



TUGAS AKHIR - RG 141536

# PEMODELAN DEFORMASI GUNUNG MERAPI DENGAN MODEL YOKOYAMA MENGGUNAKAN DATA GPS

YUANDHIKA GALIH WISMAYA  
NRP 3512 100 002

Dosen Pembimbing  
Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil., Ph.D

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



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

# MODELLING DEFORMATION OF MOUNT MERAPI WITH YOKOYAMA MODEL USING GPS DATA

YUANDHIKA GALIH WISMAYA  
NRP 3512 100 002

Supervisor  
Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil., Ph.D

Geomatics Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

PEMODELAN DEFORMASI GUNUNG MERAPI  
DENGAN MODEL YOKOYAMA MENGGUNAKAN  
DATA GPS

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

**YUANDHIKA GALIH WISMAYA**  
NRP. 3512 100 002

Disetujui oleh Pembimbing Tugas

Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phd., Ph.D.  
NIP. 19781231 200212 2 001



**SURABAYA, JULI 2016**

# PEMODELAN DEFORMASI GUNUNG MERAPI DENGAN MODEL YOKOYAMA MENGGUNAKAN DATA GPS

Nama Mahasiswa : Yuandhika Galih Wismaya  
NRP : 3512 100 002  
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS  
Pembimbing : 1. Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil., Ph.D

## ABSTRAK

*Indonesia adalah negara kepulauan yang secara tektonik terletak diantara pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Australia. Interaksi dari ketiga lempeng tersebut menghasilkan deretan pegunungan api aktif di Indonesia. Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api paling aktif di Indonesia yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Gunung Merapi memiliki periode letusan yang relatif cepat yaitu sekitar 2-7 tahun sekali. Cepatnya aktivitas vulkanik tersebut dapat memicu adanya deformasi terutama pada tubuh Gunung Merapi.*

*Deformasi yang terjadi pada permukaan Gunung Merapi dapat menjadi indikasi akan adanya letusan di masa mendatang, untuk itu perlu dilakukan pemantauan dan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengamati deformasi adalah metode GPS. Karakteristik deformasi yang dikaji meliputi posisi, arah, dan besar pergeseran. Selain deformasi juga dilakukan penentuan kedalaman dari sumber tekanan menggunakan Model Yokoyama.*

*Dari analisa hasil pengolahan data GPS yang diamati selama 6 bulan, yaitu bulan Februari hingga Juli 2015, didapatkan nilai pergeseran horisontal sebesar 0,01822 m dan vertikal sebesar -0,06924 m untuk stasiun DELS, horisontal sebesar 0,030508 m dan vertikal sebesar -0,00875 m untuk*

*stasiun GRWH, horisontal sebesar 0,025822 m dan vertikal sebesar 0,07725 m untuk stasiun KLAT. Sedangkan posisi tekanan magma dari Model Yokoyama adalah  $7^{\circ}31'42,96''$  LS,  $110^{\circ}26'21,4''$ BT dengan kedalaman relatif 2100 m dari puncak Merapi. Dalam penelitian ini tekanan magma dikontrol oleh pusat tekanan yang berasal dari kedalaman dangkal dalam tubuh Gunung Merapi.*

**Kata Kunci: Deformasi, GPS, Model Yokoyama**

## MODELING DEFORMATION OF MOUNT MERAPI WITH YOKOYAMA MODEL USING GPS DATA

Name : Yuandhika Galih Wismaya  
NRP : 3512 100 002  
Departement : Teknik Geomatika FTSP – ITS  
Supervisor : 1. Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil., Ph.D

### **ABSTRACT**

*Indonesian archipelago which is located between the confluence of three tectonic plates that is the Eurasian plate, the Pacific plate, and the Australian plate. The interaction of these plates constructs the major volcanoes in Indonesia. Mount Merapi is one of the most active volcanoes in Indonesia which is located in the provinces of Yogyakarta and Central Java. The Eruption of Mount Merapi have a rapid period which is around 2-7 years. The high volcanic activities on Mount Merapi could trigger the presence of deformations especially in the body of the mountain itself.*

