitas kantong magma atau lava panas yang terdapat di dalam gunung api. Pada umumnya gempa vulkanik memiliki intensitas kecil sehingga sulit dirasakan. Gempa vulkanik biasa hanya dapat diketahui dari rekaman seismograf yang terpasang di sekitar gunungapi aktif. Namun, untuk skala letusan yang besar gempa vulkanik akan dirasakan pada daerah sekitar gunung api.

Minakami (1974) dalam Syahra et al (2015) membagi gempa vulkanik terbagi dalam 4 jenis :

1. Gempa Vulkanik A

Gempa Vulkanik Tipe A, bersumber di bawah gunung api pada kedalaman 1-20 Km dan terjadi pada gunung api yang aktif. Penyebab dari gempa ini adalah adanya magma yang naik kepermukaan yang disertai rekahan-rekahan. Ciri utama dari gempa tipe ini mempunyai

waktu tiba gelombang primer (gelombang P) dan sekunder (gelombang S) yang sangat jelas.

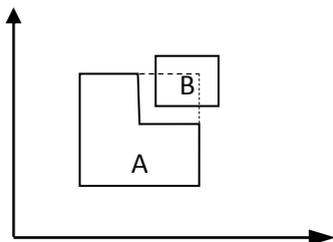
2. Gempa Vulkanik B
Gempa vulkanik tipe B terjadi pada kedalaman dari 1 km dari kawah gunung api yang aktif. Gerakan awalnya cukup jelas dengan waktu tiba gelombang S yang tidak jelas dan mempunyai nilai magnitudo yang kecil.
3. Gempa letusan
Gempa letusan adalah gempa yang diakibatkan oleh terjadinya letusan. Amplitudo maksimum dari gempa tersebut merupakan magnitudo letusannya. Gerakan awal dari gempa letusan adalah rekaman berupa naik dan turun ke atas atau ke bawah.
4. Gempa Tremor
Gempa tremor adalah gempa yang menerus terjadi di sekitar gunung api. jenis gempa ini dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu tremor harmonik dan guguran.

2.2 Deformasi

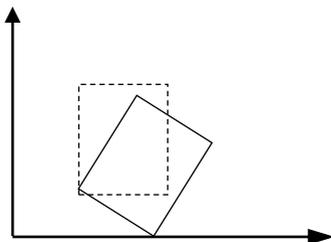
Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Perubahan yang terjadi secara umum disebabkan gaya berat atau beban yang terjadi pada objek tersebut. Sumber beban atau gaya yang bekerja ini bisa dari luar objek maupun dari dalam objek. Pergerakan atau perubahan posisi yang terjadi dapat ditinjau dari dua sisi. Jika ditinjau dari sisi atau titik pada objek itu sendiri, dinamakan dengan pergerakan titik absolut. Sedangkan jika ditinjau dari titik yang lain, dinamakan dengan pergerakan titik relatif (Yunazwardi, 2010).

Deformasi pada suatu materi dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu translasi, rotasi, dan regangan. Translasi merupakan perpindahan posisi materi sesuai dengan sumbu koordinat acuan tanpa mengalami perubahan bentuk (Widjajanti, 1997). Rotasi, adalah perubahan posisi materi tanpa mengalami perubahan

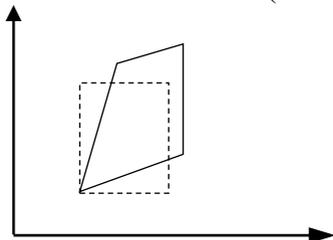
bentuk yang membentuk perubahan sudut (w) terhadap koordinat acuan (Andriyani, 2012). Sedangkan regangan merupakan deformasi yang terjadi per unit panjang pada suatu materi (Widjajanti, 1997). Ketiga jenis deformasi ini merupakan parameter-parameter deformasi.



Gambar 2. 1 Translasi materi (Sulasdi, 1995).



Gambar 2. 2 Rotasi Materi (Sulasdi, 1995)



Gambar 2. 3 Regangan (Sulasdi, 1995)

2.2.1 Analisa Deformasi

Analisis deformasi bertujuan untuk menentukan kuantifikasi pergeseran dan parameter-parameter deformasi, yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu. Apabila suatu benda mengalami deformasi maka dapat dilakukan analisis dengan 2 macam cara, yaitu: interpretasi fisik dan analisis geometri. Interpretasi fisik dilakukan dengan menggunakan status fisik dari materi yang terdeformasi. Metode geometrik dilakukan dengan menggunakan data pengamatan geodetik sehingga didapatkan deformasi secara kuantitatif yang meliputi besar dan pola pergeseran, besar dan pola parameter-parameter deformasi serta model deformasinya (Sari, 2014).

Dalam melakukan analisis deformasi metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah analisis geometri. Berdasarkan Chrzanowski (1986) dalam Sulasdi (1995) analisa geometrik dapat menghasilkan interpretasi secara kuantitatif objek yang mengalami deformasi tanpa melihat penyebab dari deformasi tersebut. Analisa geometrik terdiri dari 2 jenis (Sulasdi, 1995) yaitu :

1. Analisis Pergeseran
Analisis pergeseran dilakukan mengacu pada perbedaan nilai posisi yang meliputi translasi dan rotasi saja yang diperoleh dari hasil hitung perataan dari perbedaan pengamatan geodetik medan pergeseran pada kala yang berbeda.
2. Analisis Regangan
analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk, dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data regangan atau menggunakan data regangan yang diperoleh dari data pengamatan geodetik medan pergeseran

2.2.2 Deformasi Gunung Api

Deformasi gunungapi adalah perubahan bentuk dan dimensi gunungapi. Perubahan dimensi menyangkut perubahan geometri atau pergerakan suatu titik di tubuh gunungapi secara absolut maupun relatif. Deformasi gunung api dapat terjadi berupa penaikan permukaan tanah (inflasi) ataupun penurunan muka tanah (deflasi) yang diakibatkan oleh aktivitas gunung api.

Aktivitas gunung api ini terjadi karena adanya perubahan tekanan pada tubuh gunung api. Perubahan tekanan ini sebagai sumber yang menyebabkan terjadinya pergerakan magma, ataupun uap air yang berada di dalam tubuh gunung api. Pergerakan magma, gas, ataupun uap air ini dapat diakhiri dengan suatu letusan, yaitu proses keluarnya magma dari tubuh gunung api (Segall, 2010).

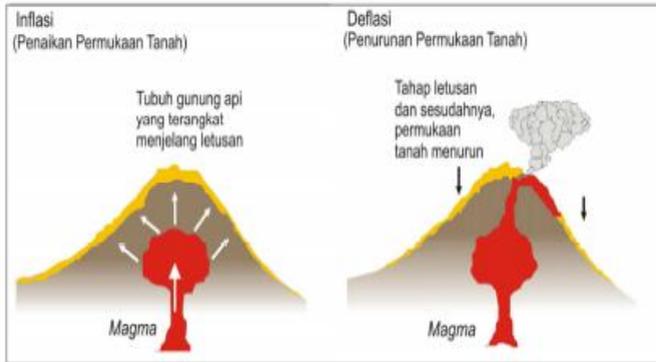
Secara garis besar gejala deformasi gunung api dapat berupa inflasi dan deflasi (Jamel, 2012), yaitu:

1. Inflasi

Pengangkatan permukaan tanah, umumnya terjadi karena proses pergerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Inflasi disebabkan oleh adanya magma yang bergerak naik ke permukaan gunung api. Inflasi sering dijadikan sebagai tanda-tanda akan terjadinya erupsi pada gunung api.

2. Deflasi

Penurunan permukaan tanah, umumnya terjadi sesudah masa letusan, saat tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah tapi pada beberapa kasus deflasi juga terjadi selama letusan.



Gambar 2. 4 Gejala Deformasi pada gunung api aktif
(Abidin, 2006)

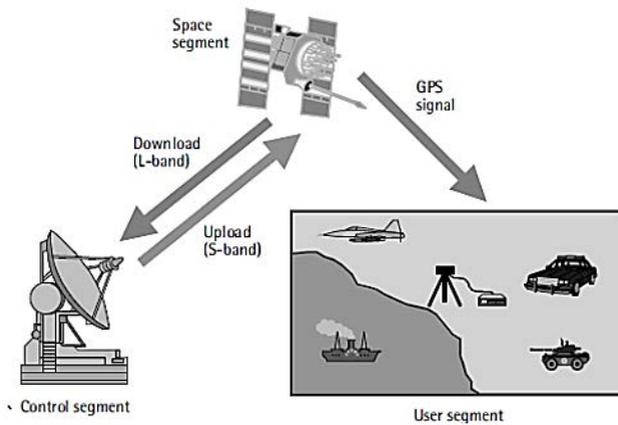
2.3 *Global Position System (GPS)*

GPS adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS, kependekan dari “*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*”. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinu tanpa tergantung waktu dan cuaca. GPS didesain untuk memberikan informasi posisi, kecepatan, dan waktu. GPS mempunyai 3 segmen, yaitu segmen angkasa, segmen pengontrol, dan segmen penerima/ pengguna (Abidin, 2006).

Gambar 2.5 menunjukkan tiga segmen yang ada dalam teknologi GPS. Penjelasan dari tiga segmen tersebut adalah sebagai berikut (El-Rabbany, 2002).

a. Segmen pengontrol (*control segment*)

Mempunyai tanggung jawab untuk memantau satelit GPS supaya satelit GPS dapat tetap berfungsi dengan tepat. Secara spesifik segmen kontrol terdiri atas *Ground Control Stations (GCS)*, *Monitor Stations (MS)*, *Prelaunch Compatibility Stations (PCS)*, dan *Master Control Stations (MCS)*.



Gambar 2. 5 Tiga segmen teknologi GPS
(El-Rabbany, 2002)

- b. Segmen angkasa (*space segment*)
Segmen angkasa terdiri atas satelit-satelit GPS yang beredar pada orbitnya masing-masing. Satelit GPS terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam 6 orbit dengan inklinasi 55° dan ketinggian 20200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.
- c. Segmen pengguna (*user segment*)
Segmen pengguna merupakan pihak pengguna dari teknologi GPS. Dalam segmen pengguna, diperlukan suatu receiver GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga didapatkan posisi.

2.3.1 Penentuan Posisi dengan GPS

Penentuan posisi dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan prinsip pengikatan ke belakang yaitu dengan mengukur jarak dari beberapa satelit yang diketahui posisinya sehingga posisi pengamat dapat dihitung. Pengamatan dengan teknologi GPS menghasilkan koordinat dalam sistem koordinat geodetik (ϕ , λ , h), koordinat

kartesian tiga dimensi (X,Y,Z) dan parameter waktu (Andreas, 2001).

Penentuan posisi dengan teknologi GPS dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode absolut dan metode deferensial (Gopi, 2005)

a. Metode absolut

Metode absolut atau point positioning merupakan penentuan posisi suatu titik yang dapat ditentukan dengan menggunakan sebuah *receiver GPS* untuk mengumpulkan data dari beberapa satelit sekaligus. Pada umumnya metode ini kurang teliti sehingga tidak digunakan untuk pemantauan deformasi atau survei hidrografi. Metode ini banyak digunakan untuk kepentingan militer dan komersial untuk menentukan posisi secara *real time*.

b. Metode diferensial

Metode diferensial atau relatif memerlukan minimal 2 *receiver GPS* yang dipasang pada dua lokasi berbeda (biasanya salah satu titik telah diketahui koordinatnya) untuk mengumpulkan data dari beberapa satelit secara simultan untuk mendapatkan perbedaan koordinat dari 2 titik tersebut. Karena akurasinya metode ini banyak digunakan untuk pemantauan deformasi ataupun hidrografi.

2.3.2 Pengolahan Data Pengamatan GPS

Data pengamatan GPS tidak lepas dari adanya kesalahan. Kesalahan dan bias yang sering terjadi pada pengukuran adalah kesalahan karena efek ionosfer, troposfer, kesalahan jam satelit, kesalahan jam receiver, kesalahan ambiguitas fase, kesalahan *cycle slip*, dan kesalahan efek multipath. Kesalahan ini dapat dihilangkan atau direduksi dengan teknik pengolahan diferensial.

Dalam pengolahan data GPS dikenal tiga teknik *differencing*, yaitu *single difference*, *double difference*, dan

triple difference (Gopi, 2005). Metode *Single Difference* (SD), disimbolkan dengan (Δ), dilakukan dengan menggunakan dua receiver A dan B serta satu satelit dimana kesalahan *ephemeris* (orbit) dan kesalahan jam satelit dapat dieliminasi dengan mengurangi dua data *one-way* (OW) masing-masing receiver atau satelit. Satu pengamatan *one-way* dirumuskan sebagai persamaan 1 dan 2 (Gopi, 2005).

$$P_i = \rho + d_p + dtrop + dion + (dt - dT) + MP_i + \vartheta P_i \quad (2.1)$$

$$L_i = \rho + d_p + dtrop - dion + (dt - dT) + MC_i - \lambda_i \cdot Ni + \vartheta C_i \quad (2.2)$$

Dimana P_i (m) adalah *pseudorange* pada frekuensi f_i ($i = 1, 2$), L_i (m) jarak fase pada frekuensi f_i ($i = 1, 2$), P (m) jarak geometris antara pengamat (x, y, z) dengan satelit, C (m/s) adalah kecepatan cahaya dalam vakum, λ (m) panjang gelombang dari sinyal, d_p kesalahan jarak yang disebabkan oleh kesalahan *ephemeris* orbit, $dtrop$ (m) bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer, $dion_i$ (m) bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer pada frekuensi f_i dt (m) dan dT (m) adalah kesalahan dan *offset* dari jam *receiver* dan jam satelit, MP_i (m) dan MC_i (m) adalah efek *multipath* pada hasil pengamatan P_i dan L_i .

Double Difference (DD), disimbolkan dengan ($\Delta\nabla$), dilakukan dengan dua receiver, dua satelit. Teknik differensial ini dilakukan dengan menggunakan empat data pengamatan *one-way* atau dua data pengamatan *single difference* menjadi satu hasil pengamatan *double difference*. Teknik *double difference* ini dapat menghilangkan kesalahan jam satelit dan kesalahan ambiguitas fase, serta meminimalkan kesalahan troposfer dan ionosfer.

Triple Difference (TD) dilakukan dengan dua receiver, dua satelit dan dua. Teknik differensial ini dilakukan dengan menggunakan delapan data pengamatan *one-way* atau dua

data pengamatan *double difference* menjadi satu hasil pengamatan *triple difference*. Teknik *triple difference* dapat menghilangkan kesalahan jam satelit dan receiver, menghilangkan kesalahan ambiguitas fase, serta meminimalkan kesalahan tropofer dan ionosfer

$$SD=OW-OW \quad (2.3)$$

$$DD=SD-SD \quad (2.4)$$

$$TD=DD-DD \quad (2.5)$$

2.4 Pemantauan Deformasi

Pemantauan deformasi pada gunung api dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan menggunakan tilmeter, EDM (*Electronic Distance Measurement*), InSAR dan pemantauan GPS. Pada penelitian ini deformasi gunung api dilakukan dengan menggunakan metode GPS.

Pada dasarnya pemantauan deformasi dengan GPS adalah selisih posisi/koordinat (L,B,H/X,Y,Z) dari suatu titik pantau/*benchmark* pada pengukuran periode satu dengan pengukuran periode berikutnya. Pemantauan deformasi dengan GPS dilakukan secara diferensial untuk memperoleh ketelitian posisi yang relatif tinggi. Setelah itu dilakukan pemrosesan data untuk menentukan koordinat dari titik-titik pantau (Dzurisin, 2007).

Data pengamatan GPS dalam jumlah dan waktu yang cukup kemudian diproses untuk mendapatkan informasi mengenai posisi, kecepatan, dan waktu atau parameter turunannya. Perubahan data-data itu diamati secara terus-menerus selama terpasangnya receiver. Dari pengolahan data dapat diketahui vektor pergeseran horisontal maupun vertikal sebuah gunung api. Dengan perbandingan vektor tersebut serta metode pemantauan lainnya dapat diketahui perubahan bentuk gunung api dan dapat dianalisis perubahan yang terjadi.

Pemantauan deformasi dengan GPS dapat di bagi dua yaitu pemantauan secara kontinyu dan pemantauan secara periodik. Prinsip pemantauan deformasi secara kontinyu yaitu pemantauan

terhadap perubahan koordinat beberapa titik pada stasiun penamatan yang tetap yang mewakili sebuah gunung api dari waktu ke waktu secara terus menerus. Metode ini, menggunakan beberapa receiver GPS yang ditempatkan pada beberapa titik pantau pada punggung dan puncak gunung api, serta pada suatu pusat pemantau (stasiun referensi) yang merupakan pusat pemroses data. pemantauan secara periodik yaitu pemantauan deformasi gunung api dimana pengamatan GPS dilakukan pada kala-kala tertentu saja dengan interval waktu tertentu. Misalnya setiap 6 bulan sekali, 3 bulan sekali atau bahkan setiap tahun sekali (Abidin, 2006).