*Deformation that occurs on the surface of the volcano can be assumed as an indication of eruption in the future, therefore deformation in the volcanic area must be observed and one of the methods that can be used to observe the deformation is GPS survey. The characteristic of deformation that will be examined includes position, direction, and magnitude of the shift. After the value of deformation is well known, the next step is to determine source of the pressure chamber using Yokoyama model.*

*From the analysis of the results form GPS data processing between February until July 2015, the value of horizontal movement is about 0.01822 m and vertical movement is about -0.06924 m for DELS station , horizontal movement is about 0.030508 m and vertical movement is about -0.00875 m for GRWH station, horizontal movement is about 0.025822 m and vertical movement is about 0.07725 m for KLAT station. While*

*the position of the pressure Chamber is 7°31'42.96" S 110°26'21.4" E with the relative depth is 2100 m from the peak of Merapi. In this research of the pressure Chamber is controlled by the center of pressure that comes from the shallow depth in the body of Mount Merapi.*

**Keyword: Deformation, GPS, Yokoyama Model**

## 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 .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Permasalahan .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Gunung Api .....	5
2.2 Gunung Merapi .....	7
2.3 Deformasi .....	9
2.3.1 Deformasi Gunung Api .....	12
2.4 <i>Global Positioning System (GPS)</i> .....	13
2.4.1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS .....	14
2.4.2 Kesalahan dan Bias pada Pengukuran GPS .....	16
2.5 Pemantauan Deformasi Gunung Api Menggunakan <i>GPS</i> .....	17
2.6 Uji Hipotesis .....	19
2.7 Analisa Regresi .....	20
2.8 Penentuan Lokasi Sumber Tekanan (Model Yokoyama) .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	29
3.1 Lokasi Penelitian .....	29
3.2 Data dan Peralatan .....	30
3.2.1 Data .....	30
3.2.2 Peralatan .....	30



3.3	Metodologi Penelitian.....	32
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Hasil Pengolahan Data GPS .....	43
4.2	Menghilangkan <i>Outliers</i> .....	44
4.3	Hasil Pengolahan Vektor Pergeseran.....	45
4.4	Penentuan Posisi Tekanan Magma .....	48
4.5	Analisa Deformasi .....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		57
5. 1.	Kesimpulan.....	57
5. 2.	Saran .....	57
DAFTAR PUSTAKA.....		59
LAMPIRAN .....		63
BIODATA PENULIS.....		77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembentukan Gunung Api di Dunia.....	6
Gambar 2.2 Citra Topografi Gunung Merapi, Merbabu, Telomoyo, dan Ungaran .....	9
Gambar 2.3 Komponen Tegangan.....	10
Gambar 2.4 Komponen Regangan .....	11
Gambar 2.5 Bentuk Rotasi dari Materi .....	11
Gambar 2.6 Deformasi pada Gunung Api Aktif .....	13
Gambar 2.7 Prinsip Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Absolut.....	15
Gambar 2.8 Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Diferensial..	15
Gambar 2.9 Penentuan Deformasi Gunung Api Sistem GPS.....	18
Gambar 2.10 Grafik regresi untuk nilai $b$ positif (a) dan grafik regresi untuk nilai $b$ negatif (b) .....	21
Gambar 2.11 Model Yokoyama Untuk Penentuan Sumber Tekanan Magma .....	23
Gambar 2.12 Pergeseran Permukaan yang Bersifat Radial pada <i>Sphere</i> yang Ditunjukkan oleh Vektor 0,01 (hitam), 0,4 (merah), 0,6 (hijau).....	24
Gambar 2.13 Skema Perubahan Jarak antara Titik dengan Pusat Tekanan.....	26
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian .....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.3 Tahap Pengolahan Data.....	35
Gambar 3.4 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data .....	37
Gambar 4.1 Contoh <i>plotting</i> pbase_2015.DELS .....	43
Gambar 4.2 Contoh <i>plotting time series</i> stasiun DELS yang belum dihilangkan <i>outliers</i> .....	44

Gambar 4.3 Contoh <i>plotting time series</i> stasiun DELS yang sudah dihilangkan <i>outliers</i> .....	45
Gambar 4.4 Arah Pergeseran dalam Kuadran .....	46
Gambar 4.5 Arah Pergeseran Horisontal dan Posisi Sumber Tekanan.....	50
Gambar 4.6 Arah Pergeseran Vertikal dan Posisi Sumber Tekanan .....	50
Gambar 4.7 Posisi Sumber Tekanan secara 3D.....	51
Gambar 4.8 Perubahan Tinggi Stasiun GPS DELS Bulan Februari-Juli 2015 .....	53
Gambar 4.9 Perubahan Tinggi Stasiun GPS GRWH Bulan Februari-Juli 2015.....	53
Gambar 4.10 Perubahan Tinggi Stasiun GPS KLAT Bulan Februari-Juli 2015.....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Metode <i>Grid Search</i> Model Yokoyama .....	26
Tabel 3.1 Lokasi Data Pengamatan GPS.....	30
Tabel 4.1 Pergeseran stasiun pengamatan pada titik ikat BPTK	45
Tabel 4.2 Hasil Uji Statistik Vektor Pergeseran Horisontal Pengolahan Titik Ikat BPTK selama 6 bulan.....	47
Tabel 4.3 Nilai Pergeseran Horisontal Pengolahan Titik Ikat BPTK selama 6 bulan .....	48
Tabel 4.4 Pencarian Sumber Magma dengan Konsep Regresi....	49
Tabel 4.5 Hasil Prediksi Sumber Tekanan Magma Gunung Merapi menggunakan Model Yokoyama.....	49
Tabel 4.6 Perubahan Nilai <i>Baseline</i> Titik Ikat BPTK .....	52

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara kepulauan yang secara tektonik terletak diantara pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, serta lempeng Australia. Interaksi dari ketiga lempeng tersebut menghasilkan deretan pegunungan api (*volcanic arc*) yang membujur dari selatan hingga timur Indonesia. Terhitung sebanyak 129 buah gunung api aktif berada di Indonesia (BPPTKG, 2016). Manifestasi dari keberadaan gunung api tersebut tentunya memiliki dampak secara langsung terhadap lingkungan baik itu positif atau negatif, salah satu dampak negatifnya adalah bahaya letusan gunung api. Letusan gunung api merupakan proses naiknya material magma dari dalam bumi menuju permukaan bumi baik dikeluarkan secara eksplosif maupun efusif (Asriningrum, et al., 2004). Akibat yang ditimbulkan dari peristiwa letusan gunung api adalah kerusakan baik berupa material maupun non material yaitu rusaknya pemukiman, harta benda, hingga korban jiwa. Oleh karena itu diperlukan suatu langkah preventif untuk meminimalkan dampak dari bencana gunung api sehingga efek bencana yang dihasilkan tidaklah besar, salah satunya adalah pengamatan terhadap aktivitas suatu gunung api.

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api yang menunjukkan gejala vulkanisme paling aktif di dunia (Asriningrum, et al., 2004), hal tersebut dibuktikan dengan periode letusan yang pendek dari Gunung Merapi yaitu antara 2-7 tahun. Dengan pendeknya periode letusan dari Gunung Merapi menunjukkan tingginya aktivitas yang terjadi pada dapur magma, hal ini berimplikasi terhadap perubahan bentuk berupa mengembang (*inflation*) dan mengempisnya (*deflation*) permukaan gunung tersebut. Perubahan yang signifikan dari permukaan gunung api dapat menjadi salah satu indikator akan