2.4.1 Vektor Pergeseran

Vektor pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan suatu titik pengamatan dalam selang waktu tertentu, sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah pengamatan (Rusmen, 2012). Vektor pergeseran merupakan salah satu indikasi terjadinya deformasi pada gunung api. Nilai vektor pergeseran didapatkan dari selisih koordinat selama waktu pengamatan. Nilai ini terdiri dari komponen horizontal dan komponen vertikal.

Koordinat stasiun pengamatan yang diolah dan diamati dalam sistem koordinat lokal toposentrik *North, East, Up* (n, e, u) yang pusat sumbunya ada di permukaan bumi sehingga pergeseran di permukaan bumi dapat terlihat. Berikut adalah persamaan matematis untuk transformasi koordinat (Battaglia, 2013):

$$\begin{bmatrix} n_p \\ e_p \\ u_p \end{bmatrix} = R(\varphi_o, \lambda_o) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$R(\varphi_o, \lambda_o) = \begin{pmatrix} -\sin \varphi_o \cos \lambda_o & -\sin \varphi_o \sin \lambda_o & \cos \varphi_o \\ -\sin \lambda_o & \cos \lambda_o & 0 \\ \cos \varphi_o \cos \lambda_o & \cos \varphi_o \sin \lambda_o & \sin \varphi_o \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Dimana,

X_0, Y_0, Z_0 : titik koordinat stasiun ikat;

X_P, Y_P, Z_P : koordinat titik P yang akan transformasi;

φ_o dan λ_o : lintang dan bujur titik pengamatan;

n_p, e_p, u_p : koordinat toposentriknya .

Hasil transformasi ini kemudian diolah kembali untuk ditampilkan dalam bentuk deret waktu yang menggambarkan kondisi pergeseran dibandingkan dengan satuan waktu pengamatan. Deret waktu pengamatan menggambarkan kondisi pergeseran titik pengamatan dalam arah utara, timur, dan atas (tinggi).

Untuk mendapatkan nilai vektor pergeseran digunakan kurva linear dengan data hasil pengamatan. Fungsi kurva yang digunakan adalah fungsi linier, dengan formula sebagai berikut (Purwaningsih et al., 2011):

$$y = ax + b \quad (2.9)$$

Sedangkan rumus kecepatan vektor pergeseran

$$X_t = X_{t_0} + (t - t_0)v \quad (2.10)$$

dimana hal ini,

X_t : koordinat stasiun pengamatan pada kala t ,

X_{t_0} : koordinat stasiun pengamatan pada kala t_0 , dan

v : kecepatan pergeseran

Apabila dinyatakan dalam bentuk fungsi linear menjadi

$$S = vt + c \quad (2.11)$$

dengan S adalah besar pergeseran $X_t - X_{t_0}$, v adalah vektor kecepatan, t adalah selang waktu $t - t_0$, dan c adalah konstanta tertentu. Untuk menghitung besar parameter, digunakan prinsip kuadrat terkecil dengan formula matriks (Anjasmara, 2005):

$$AX=F \quad (2.12)$$

$$X = (A^t P A)^{-1} \cdot (A^t P F) \quad (2.13)$$

Matriks A berisi data selang waktu pengamatan, matriks F berisi perubahan posisi, dan matriks x adalah besar parameter yang dicari yaitu vektor kecepatan. Setelah menentukan besar parameter, nilai vektor pergeseran dapat ditentukan fungsinya dalam bentuk fungsi linier. Sehingga pada bidang datar akan didapatkan resultan pergeserannya V_R melalui parameter V_n dan V_e , yakni kecepatan pergeseran di sumbu *northing* dan *easting* :

$$V_R = \sqrt{(V_n)^2 + (V_e)^2} \quad (2.14)$$

Sedangkan untuk menemukan arah vektor pergeserannya (α) dapat diketahui dengan menghitung parameter V_n dan V_e dengan rumus:

$$\alpha = \tan \frac{V_e}{V_n} \quad (2.15)$$

2.4.2 Uji Signifikansi Pergeseran Titik

Untuk menguji nilai pergeseran yang didapat benar mengindikasikan terjadinya deformasi atau error, dilakukan uji statistik menggunakan distribusi- t atau distribusi *student*. Uji statistik distribusi- t digunakan untuk menurunkan interval kepercayaan dari rata-rata populasi yang mempunyai set sampel yang relatif kecil (Wolf dan Ghilani, 1997). Uji statistik dilakukan dengan membandingkan resultan vektor pergeseran dengan akar kuadrat standar deviasinya. Berikut rumus perhitungannya:

$$V_r = \sqrt{v_e^2 + v_n^2} \quad (2.16)$$

$$\sigma V_r = \sqrt{\sigma v_e^2 + \sigma v_n^2} \quad (2.17)$$

Dimana:

V_r : Variabel/resultan pergeseran

v_e : Vektor pergeseran komponen e (timur)

v_n : Vektor pergeseran komponen n (utara)

σV_r : Standar deviasi variabel pergeseran

σv_e : Standar deviasi komponen e

σv_n : Standar deviasi komponen n

Untuk menguji pergeseran titik-titik pengamatan digunakan perhitungan matematis:

$$t = \frac{V_r}{\sigma V_r} \quad (2.18)$$

Hipotesa awal titik mengalami pergeseran,
hipotesa alternative titik tidak mengalami pergeseran.

Hipotesa awal diterima atau titik mengalami pergeseran jika $t > t_{v, \alpha/2}$ dimana v adalah derajat kebebasan dan α adalah 1-selang kepercayaan uji statistik. Selang kepercayaan yang digunakan pada pengamatan ini yaitu 95%. Nilai pada table *t-student* dinyatakan sebagai t syarat untuk menentukan titik mana yang lolos uji pengamatan. Titik yang lolos uji pengamatan dianggap mewakili keadaan yang sebenarnya dan menggambarkan pergeseran titik yang terjadi. Nilai pergeseran kemudian digunakan untuk menganalisis regangan pada gunung api.

2.4.3 Analisa Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk pada suatu materi yang meliputi perubahan pada ukuran, bentuk, serta volume, akibat reaksi dari tegangan (*stress*). Perhitungan nilai regangan dilakukan dengan menggunakan model regangan yang terdiri dari

4 buah parameter, yaitu 3 parameter regangan dan 1 parameter rotasi. Dalam perhitungan hubungan antara vektor pergeseran dan parameter deformasi dapat dituliskan secara matematis pada persamaan di bawah ini (Sulasdi, 1995):

$$v_x = \varepsilon_{xx} e + \varepsilon_{xy} n - \Omega n \quad (2.19)$$

$$v_y = \varepsilon_{xy} e + \varepsilon_{yy} n + \Omega e \quad (2.20)$$

dimana

- v_x : pergeseran horizontal arah timur-barat, dan
- v_y : pergeseran horizontal arah utara-selatan,
- e dan n : koordinat toposentrik,
- ε_{xx} : parameter regangan normal arah timur-barat,
- ε_{yy} : parameter regangan normal arah utara-selatan,
- ε_{xy} : parameter regangan geser/regangan menyilang,
- Ω : parameter rotasi.

Sehingga jika dinyakan dalam bentuk matriks,

$$v = B x c \quad (2.21)$$

$$v = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$B = \begin{bmatrix} e & n & 0 & -e \\ 0 & e & n & e \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$C = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yy} \\ \Omega \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Nilai parameter c dicari dengan umus kuadrat terkecil

$$C = (B^T W B)^{-1} (B^T W v) \quad (2.25)$$

dimana W adalah matriks bobot.

Nilai parameter yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung *principal strain* (ε_1 dan ε_2) yang nantinya digunakan untuk analisis. ε_1 merupakan besaran yang menunjukkan nilai perpanjangan utama (ekstensi) sedangkan ε_2 merupakan besaran yang menunjukkan nilai kompresi dimana keduanya dinyatakan dalam satuan regangan (μ strain). ε_1 dan ε_2 dihitung dengan rumus berikut (Ma'ruf, 2001):

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{xx} \cos^2 \theta + 2 \varepsilon_{xy} \sin \theta \cos \theta + \varepsilon_{yy} \sin^2 \theta \quad (2.26)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{xx} \cos^2 (\theta+90) + 2 \varepsilon_{xy} \sin (\theta+90) \cos (\theta+90) + \varepsilon_{yy} \sin^2 (\theta+90) \quad (2.27)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\varepsilon_{xy}}{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})} \quad (2.28)$$

Penjumlahan nilai regangan normal dalam bidang horizontal disebut dilatasi luas (Θ) yang ditulis (Kriswati et al., 2014).

$$\Theta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} \quad (2.29)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di Gunung Merapi, Yogyakarta. Gunung Merapi secara geografis lokasinya terletak pada koordinat $07^{\circ}32'30''$ - $07^{\circ}52'30''$ LS dan $110^{\circ}15'00''$ - $110^{\circ}37'30''$ BT. Secara administratif Gunung Merapi terletak pada perbatasan empat kabupaten yaitu Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali, serta Kabupaten Klaten yang terletak di provinsi Jawa Tengah. Lokasi Gunung Merapi dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Gunung Merapi
(BIG, 2014)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu :

a. Data Rinex

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data pengamatan GPS berupa data RINEX pada bulan Januari hingga Juli 2015. Data RINEX disimpan setiap jam dengan *sampling* pengukuran tiap satu detik. Data GPS bersumber dari hasil pemantauan online Gunung Merapi. Data pengamatan GPS diunduh di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta.

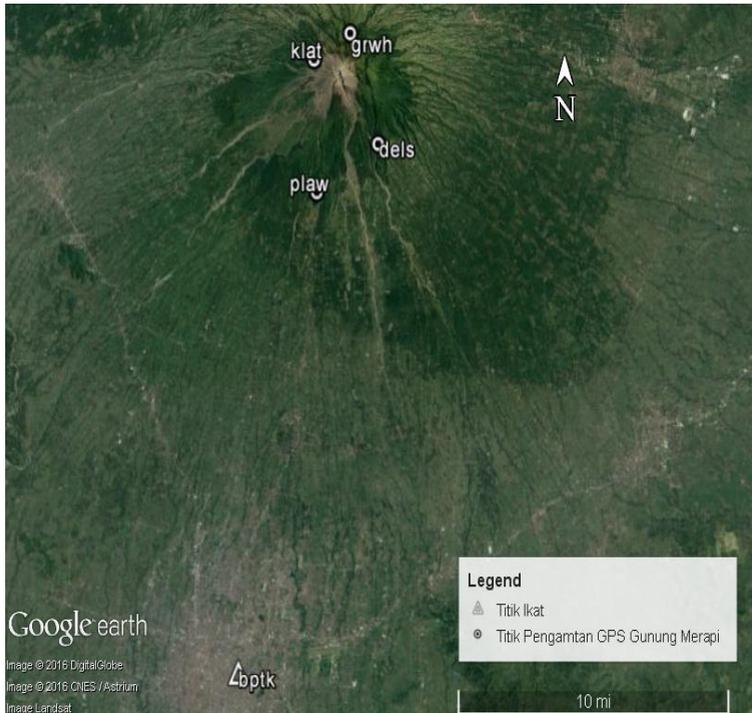
Data pengamatan yang digunakan adalah data pengamatan GPS pada stasiun PLAW, DELS, KLAT, GRWH. Sedangkan titik ikat yang digunakan yaitu data pengamatan GPS pada stasiun BPTK. Adapun lokasi stasiun yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.2.

Tabel 3. 1 Lokasi Data Pengamatan GPS
(BPPTKG, 2014)

No	Nama	Lokasi
1	PLAW	Plawangan
2	DELS	Deles
3	KLAT	Klatakan
4	GRWH	Grawah
5	BPTK	Yogyakarta

- b. Tiga *file data* tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut, *file* atmosfer, *file* pemodelan cuaca.
- c. Data orbit satelit; IGS SP3 *ephemeris file* (igsWWWD.sp3)
- d. Nilai jam satelit; file navigasi RINEX (brdcDDD0.YYn).

- e. Data Statistik Seismisitas Gunung Merapi Januari hingga Juli 2015



Gambar 3. 2 Lokasi Stasiun Pemantaun GPS di Gunung Merapi
(sumber : *earth.google.com*)

3.2.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu :

1. *Hardware*

Hardware yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu Lenovo B490.

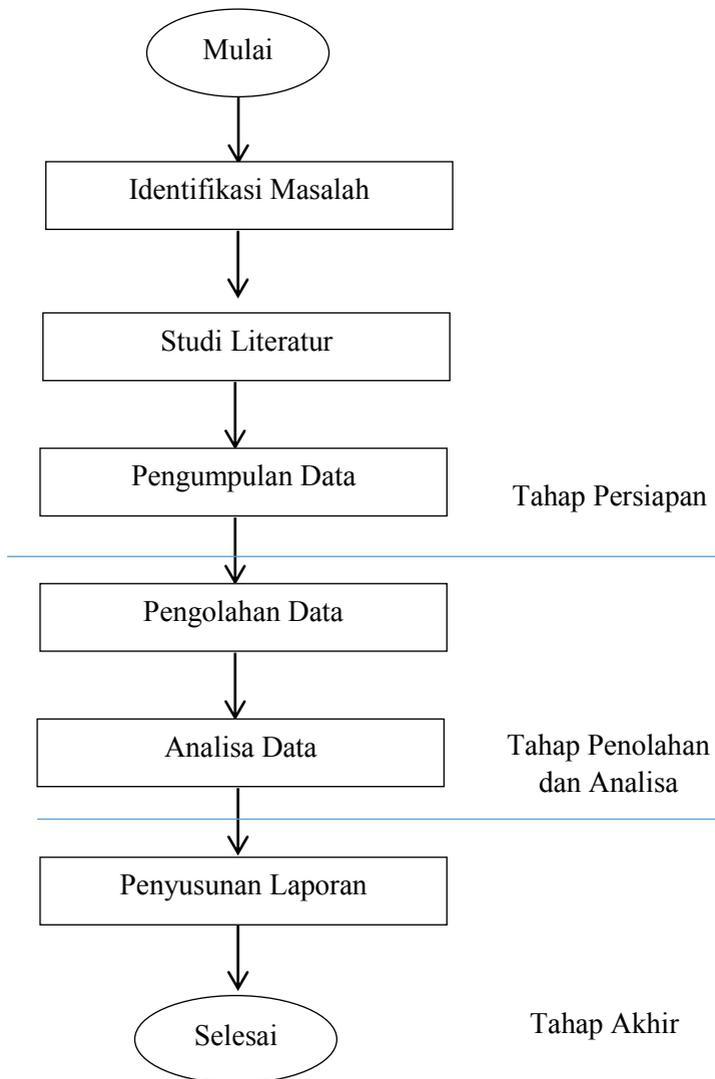
2. *Software*

Software yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

- Sistem Operasi *Linux Ubuntu 14.04* dan *Windows 7*
- *Software* GAMIT dan GLOBK
GPS Analysis Package Developed at MIT (GAMIT) adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) dan *Scripps Institution of Oceanography* (SIO). GAMIT dan GLOBK digunakan untuk pengolahan data GPS hingga menghasilkan koordinat setiap stasiun secara *time series*
- *Software* Matlab
Matlab digunakan untuk menghitung perhitungan nilai regangan yang terjadi.
- *Software* GMT
GMT (*Generic Mapping Tools*), digunakan untuk untuk plotting data grafik, koordinat topografik *time series*, vektor pergeseran secara *time series*, dan plot nilai regangan.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini secara garis besar digambarkan pada diagram alir pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pekerjaan

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah:

- Identifikasi Masalah
Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan, dimana permasalahan dalam penelitian ini adalah nilai regangan yang terjadi pada Gunung Merapi sebagai salah satu perkusor peningkatan kegiatan vulkanisme yang terjadi.
- Studi Literatur
Tahap ini bertujuan untuk memperoleh referensi yang berhubungan penelitian diantaranya deformasi, Sistem GPS dan pengolahannya, analisa regangan, Gunung Api terutama Gunung Merapi, Vulkanologi serta hal lain yang berhubungan dengan penelitian ini.
- Pengumpulan Data
Pengumpulan data yaitu proses untuk mendapatkan data yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini. Pengumpulan data pada penelitian ini yaitu didapat melalui internet dan BPPTKG.