terjadinya letusan, untuk itu diperlukan pengamatan deformasi yang dilakukan secara berkala dengan melihat perubahan nilai pergeseran permukaan baik dari arah vertikal maupun horisontal. Terdapat beberapa metode yang pada umumnya digunakan untuk mengamati deformasi yaitu EDM (*Electronic Distance Measurement*), Tiltmeter, GPS (*Global Positioning System*), dan lain-lain. Pengamatan deformasi menggunakan GPS merupakan salah satu metode yang sangat efektif karena dapat mengamati perubahan bentuk permukaan secara kontinyu. GPS juga tidak memerlukan keterlihatan antar titik pengamatan sehingga posisi titik GPS dapat tersebar dan menggambarkan bentuk gunung api secara keseluruhan. Selain itu, GPS dapat menghasilkan data dengan ketelitian hingga orde mm (milimeter) dengan menggunakan metode *Differential Positioning* (Abidin, 2007). Dalam penelitian yang dilakukan oleh ilmuwan Jepang bernama Izumi Yokoyama pada tahun 1971, disebutkan bahwa pendekatan besar pergeseran deformasi dari hasil observasi di permukaan gunung berapi juga dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman dan posisi dari dapur magma gunung tersebut.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengamati besarnya deformasi dari Gunung Merapi adalah metode GPS. Didapatkan data GPS dan dilakukan pengolahan data yang bersifat kontinyu dalam kurun waktu Februari hingga Juli tahun 2015. Data tersebut diolah menggunakan *software* GAMIT/GLOBK untuk mengetahui posisi, arah, dan besar pergeseran suatu titik pengamatan dari waktu ke waktu. Setelah didapat besar pergeseran maka nilai tersebut akan digunakan sebagai langkah pendekatan untuk memperkirakan lokasi pusat tekanan magma menggunakan Model Yokoyama. Informasi yang diperoleh dari hasil pengolahan dapat menunjukkan aktivitas dan keberadaan kantong magma dari Gunung Merapi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menentukan arah dan besar pergeseran posisi titik-titik pengamatan yang diakibatkan dari aktivitas deformasi Gunung Merapi?
2. Bagaimana memprediksi posisi kedalaman sumber tekanan magma berdasarkan Model Yokoyama menggunakan data GPS?

## **1.3 Batasan Permasalahan**

Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah studi berada di wilayah Gunung Merapi yang terletak pada koordinat  $07^{\circ}32'30''$  -  $07^{\circ}52'30''$  LS dan  $110^{\circ}15'00''$  -  $110^{\circ}37'30''$  BT.
2. Data GPS yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GPS *Geodetic* dari empat titik pengamatan. Dengan rincian satu titik ikat yaitu GPS BPTK yang berada di kantor BPPTKG (Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi) dan tiga titik pengamatan yaitu GPS DELS, GPS GRWH , serta GPS KLAT yang berada di Gunung Merapi.
3. Data GPS yang digunakan adalah data pengamatan kontinyu pada bulan Februari sampai dengan bulan Juli 2015.
4. Pengolahan data GPS menggunakan *scientific software* yaitu GAMIT/GLOBK.
5. Penentuan prediksi posisi kedalaman sumber tekanan magma pada penelitian kali ini dilakukan berdasarkan Model Yokoyama.

## **1.4 Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan arah dan besar pergeseran titik-titik pengamatan yang disebabkan oleh deformasi Gunung Merapi menggunakan data GPS.
2. Memprediksi posisi kedalaman sumber tekanan magma berdasarkan Model Yokoyama.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai karakteristik deformasi yang terjadi pada Gunung Merapi beserta prediksi posisi sumber tekanan magma dari Gunung Merapi. Prediksi sumber tekanan yang terjadi pada Gunung Merapi dapat digunakan sebagai mitigasi bencana di masa depan.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gunung Api**

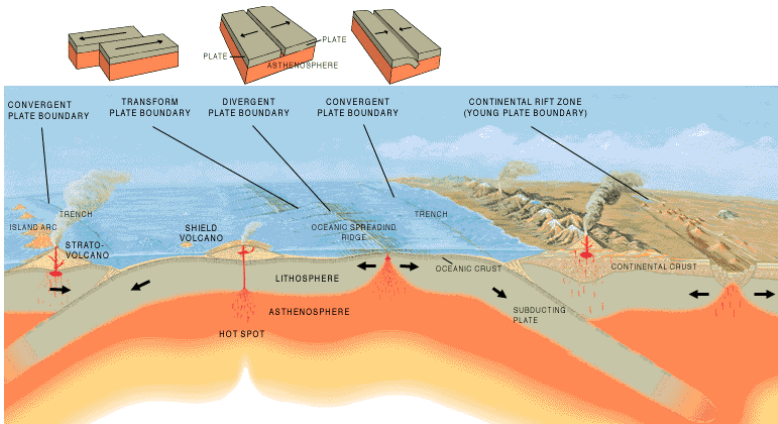
Gunung api merupakan salah satu fenomena alam yang terdapat baik di daratan maupun di lautan. Gunung adalah bentuk tanah yang menonjol di atas wilayah sekitarnya, sedangkan definisi api yang digunakan dalam istilah gunung api merujuk kepada material pijar yang keluar dari dalam inti bumi. Istilah lain yang pernah didefinisikan oleh para ahli merujuk kedalam fenomena gunung berapi antara lain, gunung api adalah lubang atau saluran yang menghubungkan suatu wadah berisi bahan yang disebut magma (Koesoemadinata, 1977 dalam Nandi, 2006), selain itu gunung api adalah suatu bentuk timbunan di muka bumi yang pada umumnya berupa kerucut raksasa, kerucut terpancung, kubah, ataupun bukit yang diakibatkan oleh penerobosan magma ke permukaan bumi (Mahatelemual, 1984 dalam Nandi, 2006).

Gunung api terbentuk karena adanya gerakan magma sebagai arus konveksi, dimana arus tersebut menyebabkan gerakan dari kerak bumi (kerak samudera dan kerak benua). Gerakan kerak tersebut membentuk barisan pegunungan dimana dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

1. Pergerakan saling menjauh (*divergent*) dari kerak bumi menyebabkan terjadinya pemekaran baik pada kerak benua maupun kerak samudera, magma keluar melalui rekahan tersebut dan membentuk busur gunung api tengah benua (*mid-continent ridge*) dan busur gunung api tengah samudera (*mid-ocean ridge*).
2. Pergerakan saling bertumbukan (*convergent*), kerak samudera menumbuk dan menujam di bawah kerak benua, membentuk zona subduksi dan terjadi peleburan batuan di zona tersebut, magma bergerak dan

menerobos sehingga membentuk busur gunungapi tepi benua (*volcanic arc*)

3. Barisan busur dasar samudera yang terjadi akibat terobosan magma basa pada penipisan kerak samudera. Terobosan magma ini merupakan banjir lava yang membentuk deretan gunung api perisai.



Gambar 2.1 Pembentukan Gunung Api di Dunia  
(USGS, 1999)

Proses pembentukan gunung api dari aktivitas lempeng memiliki jangka waktu yang lama, dengan waktu tersebut tenaga endogen dan eksogen membentuk gunung sedemikian rupa sehingga memiliki ciri-ciri tertentu seperti kuat lemahnya letusan, kekentalan lava, dan lain-lain. Dari ciri-ciri tersebut maka dapat digolongkan beberapa tipe gunung berapi, salah satunya adalah berdasarkan bentuknya yaitu :

1. Stratovolcano, gunung api jenis ini umumnya memiliki struktur yang berlapis-lapis dikarenakan hasil dari letusan dengan tipe yang berubah-ubah. Hampir sebagian besar gunung api di Indonesia termasuk dalam stratovolcano.

2. Perisai, gunung api yang tersusun dari batuan aliran lava cair saat diendapkan, sehingga tidak sempat membentuk suatu kerucut yang tinggi (curam), bentuknya sedikit menggelembung berlereng landai dan, susunannya terdiri dari batuan yang bersifat basaltik. Contoh gunung api perisai banyak terdapat di kepulauan Hawaii.
3. *Cinder Cone*, merupakan gunung berapi yang terbentuk oleh partikel dan lava yang dikeluarkan oleh *vent* tunggal. Karena tekanan gas, lava tersembur keras ke udara dan pecah menjadi fragmen kecil yang padat sehingga jatuh sebagai cinder di sekitar *vent* yang kemudian membentuk melingkar (*cone*) yang oval. Sebagian *cinder cone* mempunyai kawah berbentuk mangkok dan gunung api tipe ini memiliki tinggi tidak sampai 500 meter dari tanah disekitarnya. Contoh gunung api tipe *cinder cone* banyak terdapat di Amerika utara.
4. Kaldera, gunung berapi yang terbentuk dari ledakan yang sangat kuat sehingga melempar ujung atas gunung yang mengakibatkan cekungan sangat luas. Contoh dari tipe kaldera ini banyak terdapat pada Gunung Bromo