2. Tahap Pengolahan dan Analisa

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah:

- Pengolahan Data
Data pengamatan GPS yang didapat pada tahap pengumpulan data kemudian dilakukan pengolahan data untuk menentukan besar deformasi dan arah pergeseran pada Gunung Merapi serta perhitungan nilai regangannya. Tahap pengolahan data secara lebih jelas dapat dilihat dibagian 3.4
- Analisa Data
Vektor pergeseran dan nilai regangan yang didapat dari hasil pengolahan data kemudian dianalisa terhadap kondisi dan aktivitas Gunung Merapi. Hasil pengolahan data dan analisa tersebut nantinya akan digunakan untuk menyusun laporan Tugas Akhir.

3. Tahap Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini yaitu penyusunan laporan tugas akhir. Laporan Tugas akhir ini mencakup seluruh proses dan hasil dari kegiatan penelitian. Penyusunan laporan tugas akhir ini didasarkan pada Aturan Penyusunan Tugas Akhir Teknik Geomatika ITS.

3.4 Tahap Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan 3.5. Penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data

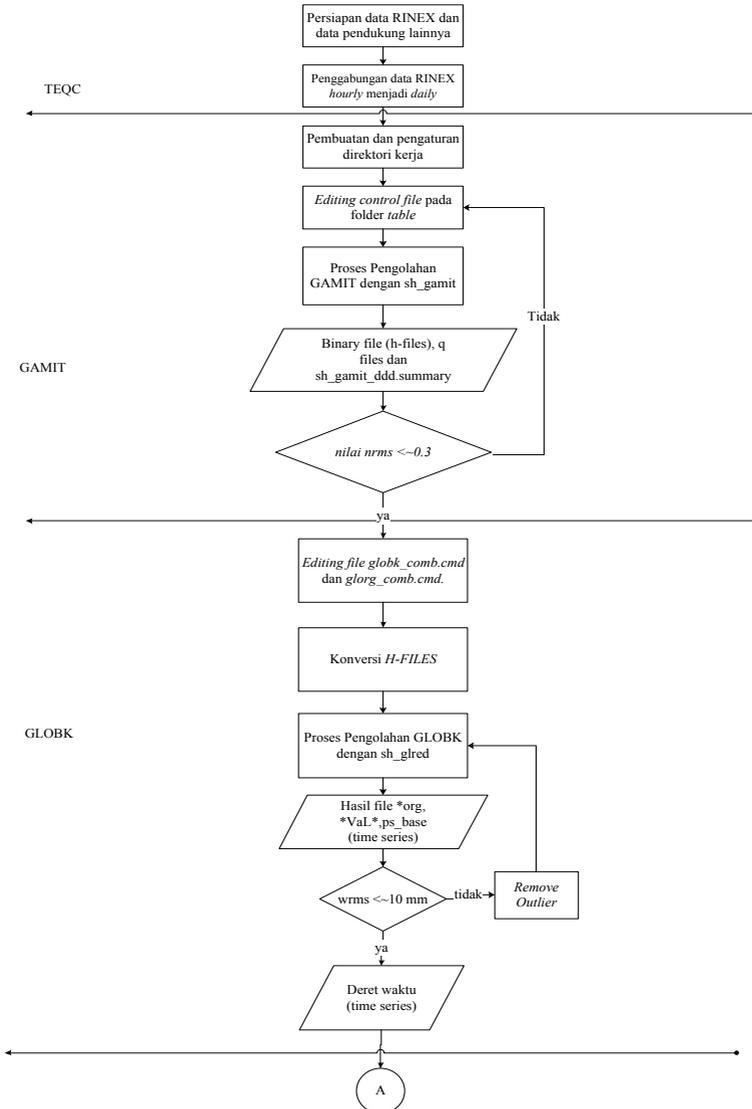
Data RINEX di download dari pusat data di kantor BPPTKG Yogyakarta. Sedangkan data pendukung dalam pengolahan GPS yaitu

- a. Tiga *file data* tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut, *file* atmosfer, *file* pemodelan cuaca didownload melalui <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS/>
- b. Data orbit satelit; IGS SP3 *ephemeris file* (igsWWWD.sp3) didownload dari dari pusat data di SOPAC.
- c. Nilai jam satelit; file navigasi RINEX (brdcDDD0.YYn) didownload dari dari pusat data di SOPAC.

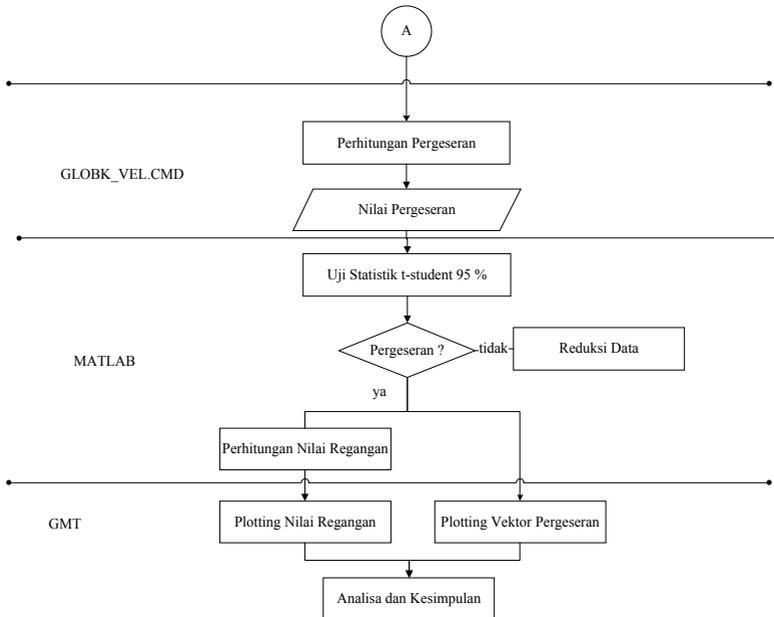
Data-data pendukung diatas digunakan untuk mereduksi kesalahan-kesalahan dalam pengamatan GPS seperti kesalahan orbit, kesalahan jam, siklus ambiguitas efek atmosfer dan ionosfer

2. Penggabungan data RINEX

Data RINEX yang didapat dari BPPTKG masih berupa data perjam sehingga perlu dikombinasikan menjadi data data harian.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Data-1



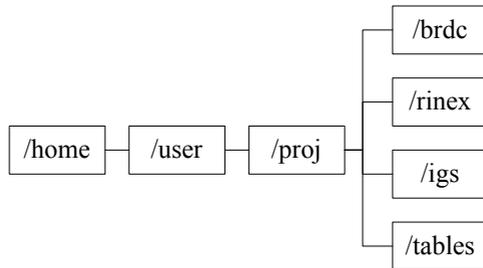
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengolahan Data-2

Untuk mengkombinasikan data RINEX perjam menjadi data RINEX harian digunakan software TEQC. Perintah yang digunakan yaitu

```
-----
teqc -phc xxxxDOYa.YY0 xxxxDOYb.YY0 xxxxDOYc.YY0 ...
xxxxDOYx.YY0 > xxxxDOY0.YY0
-----
```

dimana xxxx adalah nama stasiun, DOY adalah *day of year*, YY adalah tahun

3. Pengaturan direktori kerja
Sebelum melakukan pengolahan data dengan GAMIT perlu dilakukan pengaturan direktori. Pengaturan direktori dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Direktori Kerja

Direktori kerja berada pada `/home/user`. Direktori `/proj` merupakan direktori proyek pengolahan data pada penelitian ini digunakan nama 2015 sebagai nama proyek. Dibalok direktori `/2015` terdapat 4 direktori yaitu

- a) `/brdc` tempat penyimpanan data nilai jam satelit; file navigasi RINEX (`brdcDDD0.YYn`)
 - b) `/rinex` tempat penyimpanan data RINEX yang akan dilakukan pengolahan
 - c) `/igs` tempat penyimpanan data orbit satelit; IGS SP3 *ephemeris file* (`igsWWWD.sp3`)
 - d) `/tables` tempat penyimpanan *control file* untuk proses pengolahan GAMIT. Folder `tables` dipanggil secara otomatis dengan perintah `sh_setup -yr yyyy -apr <apr_file>`, pada penelitian ini digunakan `itr08.apr` sebagai *apr file*.
4. *Editing control file*

Langkah selanjutnya adalah melakukan *editing control file*. *Editing file kontrol* dilakukan untuk menyesuaikan skema pengolahan dengan data yang tersedia. Berikut adalah *control file* yang perlu di-edit:

- a) File *lfile* yang di dalamnya adalah berisi kumpulan koordinat pendekatan masing-masing stasiun GPS yang digunakan. *Editing lfile* digunakan perintah berikut.

```

-----
grep POSITION*.YYo > lfile.rnx
rx2apr lfile.rnx YY DOY
gapr_to_l lfile.rnx.apr lfile. "" <yyyy> DOY
-----

```

Pemilihan DOY dilakukan pada hari dimana koordinat pada hari tersebut dianggap paling stabil.

- b) File *station.info* yang di dalamnya berisi informasi tentang jenis *receiver*, antena, dan waktu/sesi kerja GPS. Tujuan *editing file station.info* yaitu memberikan informasi kondisi stasiun pengamatan pada saat pengukuran. *Editing file station.info* dilakukan secara otomatis dengan perintah `sh_upd_stnfo -files *.08o`
- c) File *sittbl.* yang di dalamnya berisi nilai *constraint* pada setiap koordinat apriori stasiun yang akan diolah. Tujuan *editing* yaitu memberikan *constraint* pada stasiun pengamatan dan titik ikat. Pada penelitian ini nilai *constraint* untuk titik ikat diberikan *constraint* 0.05, sehingga bobotnya besar (asumsi stasiun stabil), dan berikan *constraint* 100 untuk stasiun pengamat, sehingga bobotnya kecil (asumsi stasiun tidak stabil).
- d) File *sestbl.* yang di dalamnya berisi skenario pengolahan. Untuk melakukan analisa deformasi maka salah satu parameter yang perlu diubah adalah *choice of experiment*-nya diubah menjadi tipe pengolahan *baseline*.
- e) File *sites.defaults* yang digunakan untuk memilih stasiun pengamatan yang digunakan dalam proses pengolahan GAMIT. *Editing* dilakukan dengan memilih *localrx* dan *xstinfo*. Pemilihan *localrx* artinya mencari data rinex berdasarkan nama stasiun yang digunakan, *xstinfo* artinya pengolahan data dilakukan dengan tidak memperbarui *file stasiun.info*.

5. Proses pengolahan GAMIT

Pengolahan GAMIT dilakukan dengan *automatic batch processing* perintah yang digunakan sebagai berikut.

```
-----
sh_gamit -s YYYY DOYa DOYb -expt EXPT
-----
```

Keterangan :

YYYY = tahun data yang diolah

DOYa = DOY awal data yang diolah

DOYb = DOY akhir data yang diolah

EXPT = nama projek pengolahan

Hasil yang didapat dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak DOY yang diolah dimana didalam folder tersebut terdapat *Qfile*, file input untuk makex dan fixdrv, *X-file*, *Kfile*, *Hfile*, *B-file*, *J-file* *D-file*, *sh_gamit_ddd.summary*, dll.

6. Analisa hasil pengolahan GAMIT

Analisis hasil pengolahan GAMIT dengan melihat *postfit nrms* (*normalized root mean square*) pada *Qfile* pada masing-masing DOY. Proses pengamatan GPS dapat dikatakan baik jika *postfit nrms* $< \sim 0.3$

7. Editing file *globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd*.

Sebelum masuk ke pengolahan GLOBK, hal yang dilakukan adalah *editing* file *globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd* pada folder */gsoln*, yang dapat melalui perintah penyalinan *sh_glred -cmd*.

Editing globk_comb.cmd yaitu dengan menambahkan opsi *BLEN UTM* pada *prt_opt* dan *org_opt* untuk mendapatkan hasil panjang *baseline* dan koordinat dalam sistem UTM dalam file **.org*. *Editing glorg_comb.cmd* yaitu menambahkan nama stasiun yang akan dilakukan pengolahan dengan GLOBK pada bagian *stab_site*.

8. Konversi *H-FILES*

Untuk melakukan pengolahan GLOBK *H-file* terlebih dahulu harus dikonversi dari format ASCII ke biner. *H-file* setiap DOY terlebih dahulu dikumpulkan menjadi satu folder

/hgamit kemudian dilakukan konversi. Perintah yang digunakan yaitu

```
-----
cd hgamit
ln -s ../???/hproja.* .
cd ..
htoglb glbf tables/proj.svs hgamit/h*
```

Dimana *proj* adalah nama projek. Keluaran dari perintah diatas dalam bentuk biner akan berformat *.glx (solusi *bias-fixed*) dan *.glr (solusi *bias-free*). Data biner format *.glx lah yang dipakai untuk pengolahan GLOBK.

Setelah H-files dikonversi maka selanjutnya membuat list file (ekstensi .gdl) H-files yang akan diolah dengan GLOBK (ekstensi *.glx) pada folder */gsoln*. Perintah yang digunakan yaitu `ls ../glbf/*.glx > proj.gdl`

9. Pengolahan menggunakan GLOBK

Selanjutnya menjalankan pengolahan GLOBK untuk menghasilkan koordinat stasiun secara *time series*.

```
-----
sh_glred -s YYYY1 DOY1 YYYY2 DOY2 -expt EXPT -opt
H G E
```

```
-----
YYYY1 = Tahun awal data yang diolah
DOY1   = DOY akhir data yang diolah
YYYY2  = Tahun akhir data yang diolah
DOY2   = Hari akhir data yang diolah
EXPT   = nama experiment plot time series
H      = memindah H-file kedalam direktori glbf
G      = membentuk file ekstensi .gdl pada setiap
harinya kedalam direktori gsoln
E      = plotting time series
```

Adapun data yang dihasilkan adalah data berformat *Val.<expt>*, *<expt>* adalah nama *experiment*, adalah file dengan ekstensi .prt dan .org berisi nilai koordinat sistem kartesian 3D (X, Y, Z), sistem koordinat lokal dalam easting

(E), northing (N), dan up (U), koordinat geodetis (Lintang, Bujur, Tinggi); dan koordinat UTM (UTM N, UTM E, dan UTM U) dari tiap stasiun. Serta *psbase* yang merupakan hasil *plot time series* posisi koordinat setiap harinya.

10. Deteksi *outliers*

Outliers adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data (*time series*). Agar analisis dari hasil sesuai dengan sebenarnya, maka *outliers* perlu dihilangkan.

11. Perhitungan pergeseran

Dalam hal ini, estimasi pergeseran dilakukan dengan *globk_vel.cmd*. pergeseran dihitung setiap bulannya untuk mengetahui perubahan arah dan besar pergeseran setiap bulan.

12. Uji Statistik

Nilai pergeseran yang didapat kemudian dilakukan uji statistik. Uji statistik yang digunakan yaitu *t-student* dengan hipotesa awal diterima atau titik mengalami pergeseran jika $t > t_{v, \alpha/2}$ begitupun sebaliknya $t < t_{v, \alpha/2}$ maka hipotesa ditolak atau titik tidak mengalami pergeseran. Dimana t merupakan vektor pergeseran dibagi standart deviasi dan v adalah derajat kebebasan dan α adalah 1-selang kepercayaan uji statistik dimana digunakan 95% selang kepercayaan. Kemudian data yang ditolak dalam uji statistik tidak disertakan dalam perhitungan regangan.

13. Perhitungan Nilai Regangan

Setelah dilakukan uji statistik, titik yang mengalami pergeseran dilanjutkan untuk dilakukan perhitungan regangan. Perhitungan regangan dilakukan untuk menentukan parameter-parameter berikut.

- ϵ_{xx} merupakan parameter regangan normal arah timur-barat,
- ϵ_{yy} merupakan parameter regangan normal arah utara-selatan,

- ε_{xy} merupakan parameter regangan geser/regangan menyilang,
 - ε_{xy} merupakan parameter rotasi
 - ε_1 merupakan besaran yang menunjukkan nilai perpanjangan utama (ekstensi)
 - ε_2 merupakan besaran yang menunjukkan nilai kompresi
- perhitungan regangan dilakukan dengan menggunakan *function matlab unavco* yang dapat di unduh melalui http://www.unavco.org/edu_outreach/resources/gps-strain/majors-gps-strain

14. *Plotting*

Nilai regangan yang terjadi ε_1 dan ε_2 kemudian dilakukan plotting secara time series begitupun dengan nilai pergeserannya. Plotting dilakukan dengan menggunakan software GMT.