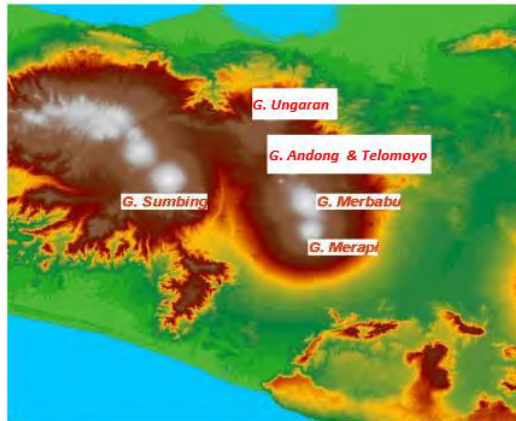
## 2.2 Gunung Merapi

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Gunung Merapi memiliki tinggi 2978 meter dan secara geografis terletak pada koordinat 07°32'30"- 07°52'30" LS dan 110°15'00"- 110°37'30" BT. Luas wilayah dari badan Gunung Merapi sebesar 300-400 km<sup>2</sup> sehingga secara administratif Gunung Merapi langsung berbatasan dengan empat kabupaten, yaitu Kabupaten Sleman yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta serta Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Klaten yang terletak di provinsi Jawa Tengah. Aktivitas Gunung Merapi diperkirakan telah berlangsung sejak 50.000 tahun yang lalu, dengan kecepatan rata-rata material

yang dikeluarkan dari dalam bumi sebesar 1.000.000 m<sup>3</sup>/tahun (Berthomier, 1990 dalam Romsiyatin, 2012).

Proses pembentukan dari Gunung Merapi sendiri terbagi kedalam empat periode yaitu Pra Merapi, Merapi Tua, Merapi Muda, dan Merapi Baru. Periode pertama adalah Pra Merapi dimulai sejak 700.000 tahun lalu dimana saat ini menyisakan jejak berupa Gunung Bibi (2025 m) di lereng timur laut Gunung Merapi. Periode kedua, periode Merapi Tua menyisakan bukit Turgo dan Plawangan yang telah berumur antara 60.000 sampai 8.000 tahun dimana saat ini kedua bukit tersebut mendominasi morfologi lereng selatan Gunung Merapi. Pada periode ketiga yaitu Merapi Muda beraktivitas antara 8.000 sampai 2.000 tahun lalu, pada masa tersebut terjadi beberapa lelehan lava andesitik yang menyusun bukit Batulawang dan Gajahmungkur yang sekarang tampak di lereng utara Gunung Merapi serta menyisakan kawah Pasar Bubar. Periode keempat aktivitas Merapi yang sekarang ini disebut Merapi Baru, dimana terbentuk kerucut puncak Merapi yang sekarang ini disebut sebagai Gunung Anyar di bekas kawah Pasar Bubar dimulai sekitar 2000 tahun lalu (PVMBG, 2016)

Berdasarkan tatanan tektoniknya, Gunung Merapi terletak pada zona subduksi, dimana Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme di Sumatera, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Gunung Merapi muncul di bagian selatan dari kelurusan jajaran gunung api di Jawa Tengah yang dimulai dari utara ke selatan yaitu Gunung Ungaran-Telomoyo-Merbabu-Merapi (Gambar 2.2). Kelurusan ini merupakan sebuah patahan yang berhubungan dengan retakan akibat aktivitas tektonik yang mendahului vulkanisme di Jawa Tengah. Aktivitas vulkanisme ini bergeser dari arah utara ke selatan dimana Gunung Merapi muncul paling muda (PVMBG, 2016).