15. Analisa dan Kesimpulan

Setelah dilakukan semua perhitungan maka selanjutnya dilakukan analisa untuk dilakukan penarikan kesimpulan. Analisa dilakukan terhadap setiap titik apakah titik tersebut mengalami pergeseran atau tidak kemudian dilakukan juga analisa terhadap jenis regangan yang terjadi sebagai dari manifestasi aktivitas Gunung Merapi.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data

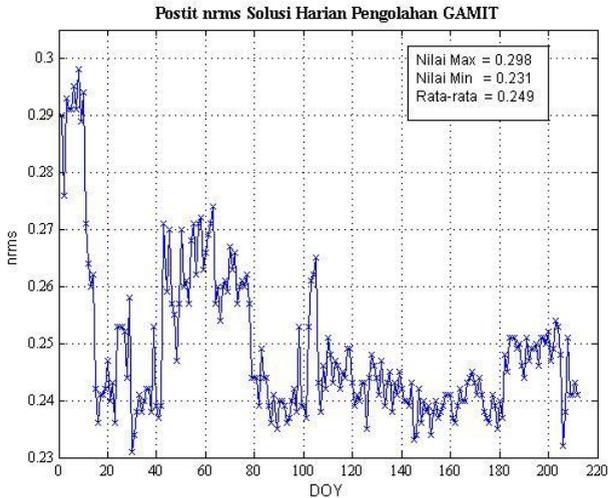
Pada Bagian ini akan dijelaskan Hasil pengolahan Data Pengamatan GPS yang dilakukan pengolahan dengan menggunakan GAMIT/GLOBK

4.1.1 Hasil Pengolahan GAMIT

Pengolahan GPS dengan menggunakan *software* GAMIT menghasilkan kumpulan folder dari DOY yang diteliti dan setiap foldernya berisikan solusi GAMIT (h-file), q-file dan sh_gamit_ddd.summary serta file-file lainnya.

Hasil pengolahan GAMIT perlu dilakukan evaluasi. Evaluasi hasil pengolahan data GPS dengan menggunakan GAMIT dilakukan untuk mengetahui kualitas pengolahan data. Proses evaluasi ini dilakukan dengan cara melihat nilai nrms hasil pengolahan harian. Nilai nrms solusi harian ≤ 0.3 atau pada umumnya berada pada kisaran 0.2 menunjukkan solusi harian yang baik. (King et al., 2015). Jika nilai nrms solusi harian diatas 0.3 mengindikasikan adanya masalah seperti *cycle-slips* yang tidak bisa dihilangkan, stasiun *fixed* dengan koordinat yang jelek, dll.

Nilai nrms dari hasil pengolahan data GPS dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Nilai *nrms* Solusi Harian Pengolahan GAMIT

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat hasil *nrms* minimal adalah 0.231. *nrms* maksimal adalah 0.298, dan rata-rata *nrms* adalah 0.249. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan data sudah memberikan hasil yang sesuai dengan kriteria pengolahan data GPS menggunakan GAMIT.

4.1.2 Hasil Pengolahan GLOBK

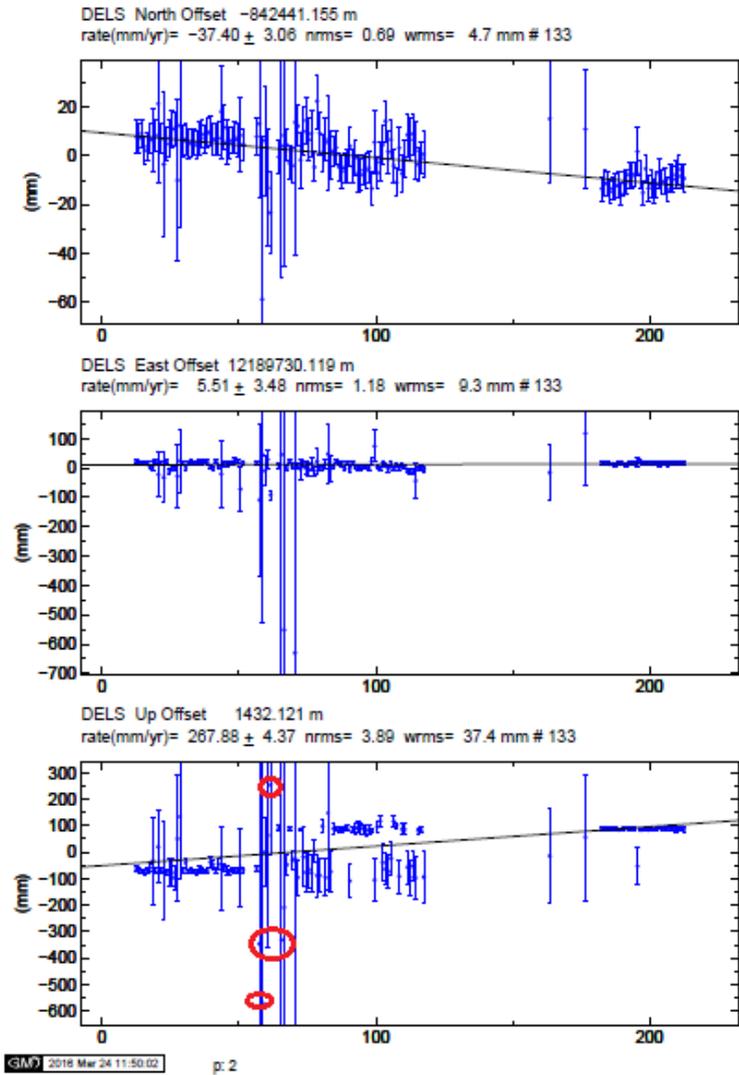
GLOBK adalah sebuah proses perhitungan *Kalman Filtering* yang bertujuan untuk mengkombinasikan solusi dari berbagai pengolahan data geodetik. Salah satu *output* pengolahan GLOBK adalah deret waktu koordinat GPS yang dikombinasi. Tujuan dari deret waktu ini menguji keber-ulangan koordinat (*coordinate-repeatabilities*) sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan beberapa pengamatan atau stasiun yang diduga adalah *outliers*.

Outliers tidak bisa diikuti dalam kombinasi solusi akhir koordinat stasiun karena jika *outlier* diikutsertakan dalam kombinasi solusi akhir maka akan mempengaruhi estimasi

kecepatan pergeseran. Untuk mendeteksi adanya *outlier* digunakan nilai wrms sebagai parameter. Jika nilai wrms > 10 mm data pada solusi harian GLOBK maka data mengandung *outlier*. (Muafiry, 2015).

Pada Stasiun DELS nilai wrms yang dihasilkan yaitu komponen *North* 4.7 mm, *West* 9.3 mm dan *Up* 37.4 mm. Komponen *Up* pada stasiun DELS melebihi 10 mm sehingga mengindikasikan adanya *ouliers*. Untuk meghilangkan outlier digunakan uji signifikansi 95 % dimana untuk komponen *Up* DELS batas minimal adalah 1432.018 meter dan batas atas 1432.22 meter. Tanda lingkaran merah pada Gambar 4.2 diindikasikan sebagai outlier dan perlu dihilangkan. Komponen DELS yang telah dihilangkan *outlier*-nya dapat dilihat pada lampiran.

Stasiun lainnya yaitu PLAW, KLAT dan GRWH memiliki wrms dibawah 10 mm dan tidak terlihat adanya loncatan koordinat yang perlu dihilangkan. Plot time series Stasiun PLAW, KLAT dan GRWH dapat dilihat pada bagian lampiran.



Gambar 4. 2 Deret Waktu Pengamatan GPS Stasiun DELS

4.1.3 Hasil Pengolahan Pergeseran

Pergeseran titik GPS diestimasi dengan menggunakan *globk_vel.cmd*. Dimana pergeseran yang terjadi pada setiap titik dapat dilihat pada file **.org*. Pergeseran pada penelitian ini diestimasi setiap bulan untuk mengetahui *time series* pergeseran setiap bulan.

Pengolahan setiap bulan dilakukan dengan mengubah *list file *.glx* pada *file *.gdl*. Untuk bulan Januari *file *.gdl* berisikan *list *.glx* pada tanggal 1 Januari hingga 31 Januari. Untuk bulan berikutnya *file *.gdl* kembali diubah sesuai tanggal pada bulan tersebut dan dilakukan *running* kembali. Hasil pengolahan pergeseran dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4. 1 Pergeseran titik GPS

Nama Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σ E (mm)	σ N (mm)	dU (mm)	σ U (mm)
Januari						
DELS	-18.90	-7.50	1.77	1.54	10.58	2.60
GRWH	-2.95	-8.88	0.84	0.99	-41.03	4.05
KLAT	35.92	3.62	1.16	0.82	-0.01	4.50
PLAW	8.50	3.40	0.88	0.72	37.64	3.61
Februari						
DELS	-18.98	-7.42	1.69	1.54	10.52	2.45
GRWH	-2.37	-8.07	0.72	0.99	-35.40	3.43
KLAT	34.27	3.05	1.35	0.82	-0.57	5.24
PLAW	7.79	2.67	0.82	0.72	34.52	3.31
Maret						
DELS	-3.49	4.74	1.59	1.35	1.93	1.93
GRWH	-24.10	-1.94	1.37	1.21	-47.34	7.10
KLAT	10.20	0.25	0.96	0.9	-16.36	2.62
PLAW	-8.43	-0.80	0.89	0.72	17.14	3.50

Tabel 4. 2 Pergeseran titik GPS-2

Nama Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σ E (mm)	σ N (mm)	dU (mm)	σ U (mm)
April						
DELS	-9.27	6.78	1.49	1.29	10.15	1.96
GRWH	-3.02	-2.97	1.07	1.18	-43.57	5.02
KLAT	23.93	1.03	1.04	0.70	-0.59	3.80
PLAW	6.48	-5.43	0.82	0.67	28.65	3.23
Mei						
DELS	Tidak ada data					
GRWH	-31.21	-9.00	1.66	1.44	-41.47	4.94
KLAT	12.57	2.91	0.48	0.40	-9.26	0.89
PLAW	-8.52	-3.32	0.71	0.52	30.58	2.80
Juni						
DELS	-11.01	26.59	0.78	0.17	-48.62	1.40
GRWH	-36.02	-11.49	1.40	1.32	-70.51	7.72
KLAT	7.45	1.38	0.34	0.39	-11.36	0.61
PLAW	-16.98	-2.78	0.75	0.58	26.18	1.34
Juli						
DELS	-5.11	3.84	1.01	0.88	5.80	1.12
GRWH	-0.66	-11.71	0.72	0.77	-15.94	2.50
KLAT	36.88	2.99	0.94	0.62	11.50	3.44
PLAW	8.03	-3.91	2.08	1.59	30.91	8.05

4.2 Analisa Hasil

Pada bagian Analisa akan dijelaskan hasil pengolahan data yang dikaitkan dengan aktivitas Gunung Merapi.

4.2.1 Uji Statistik dan Vektor Pergeseran Titik Horisontal

Dengan melakukan pengolahan data GPS yang sudah terbebas dari *outlier*, maka dapat dilakukan penentuan besar

pergeseran titik-titik GPS. Pergeseran pada penelitian ini didapat melalui pengolahan GLOBK dengan menggunakan *globk_vel.cmd*. Pengolahan dilakukan setiap bulan untuk mengetahui besar pergeseran titik secara temporal setiap bulannya. Selain itu pada penelitian tidak dilakukan pemisahan antara pergeseran yang disebabkan oleh sesar dan pengaruh faktor lain seperti sesar opak.

Pergeseran yang telah dihitung perlu dilakukan uji statistik agar secara kualitatif dapat diketahui nilai tersebut mewakili keadaan yang sebenarnya dan menggambarkan pergeseran titik yang terjadi atau tidak. Uji statistik yang digunakan yaitu uji-t dengan interval kepercayaan 95 % (Wolf dan Ghilani, 1997). Pada interval 95 % nilai $t_{v, \alpha/2} = 1.96$. Hipotesis awal $H_0 = t < t_{v, \alpha/2}$ titik tidak bergeser, $H_1 = t > t_{v, \alpha/2}$ titik mengalami pergeseran.

4.2.1.1 Bulan Januari 2015

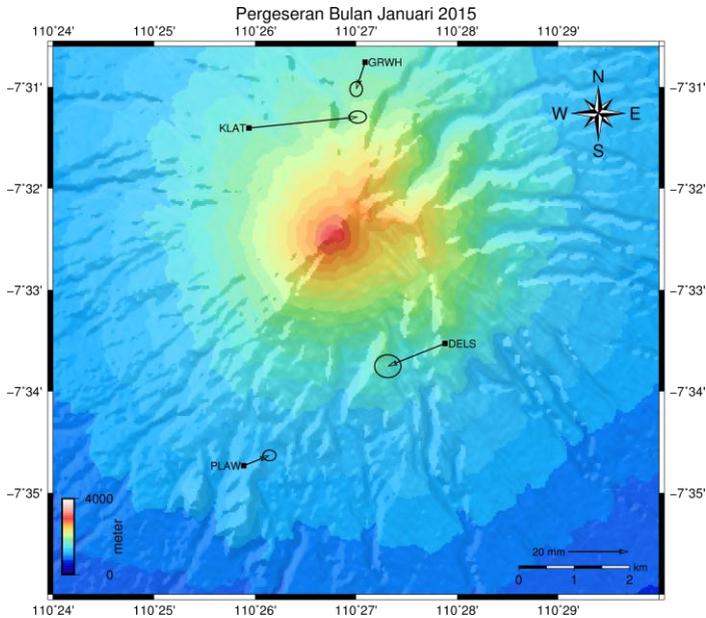
Hasil uji statistik pergeseran bulan Januari ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Statistik Pergeseran Januari 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σE (mm)	σN (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-18.9	-7.50	1.77	1.54	20.33	2.35	8.67
GRWH	-2.95	-8.88	0.84	0.99	9.36	1.30	7.21
KLAT	35.92	3.62	1.16	0.82	36.10	1.42	25.41
PLAW	8.5	3.4	0.88	0.72	9.15	1.14	8.05

Dari Tabel 4.3 nilai $t > t_{v, \alpha/2}$ untuk setiap titik pengamatan sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan Januari dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Vektor Pergeseran Bulan Januari 2015

Pada bulan Januari titik KLAT bergeser ke arah timur 36.10 mm. Titik GRWH mengarah ke puncak gunung Merapi yaitu pada arah selatan-barat sebesar 9.36 mm. Titik DELS bergeser 20.33 ke arah selatan-barat dan titik PLAW bergeser 9.15 mm ke arah utara-timur.

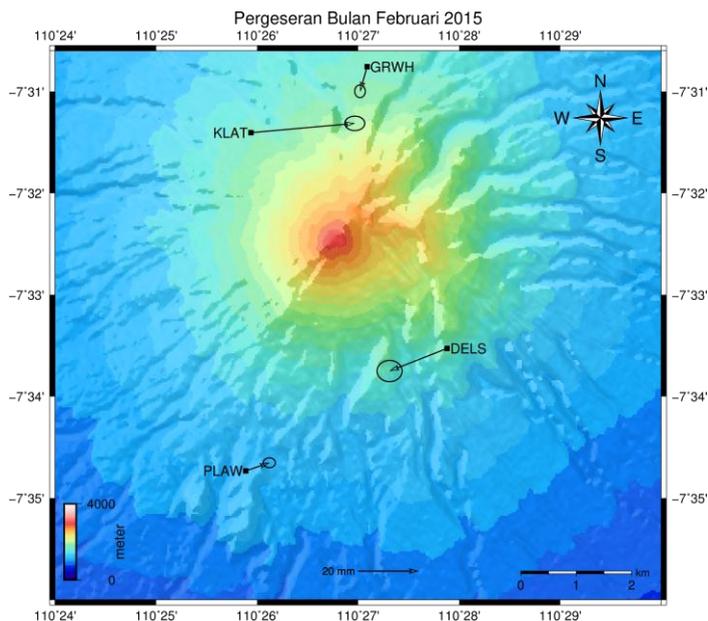
4.4.1.2 Bulan Februari 2015

Hasil uji statistik pergeseran bulan Februari ditunjukkan pada tabel 4.4. Dari Tabel 4.4 nilai $t > t_{\alpha/2}$ untuk semua titik pengamatan GPS sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan Februari dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Uji Statistik Pergeseran Februari 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σE (mm)	σN (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-18.9	-7.42	1.69	1.54	20.38	2.29	8.91
GRWH	-2.37	-8.07	0.72	0.99	8.41	1.22	6.87
KLAT	34.27	3.05	1.35	0.82	34.41	1.58	21.78
PLAW	7.79	2.67	0.82	0.72	8.23	1.09	7.55



Gambar 4. 4 Vektor Pergeseran Bulan Februari 2015

Pada bulan Februari titik KLAT bergeser 34.41 mm ke arah timur. Titik GRWH mengarah ke puncak gunung Merapi yaitu pada arah selatan-barat sebesar 8.41 mm. Titik DELS bergeser 20.37 mm ke arah selatan-barat dan titik PLAW bergeser 8.23 mm ke arah utara-timur. Arah dan pola pergeseran pada bulan Februari cenderung sama dengan pergeseran yang terjadi pada bulan Januari.

4.2.1.3 Bulan Maret 2015

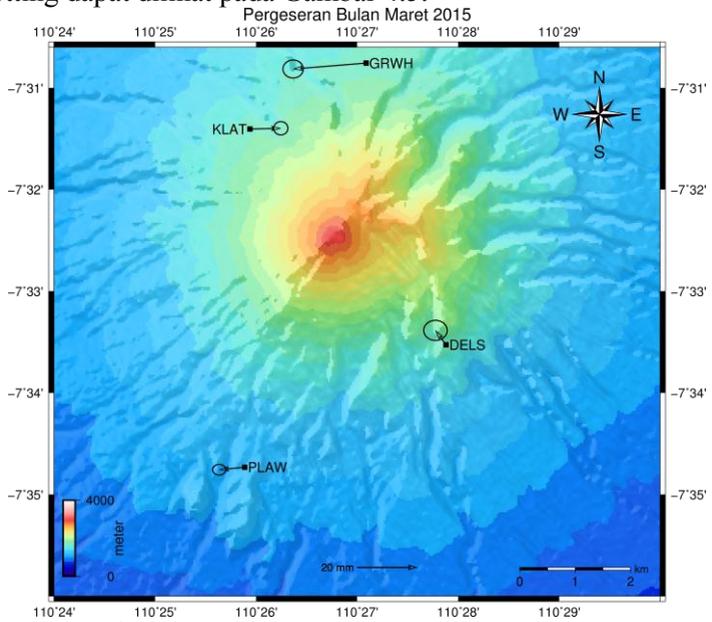
Hasil uji statistik pergeseran bulan Maret ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Statistik Pergeseran Maret 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σE (mm)	σN (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-3.49	4.74	1.59	1.35	5.89	2.09	2.82
GRWH	-24.1	-1.94	1.37	1.21	24.18	1.83	13.23
KLAT	10.2	0.25	0.96	0.9	10.20	1.32	7.75
PLAW	-8.43	-0.8	0.89	0.72	8.47	1.14	7.40

Dari Tabel 4.5 nilai $t > t_{\alpha/2}$ untuk semua titik pengamatan GPS sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan Maret dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Vektor Pergeseran Bulan Maret 2015

Pada bulan Maret 2015 titik DELS bergeser kearah sebesar 5.88 mm puncak Gunung Merapi yaitu pada arah barat-utara. Titik GRWH bergeser kearah barat-selatan cenderung (kearah barat) sebesar 24.18 mm. Titik KLAT bergeser kearah timur sebesar 10.20 mm. Sedangkan titik PLAW bergeser kearah barat sebesar 8.47 mm.

4.2.1.4 Bulan April 2015

Hasil uji statistik pergeseran bulan April ditunjukkan pada Tabel 4.6.

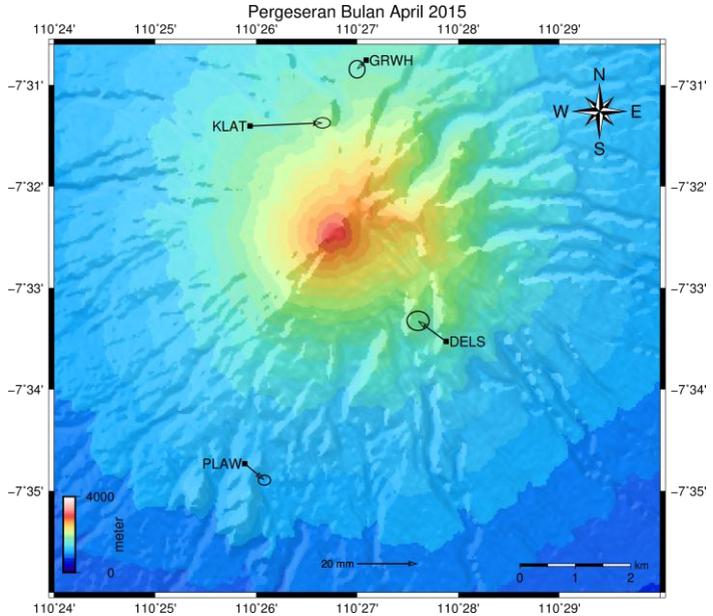
Tabel 4. 6 Hasil Uji Statistik Pergeseran April 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σE (mm)	σN (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-9.27	6.78	1.49	1.29	11.48	1.97	5.83
GRWH	-3.02	-2.97	1.07	1.18	4.24	1.59	2.66
KLAT	23.93	1.03	1.04	0.70	23.95	1.25	19.11
PLAW	6.48	-5.43	0.82	0.67	8.45	1.06	7.98

Dari Tabel 4.6 nilai $t > t_{\nu, \alpha/2}$ sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan April dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Pada bulan April 2015 titik DELS bergeser kearah sebesar 11.48 mm puncak Gunung Merapi yaitu pada arah barat-utara. Titik GRWH bergeser kearah barat-selatan cenderung sebesar 4.24 mm. Titik KLAT bergeser kearah timur sebesar 23.9 mm. Sedangkan titik PLAW bergeser kearah barat-utara sebesar 8.45 mm.



Gambar 4. 6 Vektor Pergeseran Bulan April 2015

4.2.1.5 Bulan Mei 2015

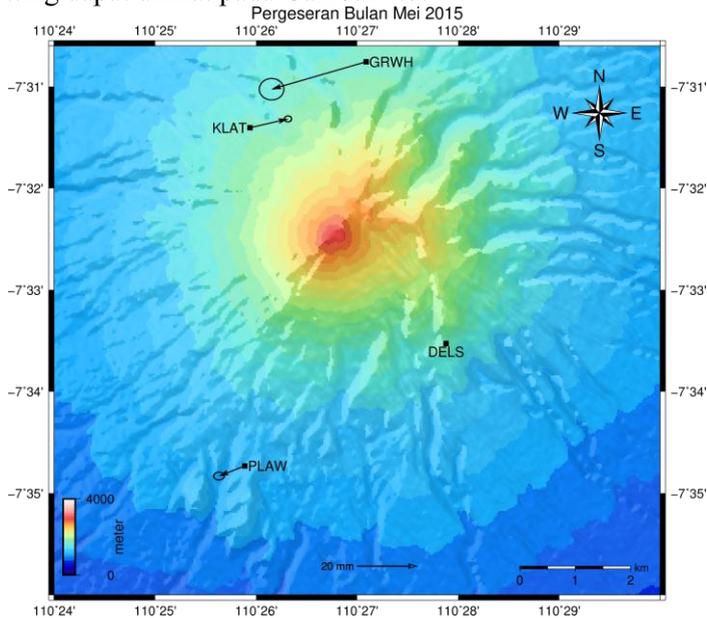
Hasil uji statistik pergeseran bulan Mei ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Statistik Pergeseran Mei 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σ E (mm)	σ N (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
GRWH	-31.20	-9.00	1.66	1.44	32.48	2.20	14.78
KLAT	12.57	2.91	0.48	0.40	12.90	0.62	20.65
PLAW	-8.52	-3.32	0.71	0.52	9.14	0.88	10.39

Dari Tabel 4.7 nilai $t > t_{\alpha/2}$ sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan April dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Vektor Pergeseran Bulan Mei 2015

Pada bulan Mei 2015 Data stasiun DELS tidak tersedia. Stasiun GRWH bergeser sebesar 32.48 mm kearah selatan-barat. Sedangkan untuk KLAT bergeser kearah timur sebesar 12.90 mm. sedangkan titik PLAW bergeser kearah selatan-barat sebesar 9.14 mm.

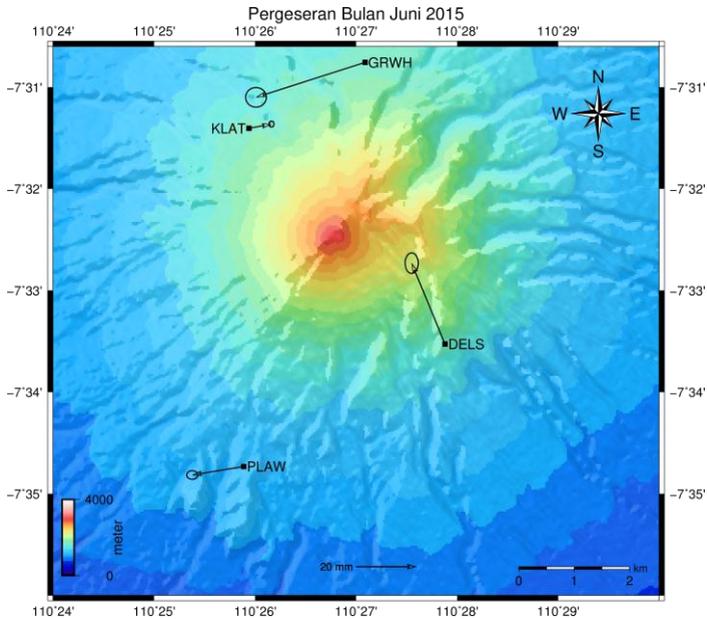
4.2.1.6 Bulan Juni 2015

Hasil uji statistik pergeseran bulan Juni ditunjukkan pada Tabel 4.8. Dari Tabel 4.8 nilai $t > t_{\nu, \alpha/2}$ sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Tabel 4. 8 Hasil Uji Statistik Pergeseran Juni 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σ E (mm)	σ N (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-11.01	26.59	0.78	1.7	28.78	3.49	8.22
GRWH	-36.02	-11.49	1.40	1.32	37.81	1.92	19.65
KLAT	7.45	1.38	0.34	0.39	7.58	0.52	14.64
PLAW	-16.98	-2.78	0.75	0.58	17.21	18.15	

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan Juni dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Vektor Pergeseran Bulan Juni 2015

Pada bulan Juni 2015 DELS bergeser kearah barat utara sebesar 28.78 mm. Stasiun GRWH bergeser sebesar 37.81 mm kearah selatan-barat. Titik KLAT bergeser kearah timur sebesar

7.58 mm. Sedangkan titik PLAW bergeser kearah selatan-barat sebesar 17.21 mm.

4.2.1.7 Bulan Juli 2015

Hasil uji statistik pergeseran bulan Juli ditunjukkan pada Tabel 4.9.

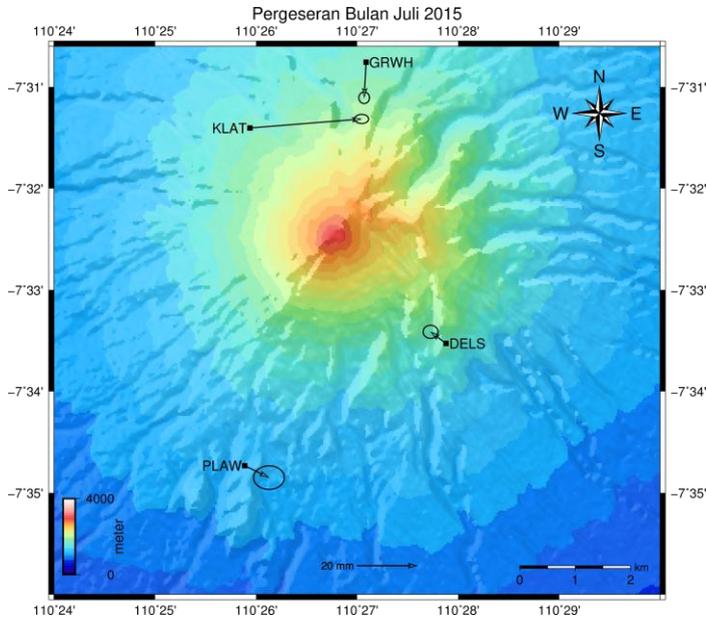
Tabel 4. 9 Hasil Uji Statistik Pergeseran Juli 2015

Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	σ E (mm)	σ N (mm)	R_{EN}	$R\sigma$	t
DELS	-5.11	3.84	1.01	0.88	6.39	1.34	4.77
GRWH	-0.66	-11.71	0.72	0.77	11.73	1.05	11.13
KLAT	36.88	2.99	0.94	0.62	37.00	1.13	32.86
PLAW	8.03	-3.91	2.08	1.59	8.93	2.62	3.41

Dari Tabel 4.9 nilai $t > t_{\nu, \alpha/2}$ sehingga dapat disimpulkan secara statistik semua titik mengalami pergeseran.

Untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada bulan Juli dilakukan plotting dengan menggunakan software GMT. Hasil plotting dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Pada bulan Juli 2015 DELS bergeser kearah barat utara sebesar 6.39 mm. Stasiun GRWH bergeser sebesar 11.73 mm kearah selatan. Titik KLAT bergeser kearah timur sebesar 37.00 mm. Sedangkan titik PLAW bergeser kearah timur-selatan sebesar 8.93 mm.



Gambar 4. 9 Vektor Pergeseran Bulan Juli 2015

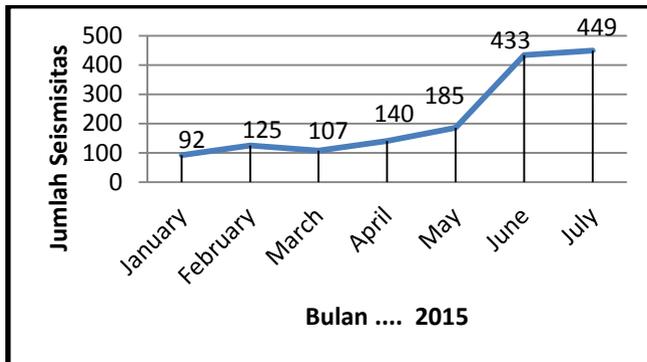
4.2.2 Analisa Temporal Pergeseran

Dari hasil perhitungan Pergeseran didapatkan resultan dari komponen *Easting* dan *Northing* seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Nilai Resultan Pergeseran

Stasiun	Pergeseran Bulan ke- ... 2015 (mm)							Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	
DELS	20.33	20.37	5.88	11.48	-	28.78	6.39	15.54
GRWH	9.36	8.41	24.18	4.24	32.48	37.81	11.73	18.321
KLAT	36.10	34.41	10.20	23.95	12.90	7.58	37.00	23.16
PLAW	9.15	8.23	8.47	8.45	9.14	17.21	8.93	9.94

Berdasarkan Tabel 4.10, pergeseran terbesar untuk stasiun DELS terjadi pada bulan Juni sedangkan untuk pergeseran terkecil terjadi pada bulan Maret. Pergeseran terbesar pada Stasiun GRWH terjadi pada bulan Juni sedangkan untuk pergeseran terkecil terjadi pada bulan Februari. Stasiun KLAT, pergeseran terkecil terjadi pada bulan Juni sedangkan pergeseran terbesar terjadi pada bulan Juli. Stasiun PLAW, pergeseran terkecil terjadi bulan Februari dan pergeseran terbesar terjadi pada bulan Juni. Rata-rata pergeseran terbesar terjadi pada bulan Juni, kecuali KLAT. Hal ini diindikasikan terjadi karena adanya lonjakan jumlah seismisitas dari bulan Mei kebulan Juni seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Perubahan Jumlah seismisitas periode Januari-Juli 2015

Berdasarkan rata-rata pergeseran selama 7 bulan rata-rata pergeseran terbesar terjadi pada titik KLAT. Sedangkan rata-rata pergeseran terkecil terjadi pada titik PLAW.

Jika dilihat dari vektor pegeseran Arah, pola pergeseran yang hampir seragam yang terjadi pada Januari-Februari, dan Mei-Juni. Pada bulan-bulan tersebut dapat diasumsikan bahwa gaya endogen diduga berasal dari pengaruh gerakan sumber tekanan yang sama (Suganda et al., 2007).

Perubahan komponen vertikal dapat dilihat pada Tabel 4.11. Perubahan komonen vertikal pada Tabel 4.11 menunjukkan beberapa stasiun mengalami penurunan. Dan beberapa stasiun mengalami kenaikan. Penurunan relatif terjadi pada stasiun GRWH dan KLAT sedangkan kenaikkkkan terjadi pada stasiun DELS dan PLAW.

Tabel 4. 11 Perubahan Komponen vertikal (dalam mm)

Stasiun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
DELS	10.58	10.52	1.93	10.15	-	-48.62	5.80
KLAT	-41.03	-35.40	-47.34	-43.57	-41.47	-70.51	-15.94
GRWH	-0.01	-0.57	-16.36	-0.59	-9.26	-11.36	11.50
PLAW	37.64	34.52	17.14	28.65	30.58	26.18	30.91

4.2.3 Analisa Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk pada suatu materi yang meliputi perubahan pada ukuran, bentuk, serta volume, akibat reaksi dari tegangan (*stress*). Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dengan model regangan dengan 4 parameter yaitu 3 parameter regangan dan 1 parameter rotasi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan formula 2.18 dan 2.19. Regangan pada penelitian ini dihitung dengan model 4 titik membentuk model segiempat yaitu DELS-GRWH-KLAT-PLAW kecuali Mei dihitung dengan 3 titik karena data Stasiun DELS Kosong pada bulan tersebut. Dalam Sulasdi (1995) regangan dihitung dengan menggunakan 5 titik sekaligus sedangkan dalam penelitian ini regangan dihitung dengan 4 titik pengamatan GPS sehingga dapat melingkupi daerah Gunung Merapi.

Berdasarkan nilai regangan yang terjadi dapat diketahui apakah gunung mengalami kompresi atau ekstensi. Kompresi ditunjukkan dengan nilai dilatasi yang negatif dan ekstensi dengan nilai dilatasi positif (Hackl et al., 2009). Dari regangan

yang terjadi apabila tubuh gunung api mengalami kompresi maka terjadi deflasi, sedangkan apabila terjadi ekstensi maka gunung api mengalami inflasi (Suganda et al., 2007). Parameter regangan yang terjadi pada bulan Januari hingga dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Parameter Regangan Bulan Januari-Juli 2015

Parameter	Januari	Februari	Maret	April	mei	Juni	Juli
ϵ_{xx} (μ -strain)	5.55	5.43	0.27	9.72	3.40	0.53	4.18
ϵ_{xy} (μ -strain)	-5.66	-5.43	-1.72	-10.00	-2.48	-3.74	-4.57
ϵ_{yy} (μ -strain)	-3.42	-3.15	1.09	-6.23	-0.68	5.86	0.27
Ω (μ -rad)	6.07	5.88	1.07	3.31	3.78	-0.07	3.78
Θ (μ -strain)	2.13	2.24	1.36	3.49	2.72	6.39	4.45

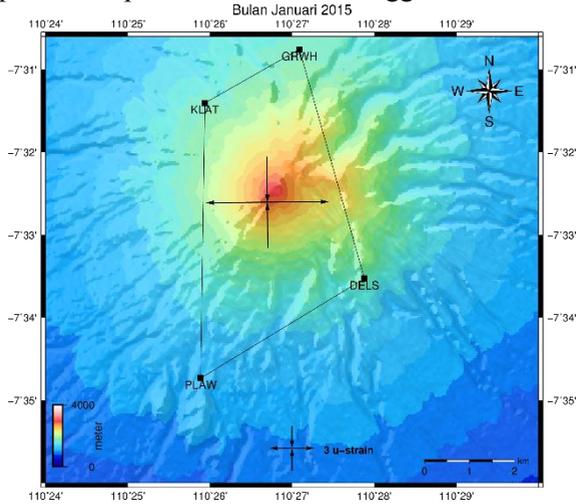
Berdasarkan Tabel 4.11 Nilai *dilatational strain* pada bulan januari hingga Juli 2015 bernilai positif hal ini menunjukkan selama Januari-Juli Gunung Merapi mengalami ekstensi dengan kondisi Gunung Merapi mengalami inflasi. Nilai *dilatational strain* terjadi antara 1.36 μ -strain hingga 6.39 μ -strain. *Dilatational strain* terkecil terjadi pada bulan Maret sebesar 1.36 dan nilai terbesar terjadi pada bulan Juni sebesar 6.39 μ -strain.

Tabel 4. 13 Nilai *Principal Strain*

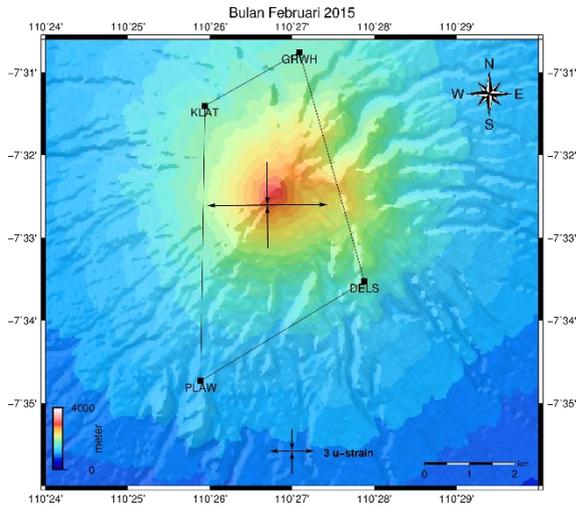
Bulan	ϵ_1 (μ -strain)	ϵ_2 (μ -strain)	θ
Januari	8.28	-6.15	179.54964°
Februari	8.103	-5.794	179.54892°
Maret	2.44	-1.085	0.668395 °
April	6.52	-1.32	179.55120°
Mei	1.45	-1.10	179.55878°
Juni	7.79	-1.40	0.475842 °
Juli	7.19	-2.74	179.54964°

Berdasarkan parameter regangan pada Tabel 4.13 dilakukan perhitungan *principal strain* (ϵ_1 dan ϵ_2). Nilai *principal strain* (ϵ_1

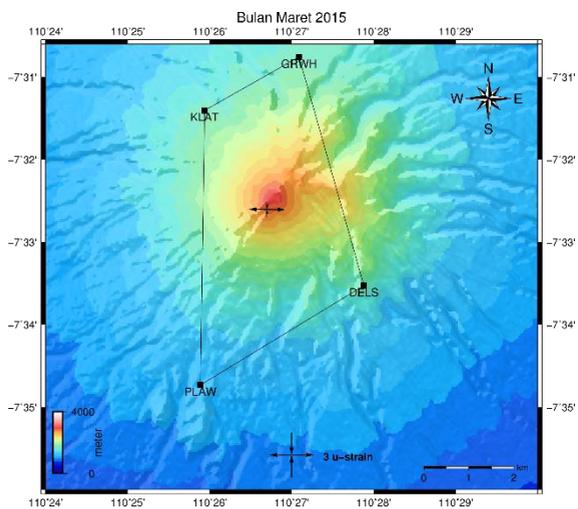
dan ε_2) dapat dilihat pada tabel sedangkan plotting *principal strain* dapat dilihat pada Gambar 4.11 hingga Gambar 4.17.



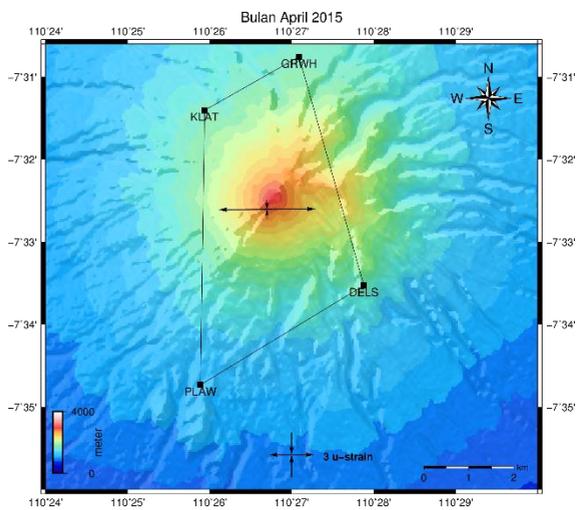
Gambar 4. 11 Regangan Bulan Januari 2015



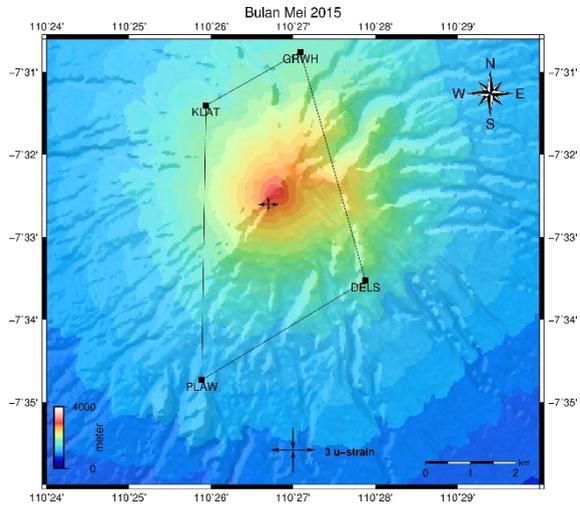
Gambar 4. 12 Regangan Bulan Februari 2015



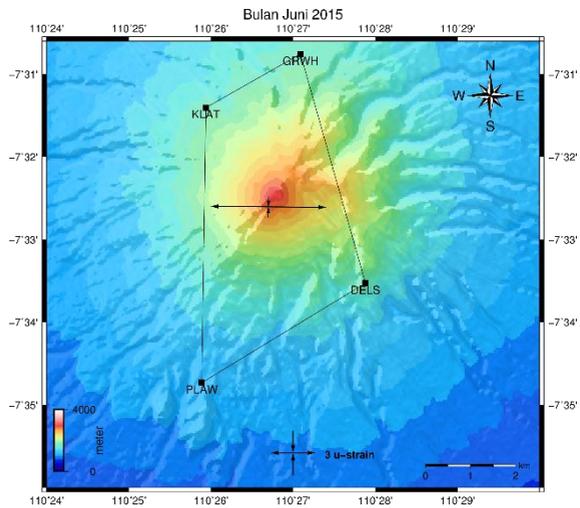
Gambar 4. 13 Regangan Bulan Maret 2015



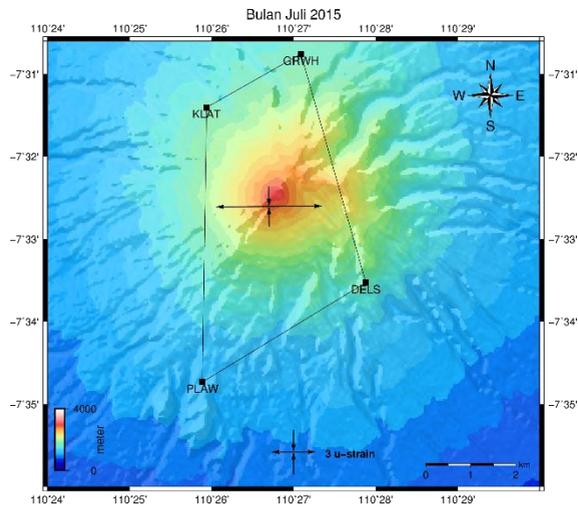
Gambar 4. 14 Regangan Bulan April 2015



Gambar 4. 15 Regangan Bulan Mei 2015

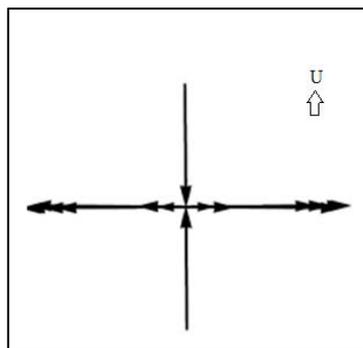


Gambar 4. 16 Regangan Bulan Juni 2015



Gambar 4. 17 Regangan Bulan Juli 2015

Jika dilihat dari hasil plotting *principal strain* ekstensi terjadi pada arah timur-barat dan kompresi arah utara selatan. Perubahan arah regangan selama 7 bulan dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Arah Perputaran *Principal Strain* Selama Januari-Juli 2015

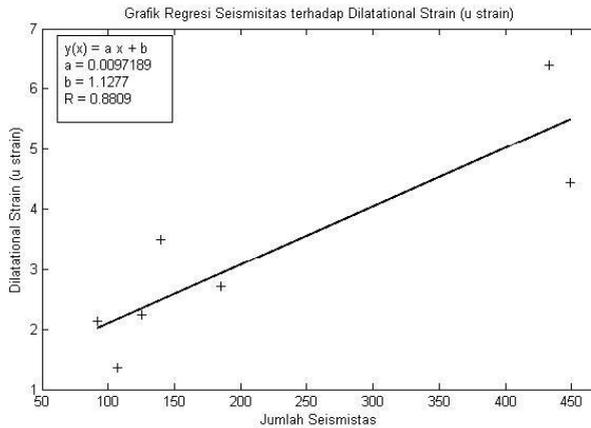
Gambar 4.18 menunjukkan selama Januari hingga Juli 2015 arah ekstensi dan kompresi cenderung tetap dengan rotasi yang sangat kecil. Kompresi terjadi pada arah utara-selatan dan ekstensi terjadi pada arah timur-barat.

4.2.3 Analisa Seismisitas Terhadap Regangan

Deformasi gunung api akan berkorelasi dengan seismisitasnya. Karakteristik dan pola korelasi setiap gunung api bergantung pada struktur geologi serta struktur sistem ventilasi magmanya (Suganda et al., 2007). Untuk mengetahui korelasi antara seismistas dengan regangan yang terjadi pada penelitian ini digunakan metode regresi linier.

Selama Januari hingga Juli 2015 jumlah seismistas pada Gunung Merapi terus meningkat ditunjukkan pada Gambar 4.10. Periode awal erupsi pada penelitian sebelumnya yaitu terjadi peningkatan frekuensi kejadian Gempa hingga berada di atas 100 kejadian perhari (Setyawan, 2006). Namun, Pada periode Januari-Juli 2015 tidak menunjukkan peningkatan hingga sejumlah 100 kejadian hal tersebut menunjukkan kondisi Gunung Merapi dalam keadaan normal walaupun terjadi peningkatan.

Korelasi antara seismistas dihitung dengan regresi linear. Korelasi antara seismisitas dan nilai regangan dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Korelasi Seismisitas dengan Regangan

Grafik tersebut menunjukkan adanya korelasi positif antara seismistas dengan regangan yang terjadi pada Gunung Merapi dengan korelasi 0.8809. Semakin tinggi seismisitas semakin besar nilai regangan yang terjadi. Berdasarkan korelasi tersebut dapat diasumsikan apabila periode awal erupsi Gunung Merapi adalah peningkatan seismisitas. Maka terjadi peningkatan nilai regangan sebelum erupsi pada segmen DELS-GRWH-KLAT-PLAW.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Control File Pengolahan GAMIT

FILE station.info

```
*          # Station.info written by MSTINF user joko
on 2016-03-21 11:43
* Reference file : station.info
*
*
*SITE Station Name      Session Start      Session Stop
Ant Ht   HtCod Ant N   Ant E   Receiver Type      Vers
SwVer Receiver SN      Antenna Type      Dome   Antenna
SN
  BPTK                2015 001 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GX1220
2.62/6.112          0.00 1700158          LEIAX1202
NONE                mstinf: bptk2120.15o?
.
  DELS DELS                2015 001 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
2.62/6.112          0.00 1700057          LEIAR10
NONE 13194044      mstinf: dels2120.15o?
.
  GRWH GRWH                2015 001 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
1.00/4.005          0.00 1700145          LEIAR10
NONE 13194044      mstinf: grwh2120.15o?
.
  KLAT                2015 001 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
3.03/6.214          0.00 1703202          LEIAR10
NONE 13110041      mstinf: klat2120.15o?
.
  PLAW PLAW                2015 001 0 0 0 2015 158 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
3.00                3.00 1701579          LEIAR10
NONE                mstinf: plaw1580.15o
```

FILE sites.default

```

all_sites expt xstinfo
bptk_gps 1114 flocalrx xstinfo
dels_gps 1114 flocalrx xstinfo
klat_gps 1114 flocalrx xstinfo
grwh_gps 1114 flocalrx xstinfo
plaw_gps 1114 flocalrx xstinfo
# templates for removing sites
ttth_gps expt xsite:1999_256-1999_278 glreps
xsite:1999_300-1999_365

```

FILE process.default

```

.
.
.

##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time
for processing
set sint = '30'
set nepc = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = "-u"
set stinf_nosort = "-nosort"
set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or
apr file
set use_rxc = "N"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most
OS use 1 Kb blocks)
set minxf = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data
for day - default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk .apr file
set aprf = itr08.apr
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts)
options. (Don't forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d,
e, g, h, i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all"
set dopts = ( c )
set copts = ( x k ao )

```

```

set aopts = ''
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would
like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco)

```

FILE sittbl.

```

# SITE                FIX      --COORD.CONSTR.--
    << default for regional stations >>
ALL                   NNN      100.  100.  100.
    << IGS core stations >>
BPTK BPTK_GPS        NNN      0.050 0.050 0.05

```

Lampiran 2 Pengolahan GLOBK

FILE globk_comb.cmd

```

* GLOBK command file to generate daily time series and to
combine
* h-files over 2 to 30 days.

* For combination, set COMB as a globk command-line option
to
* invoke the saving of the output h-file

* Last edited by rwk 130701

* << column 1 must be blank if not comment >>

* This group of commands must appear before any others:
srt_file @.srt
srt_dir +1
eq_file ~/gg/tables/itrf08_comb.eq
# Optionally add a second eq_file for analysis-specific
renames
* End commands that must appear first

* ITRF2008 augmented by now-defunct sites and recent IGS
solutions;
# matched to itrf08_comb.eq
apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
# Optionally add additional apr files for other sites
x ../tables/apr_file regional.apr

* Set maximum chi2, prefit coordinate difference (m), and
rotation (mas) for an h-file to be used;

```

```

max_chii 13 3 100
# increase tolerances to include all files for diagnostics
x max_chi 100 5.0 20000

# Not necessary unless combining h-files with different a
piori EOP
in_pmu ../tables/pmu.usno

* Invoke glorg
org_cmd glorg_comb.cmd

* Print file options
crt_opt NOPR
prt_opt NOPR GDLF CMDS MIDP BLEN UTM
org_opt PSUM CMDS GDLF MIDP FIXA RNRP BLEN UTM
# sh_glred will name the glorg print files
x org_out globk_comb.org

* Coordinate parameters to be estimated and a priori
constraints
apr_neu all 10 10 10 0 0 0

* Rotation parameters to be estimated and a priori
constraints
apr_wob 10 10 0 0
apr_ut1 10 0
# If combining with global h-files, allow EOPS to change
# between days
x mar_wob 3650 3650 365 365
x mar_ut1 365 365
# EOP tight if translation-only stabilization in glorg
x apr_wob .25 .25 .1 .1
x apr ut1 .25 .1

* Write out a combined H-file
# Can substitute your analysis name for 'COMB' in the file
name below
COMB out_glb H-----_COMB.GLX

* Optionally put a uselist and/or sig_neu and mar_neu
reweight in a source file
x source ../tables/uselist
x source ../tables/daily_reweights

* Turn off quake log estimates if in the eq_file
free_log -1

* Remove scratch files for repeatability runs
del_scrs yes

```

```

* Correct the pole tide when not compatible with GAMIT
  app_ptid all
* If orbits free in GAMIT (RELAX) and you want them fixed,
  use:
x apr_svs all F F F F F FR
* but if you are combining with globk h-files, better to
  leave them
* on but, if the models are incompatible, turn off
  radiation-pressure parameters,
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 0R

* When using MIT GLX files which have satellite phase center
  positions
* estimated use:
  apr_svan all F F F ! Fix antenna offset to IGS
  apriori values.

```

FILE globk_vel.cmd

```

* GLOBK COMMAND FILE
*
* This command file can be used to estimate a velocity field
* for any set of input binary h-files: gamit solutions,
  sinex
* files, VLBI/SLR solutions etc.
*
* The network resulting from running GLOBK is a free-net
  wiht
* positions and velocities estimated at all sites. The
  terrestrial
* reference frame is imposed by running GLORG (called by
  GLOBK
* automatically if the command " org_cmd <file>" is
  uncommented.
*
* the sites to be used in the reference frame stabilization
  are
* defined in the glorg command file.
*
* P. Tregoning (tregoning@geoazur.unice.fr)
* March 2002

srt_dir 1
eq_file ../tables/eqrename.file
com_file @.com

```

```

srt_file @.bin
sol_file @.sol

# make_svs ../tables/svs_mar.apr:Z

apr_file ../tables/itr08.apr
svs_mar ../tables/svs_marf.dat

in_pmu ../tables/pmu.bull_a

# allow for a translation of the origin (not recommended)
# apr_tran 10 10 10 1 1 1

# apriori uncertainties for site positions and velocities
(in m and m/yr)
apr_neu all      10  10 10  1 1 1

# allow some stochastic noise on the site coordinates and
velocities
# mar_neu all      1.e-6 1.e-6 0.0365  0 0 0

max_chii 10.0 100. 20.

# correct for pole tide if needed
app_ptid all

apr_wob  100 100  10 10 0 0  0 0 0 0
apr_ut1  0.000001  100 0 0 0  0
mar_wob 365 365  365 365 0 0 0 0
mar_ut1 365 365 0 0 0 0

prt_opt CMDS
org_opt CMDS PSUM ERAS VSUM

# list here the name of the glorg command file in which the
sites to
# be used for the reference frame stabilization are listed.
org_cmd glorg_vel.cmd

```

FILE glorg_comb.cmd

```

* Glorg command file for daily repeatabilities or
combinations
* Last edited by rwk 130701

* Parameters to be estimated
pos_org  xtran ytran ztran xrot yrot zrot

```

```

# or if translation-only
x pos_org xtran ytran ztran

* Downweight of height relatif to horizontal (default is 10)
# Heavy downweight if reference frame robust and heights
suspect
x cnd_hgt 1000

* Controls for removing sites from the stabilization
# Vary these to make the stabilization more robust or more
precise
stab_it 4 0.8 3.0
x stab_it 4 0.5 4.0

* A priori coordinates
# ITRF2008 may be replaced by an apr file from a priori
velocity solution
apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
x apr_file ../../tables/regional.apr

* List of stabilization sites
# This should match the well-determined sites in the
apr_file
stab_site clear
stab_site bptk dels grwh klat plaw
x source ../../tables/regional_stab_site

```

FILE glorg_vel.cmd

```

*Glorg command file for velocity solution
*
# apr site file(s)
# ITRF96 for global stabilization
#NNR frame
apr_file ../tables/itrf08_comb.apr

# Define the stabilization frame
source ../tables/stab_site.global

# Translation and and rotation (moderate to large spatial
scale, at least 6 well-distributed stations)
# Use SCALE for <OPTION> to estimate scale
pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
rate_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
SCALE pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot scale
SCALE rate_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot scale

# Position only (small network, EOP constrained in globk)
x pos_org xtran ytran ztran

```

```
x rate_org xtran ytran ztran

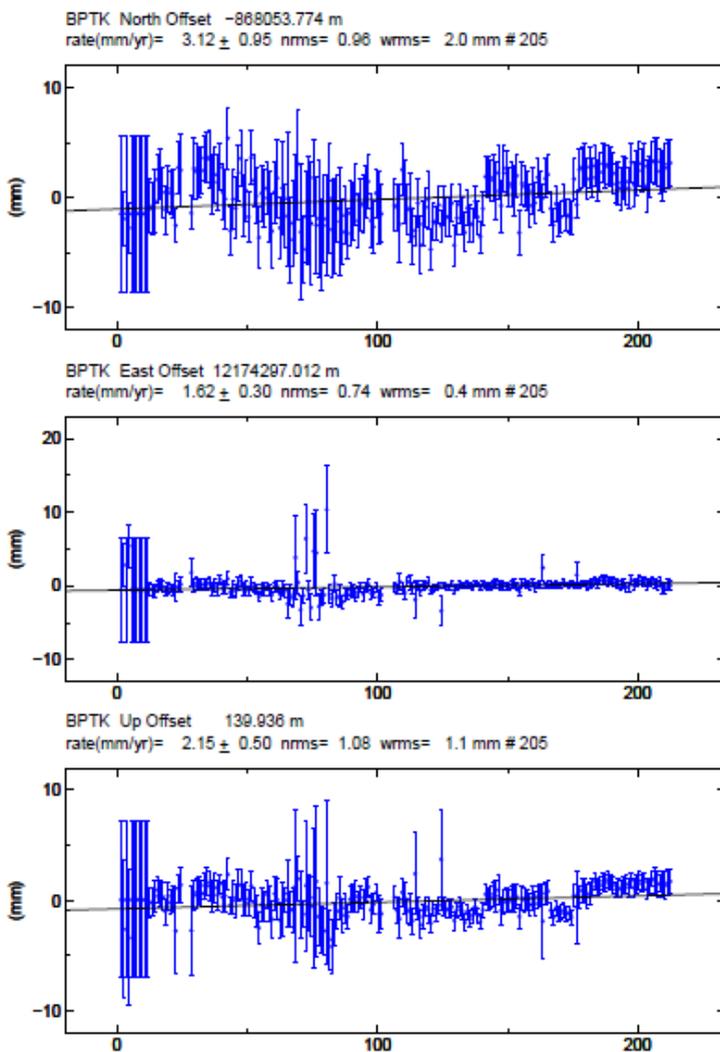
# Natural downweight of heights is 10 in variance (3 in
sigma)
  cnd_hgtv 10 10 3. 3.
# Downweight heights 20-1000 if necessary (but need more
stations for redundancy)
x cnd_hgtv 100 100 3. 3.

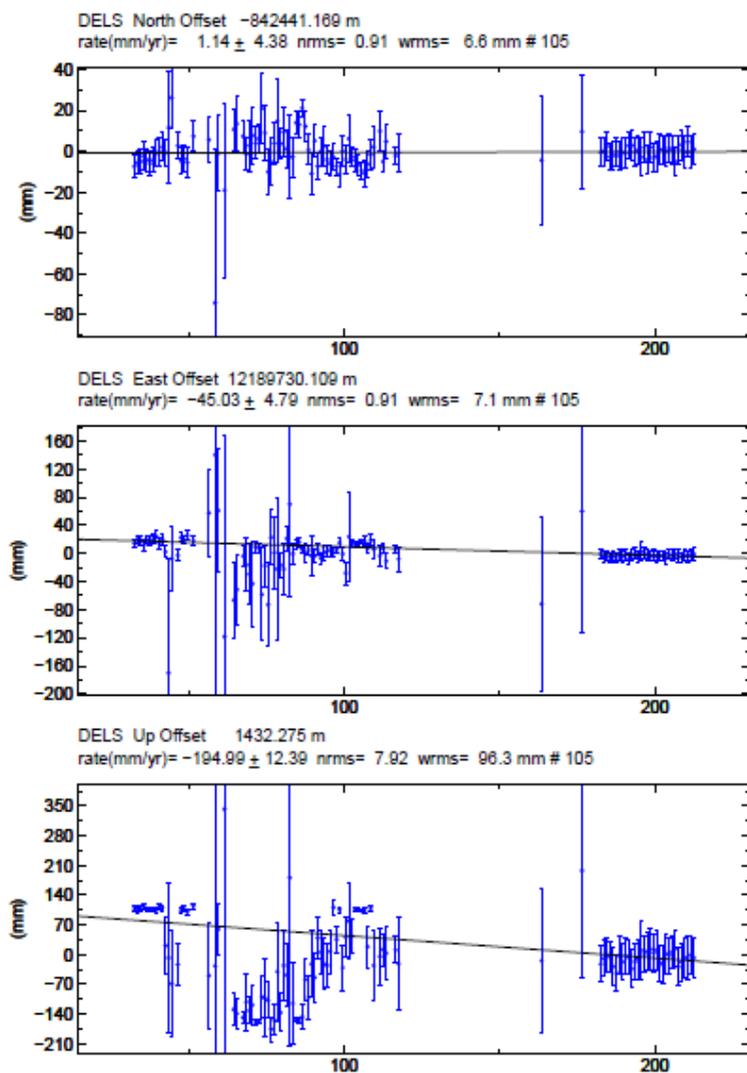
# Set n-sigma for keeping station between 2.5 and 4.0
  stab_it 4 0.8 3.0

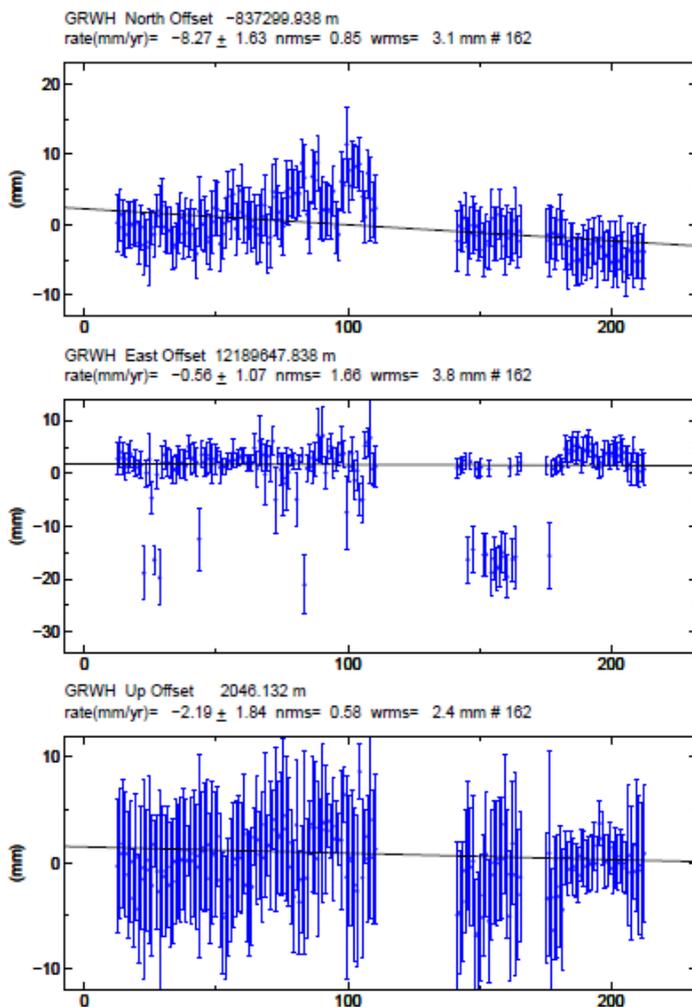
# List of stations for stabilization (default is 'all')
  stab_site clear
  stab_site dels grwh klat plaw
  source ../tables/itrf08_comb.apr
# substitute or augment a regional list for spatial
filtering
  source ../tables/itrf08_comb.apr
```

Lampiran 3 Time Series Hasil Pengolahan GAMIT

Time Series Stasiun BPTK

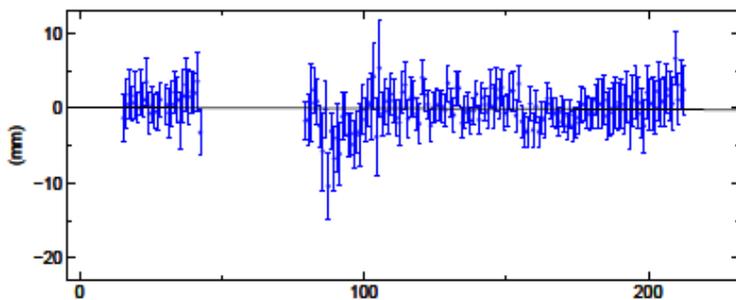


Time Series Stasiun DELS

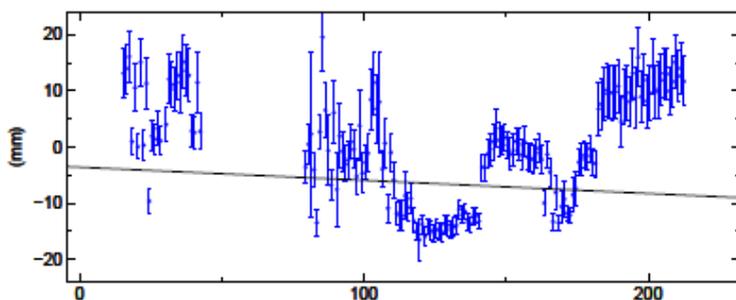
Time Series Stasiun GRWH

Time Series Stasiun KLAT

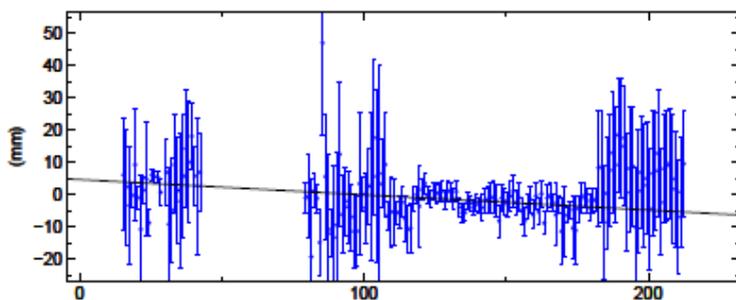
KLAT North Offset -838502.581 m
rate(mm/yr)= -0.50 ± 1.46 nrms= 0.73 wrms= 1.9 mm # 161



KLAT East Offset 12187209.128 m
rate(mm/yr)= -8.54 ± 1.71 nrms= 3.24 wrms= 8.4 mm # 161

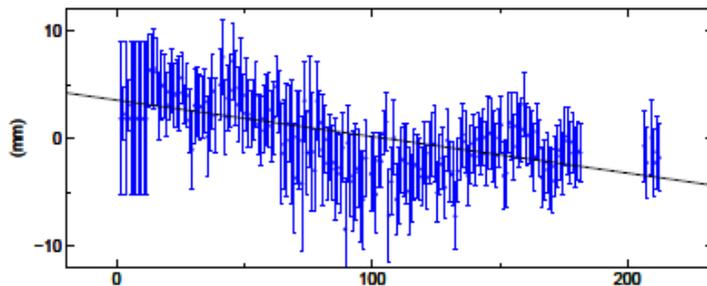


KLAT Up Offset 1924.621 m
rate(mm/yr)= -17.33 ± 2.69 nrms= 0.75 wrms= 3.5 mm # 161

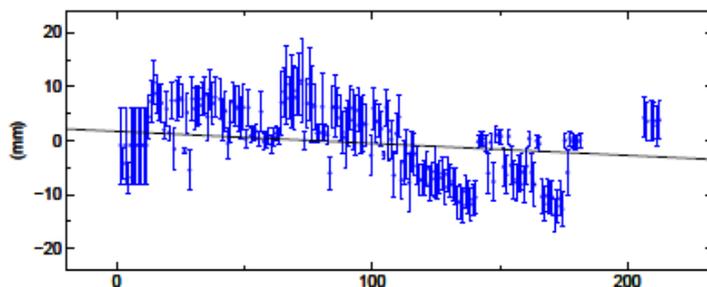


Time Series Stasiun PLAW

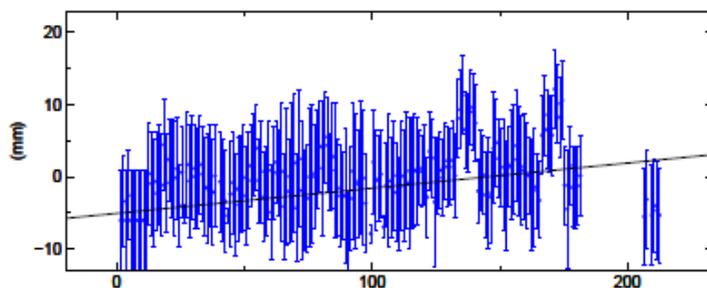
PLAW North Offset -844676.514 m
rate(mm/yr)= -12.34 ± 1.52 nrms= 0.73 wrms= 2.3 mm # 185



PLAW East Offset 12185497.330 m
rate(mm/yr)= -8.13 ± 1.11 nrms= 1.70 wrms= 3.9 mm # 185



PLAW Up Offset 1299.145 m
rate(mm/yr)= 12.75 ± 2.66 nrms= 0.82 wrms= 4.2 mm # 185



Lampiran 4 Script Plot Pergeseran

```

grdsample merapi2.grd -Gplot.grd -R110.4/110.5/-7.6/-7.51 -
fg
grdgradient plot.grd -Gploti.grd -M -Ne0.25 -A0/270 -V
makecpt -Chaxby -T0/4000/5 -Z > merapi.cpt
grdimage plot.grd -Iploti.grd -JM20c -R -Cmerapi.cpt -K -
Y1.5 -X5> mei.ps
psvelo -R -JM -Sr.1/0.95/10 -W1/0/0/255 -P -O -K -L+jl -V
scale >> mei.ps
psbasemap -JM -R -K -O -Bx0.01666667 -By0.01666667 -
Lf110.486/-7.5953/10/2+1+jr -Tf110.49/-7.521/0.7i/2 --
LABEL_FONT_SIZE=10p --HEADER_FONT_SIZE=12p --
HEADER_OFFSET=0.05i -B+t"Pergeseran Bulan Mei 2015" --
FONT_TITLE=16p >> mei.ps
psscale -Cmerapi.cpt -D0.3/0.1/2.5/0.4 -B4000:meter: -O -K -
-LABEL_FONT_SIZE=13p --LABEL_OFFSET=0.1p -Y1.8 >> mei.ps
echo 110.46469 -7.56778 0 0 0
0 0 DELS > kecepatan
echo 110.45151 -7.52159 -31.21 -9.00 1.66
1.44 0.106 GRWH >> kecepatan
echo 110.43233 -7.53240 12.57 2.91 0.48
0.40 -0.064 KLAT >> kecepatan
echo 110.43147 -7.58786 -8.52 -3.32 0.71
0.52 -0.039 PLAW >> kecepatan
psxy -R -JM -O -H0 -Ss0.2 -Gblack -W1 -K kecepatan >> mei.ps
psvelo -R -JM -Sr.1/0.95/13 -W1/0/0/255 -P -O-L -V
kecepatan>> mei.ps
ps2raster mei.ps -A -P -TG

```

Lampiran 5 Script GMT Plot Regangan

```

grdsample merapi2.grd -Gplot.grd -R110.4/110.5/-7.6/-7.51 -
fg
grdgradient plot.grd -Gploti.grd -M -Ne0.25 -A0/270 -V
makecpt -Chaxby -T0/4000/5 -Z > merapi.cpt
grdimage plot.grd -Iploti.grd -JM20c -R -Cmerapi.cpt -K -
Y1.5 -X5> merapi.ps
psbasemap -JM -R -K -O -Bx0.01666667 -By0.01666667 -
Lf110.486/-7.5953/10/2+1+jr -Tf110.49/-7.521/0.7i/2 --
LABEL_FONT_SIZE=10p --HEADER_FONT_SIZE=12p --
HEADER_OFFSET=0.05i -B+t"Bulan Juni 2015" --
FONT_TITLE=16p >> merapi.ps
psscale -Cmerapi.cpt -D0.3/0.1/2.5/0.4 -B4000:meter: -O -K -
-LABEL_FONT_SIZE=13p --LABEL_OFFSET=0.1p -Y1.8 >> merapi.ps
echo 110.46469 -7.56778 0 0 0 0 DELS > kecepatan
echo 110.45151 -7.52159 0 0 0 0 GRWH >> kecepatan

```

```
echo 110.43233 -7.53240 0 0 0 0 0 KLAT >> kecepatan
echo 110.43147 -7.58786 0 0 0 0 0 PLAW >> kecepatan

psxy -R -JM -W5.0 -O -K kecepatan -L -Ss.1 >> merapi.ps
psvelo -R -JM -Sr.1/0.95/13 -W1/0/0/255 -P -O -L -V -K
kecepatan >> merapi.ps

psvelo -R -JM -Sx.3/0.95/13 -W1/0/0/255 -P -O -L -V plot >>
merapi.ps
ps2raster merapi.ps -A -P -TG
```

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pergeseran titik pengamatan GPS selama Januari hingga Juli 2015 berada pada rentang berikut :
 - DELS : 5.89 mm hingga 28.78 mm perbulan arah pergeseran pada Januari dan Februari menuju kearah selatan-barat kemudian bulan Maret hingga Juli berubah arah menuju barat-utara menuju puncak Gunung.
 - GRWH : 4.24 mm hingga 37.81 mm perbulan pada Januari dan Februari mengarah pada arah selatan-barat. Pada bulan Maret arah barat. Pada bulan April hingga Juni titik GRWH mengarah ke selatan-barat kembali. Kemudian berubah arah menuju selatan pada bulan Juli
 - KLAT : 7.57 mm hingga 37.00 mm perbulan arah pergeseran menuju cenderung kearah timur relatif tetap selama 7 bulan.
 - PLAW : 8.23 mm hingga 17.21 mm perbulan bergeser pada arah yang sama pada 2 bulan pertama yaitu Januari dan Februari kemudian bergeser kearah yang berbeda-beda pada bulan berikutnya
2. Arah pegeseran pada bulan Januari dan Februari, Mei dan Juni memiliki arah dan pola yang sama. Sedangkan pada bulan Maret, April dan Juli cenderung berubah-ubah.
3. Selama Januari hingga Juli 2015 Gunung Merapi mengalami inflasi dengan ekstensi sebesar 1.36 hingga 6.36 μ -strain
4. Seismisitas dan regangan yang terjadi pada tubuh Gunung Merapi memiliki korelasi positif selama Januari hingga Juli 2015 dengan $R= 0.8809$.

5.2 **Saran**

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk penelitian ke depannya adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian analisa deformasi pada Gunung Merapi dengan menggunakan *software* pengolah data GPS yang berbeda untuk membandingkan hasil penelitian ini.
2. Melakukan analisa vektor pergeseran dan regangan dengan menggunakan data harian pengamatan GPS (DOY) yang lebih lama selama 3 tahun atau lebih sehingga didapat hubungan seismistas dan regangan yang lebih baik.
3. Melakukan penelitian deformasi baik untuk regangan dan pergeseran pada berbagai status Gunung Merapi.
4. Melakukan perhitungan akumulasi energi seismistas yang terjadi pada Gunung Merapi.
5. Perlu dilakukan pemodelan deformasi sehingga dapat diketahui lokasi sumber tekanan magma sehingga dapat diketahui penyebab perbedaan pola, arah dan besar pergeseran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H.Z., 2009. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4 Desember.
- Andreas, H., 2001. *Analisa Deformasi Gunung Api Papandayan Memanfaatkan Parameter Baseline Hasil survei GPS*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- Andreas, H., 2007. *Karakteristik deformasi strain and stress*. Bandung: Prodi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- Andriyani, G., 2012. *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011*. Semarang: Teknik Geodesi Universitas Diponeoro.
- Anjasmara, I.M., 2005. *Hitung Kerangka Geodesi*. Surabaya: ITS.
- BIG, 2014. *Peta Dinding*. <http://www.bakosurtanal.go.id/assets/News/peta_dinding>. Diakses pada tanggal 25 Desember 2015.
- Borgia, A., Aubert, M., Merle, O. & Vries, B.v.W.d., 2010. *What is a volcano?* The Geological Society of America.
- BPPTKG, 2015. *Seismisitas Merapi Januari - Juli 2015*.
- Chrzanowski A, C.Y.Q.S.J., 1986. *Geometrical analysis of deformation surveys*. MIT, Boston: Proceedings MIT (Deform Measurement Workshop).
- Dzurisin, D., 2007. *Volcano Deformation Geodetic Monitoring Techniques*. Chichester: Springer.
- El-Rabbany, A., 2002. *Introduction to GPS, The Global Positioning System*. 2nd ed. Boston: Artech House. Inc.
- Gopi, S., 2005. *Global Position System : Principles and Applications*. New Delhi: MCGraw-Hill.
- Hackl, M., Malservisi, R. & Wdowinski, S., 2009. *Strain rate patterns from dense GPS network*.

- Hackl, M., Malservisi, & Wdowinski, , 2009. *Strain rate patterns from dense GPS networks*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.
- Herring, T.A., 2010. *GAMIT Reference Manual GPS Analysis at MIT Release 10.4*. San Diego: Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Jamel, I., 2012. *Analisis Deformasi Gunung berapi Papandayan Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002 - 2011*. Bandung: Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- King, R.W., Herring, T.A & McClusky, S.C., 2015. *GAMIT Reference Manual, Release 10.6*. Department of Earth, Atmospheric, and Palnetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Kristanto, A.S., 1991. *Structural Analysis of The Sumatran Fault Zone Around The Semangka Bay, Lampung South Sumatera*. Proa IAGI20th Annual Convention.
- Kriswati, E., Kuncoro, H. & Meilano, I., 2014. *Low rate of Sinabung deformation inferred by GPS measurement*. 4 th International Symposium on Earthquake and Disaster Mitigation 2014 (ISED 2014).
- Kuang, S., 1996. *Geodetic Network Analysis & Optimal Design*. Michigan: Ann Arbor Press, Inc.
- Ma'ruf, B., 2001. *Analisis Deformasi Gunung api Merapi Dengan Metode Geodetik-GPS*. Bandung: Tesis Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- Muafiry, I.N., 2015. *Analisis Deformasi Akibat Gempa Bumi Kepulauan Mentawai Menggunakan Data Pengamatan GPS kontinu (Studi Kasus: Gempa Mentawai 20080*. Tugas Akhir Teknik Geomatika ITS.
- Nandi, 2006. *Vulkanisme*. Jakarta: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nugroho, H., 2000. *Prediksi Aliran Lahar Gunung Api Menggunakan Pemodelan Spasial Dinamis Studi Kasus*

- Letusan Gunung Galunggung Tahun 1982*. Bandung: Tesis Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika.
- Purnomo, B.J., 2014. *Analisa Deformasi Kawasan Vulkanik Aktif dengan Menggunakan Data GPS September 2013 - Maret 2014 (Studi Kasus : Gunung Merapi, DIY)*. Surabaya: Teknik Geomatika ITS.
- Purwaningsih, S.Y. et al., 2011. *Fisika I*. Surabaya: ITS.
- Rusmen, M.R., 2012. *Analisis Deformasi Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Data*. Jurnal Geofisika, 13(2), pp.42-51.
- Saputra, R., Awaluddin, & Janu, , 2015. *Perhitungan Velocity Rate CORS GNNS di Wilayah Pantai Utara*. Jurnal Geodesi UNDIP.
- Sari, W.P., 2014. *Analisis Variasi Temporal Regangan di Gunung Sinabung Periode 2011-2013*. Bandung: Tugas Akhir Teknik Geodesi ITB.
- Segall, P., 2010. *Earthquake and Volcano Deformation*. New Jersey: Princeton University Press.
- Setyawan, W.B., 2006. *Karakteristik Erupsi Gunung Merapi Periode April – Juli 2006*. Makalah diajukan untuk PIT HAGI 2006 di Semarang, 13-15 Nopember 2006.
- SOPAC, 2014. *The Scripps Orbit and Permanent Array Center*. <http://sopac.ucsd.edu/nearbySites.html>. Diakses 20 December 2015.
- Sudrajat, A., 2014. *Analisa Pergerakan Lempeng di Daerah Pantai Barat Pulau Sumatera*. Yogyakarta: Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada.
- Suganda, O.K., Sarsito, D.A., Hasanuddin, Z.A. & Kusnandar, A., 2007. *Determinasi sumber tekanan dan analisis regangan utama*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol 2. 73-86.
- Sulasdi, W.N., 1995. *Makna Kerangka Referensi dalam Analisis Deformasi*. Yogyakarta: Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika.

- Sule, 2007. *The Utilization Of Resistivity And Gps Methods In Landslide Monitoring: Case Study At Panawangan Area – Ciamis, Indonesia*. The 32nd HAGI, The 36th IAGI, The 29th IATMI Annual Conference and Exhibition.
- Susilo, A.N. & Rudiarto, I., 2014. *Analisa Tingkat Resiko Erupsi Gunung Merapi Terhadap Permukiman di Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten*. Jurnal Teknik PWK.
- Syahputra, R.A., 2014. *Pemodelan Deformasi Dari Data GPS Untuk Penentuan Lokasi Pusat Tekanan Magma Kawasan Vulkanik Aktif Menggunakan Model Mogi (Studi Kasus: Gunung Merapi, Diy)*. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Geomatika ITS.
- Syahra, V., Maryanto, S. & Triastuty, H., 2015. *Analisis Spektral Dan Distribusi Hiposenter Gempa Vulkanik A Dan Vulkanik B Gunungapi Ijen Jawa Timur*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Tjetjep, W., 2002. *Dari Gunung Api Hingga Otonomi Daerah*. Yayasan media Bhakti Tambang.
- VSI, 2008. *Pengenalan Gunung Api*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).
- Widjajanti, N., 1997. *Analisis Deformasi – Status Geometrik Dua Dimensi dengan*. Bandung: Tesis Program Pasca Sarjana.
- Witton, P. & Mark, E., 2003. *Indonesia*. Lonely Planet Publications, Ltd.
- Wolf, P.R. & Ghilani, C.D., 1997. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. New Jersey: Hoboken: John Wiley and Sons Inc.
- Yunazwardi, M., 2010. *Analisa Deformasi Gunungapi Talang Berdasarkan Data Pengamatan GPS tahun 2005-2009*.
- Yusuf, M.A., Yuwono, B.D. & Prasetyo, Y., 2015. *Pengamatan GPS untuk Monitoring Deformasi Bendungan UNDIP*. Semarang: Jurnal Geodesi Undip.

BIODATA PENULIS



Joko Purnomo lahir di Lumajang, pada tanggal 02 Desember 1995. Anak kelima dari tujuh bersaudara dari pasangan Surono dan Parinah. Pendidikan formal yang ditempuhnya antara lain SDN Randuagung 01, SMPN 02 Randuagung dan SMA Negeri 01 Lumajang. Tahun 2012, penulis yang akrab dipanggil Joko ini diterima pada Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS. Riwayat organisasi penulis adalah sebagai *staff* Departement Riset dan Teknologi BEM FTSP-ITS. Pada tahun 2014 penulis menjadi Staff Departement Sosial Jurusan Teknik Geomatika ITS yang berada di bawah organisasi induk mahasiswa yakni Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika ITS (HIMAGE-ITS). Selama Kuliah di Teknik Geomatika ITS penulis pernah membuat beberapa karya tulis diantaranya PKM (Program Kreatifitas Mahasiswa) yaitu tentang pengaruh game online terhadap perilaku anak-anak di daerah Keputih, Surabaya dan karya tulis lain berjudul “Penentuan ZPPI (Zona Potensi Penangkapan Ikan) Menggunakan Data Satelit Altimetri Dalam Upaya Peningkatan Hasil Tangkapan Ikan Pada Masa Peralihan I Dan II di Indonesia” yang berhasil menjadi karya Favorit pada SIA (*Scientist In Action*) yang diselenggarakan FMIPA ITS.