Gambar 2.2 Citra Topografi Gunung Merapi, Merbabu, Telomoyo, dan Ungaran  
(Suyanto, 2012)

Karakteristik erupsi Gunung Merapi bersifat aktif permanen, yaitu guguran kubah lava atau lava pijar, membentuk aliran piroklastik (awan panas) atau *nuee ardentes*. Tetapi sejak letusan besar Gunung Merapi tahun 2010 kubah lava dari Gunung Merapi telah hilang. Kejadian dari erupsi Gunung Merapi dapat terjadi setiap saat dan dapat disebabkan oleh gaya endogen yang bersumber dari dapur magma ataupun gempa vulkanik gunung tersebut.

### **2.3 Deformasi**

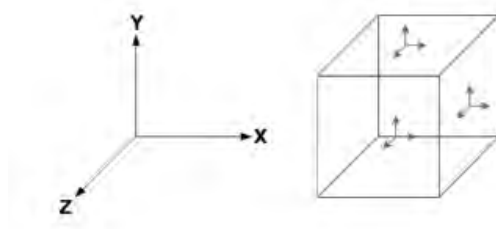
Deformasi adalah perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang (Shang-Long, 1991). Deformasi dari suatu materi dalam skala makro tidak selamanya bersifat permanen, besar perubahan sangat bergantung pada sifat materi itu sendiri sehingga deformasi dapat dibagi menjadi dua yaitu deformasi elastis dan plastis. Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang terjadi bila ada gaya yang bekerja,

serta akan hilang apabila bebannya diadukan sedangkan deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang permanen meskipun bebannya dihilangkan. Pada umumnya deformasi terjadi pada materi bermedium padat. Perubahan bentuk, dimensi, dan posisi dari suatu materi dapat digambarkan secara penuh dalam bentuk tiga dimensi melalui parameter-parameter deformasi, parameter deformasi ini dapat dihitung apabila diketahui fungsi pergeseran benda persatuan waktu. Adapun parameter dari deformasi tersebut dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah gaya ( $F$ ) per luas permukaan ( $A$ ) yang diteruskan ke seluruh material. Tegangan menyebabkan benda mengalami perubahan bentuk. Pada umumnya arah tegangan terhadap luas permukaan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu :

- a. Tegangan Normal (*Normal Stress*), yaitu tegangan yang arahnya tegak lurus terhadap luas bidang.
- b. Tegangan Geser (*Shear Stress*), yaitu tegangan yang arahnya sejajar terhadap luas bidang.

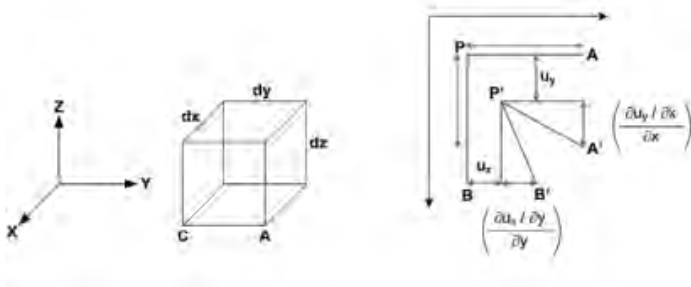


Gambar 2.3 Komponen Tegangan  
(Singh & Mal, 1991)

2. Regangan (*Strain*)

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang benda dengan panjang mula-mula setelah

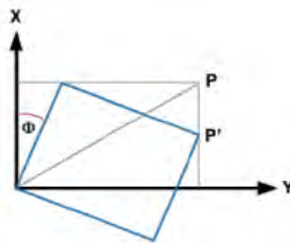
diberikan gaya. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, perpindahan dari benda tersebut dapat diuraikan dalam komponen  $u_x$ ,  $u_y$  dan  $u_z$  yang masing-masing sejajar terhadap sumbu koordinat kartesian  $X$ ,  $Y$ , dan  $Z$ .



Gambar 2.4 Komponen Regangan  
(Singh & Mal, 1991)

### 3. Rotasi

Rotasi adalah perubahan posisi materi yang membentuk sudut terhadap koordinat acuan tanpa mengalami perubahan bentuk.



Gambar 2.5 Bentuk Rotasi dari Materi  
(Singh & Mal, 1991)

Setelah diketahui parameter deformasi maka dapat dilakukan analisis deformasi. Analisis deformasi bertujuan untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang sesuai berdasarkan karakteristik dalam ruang dan waktu (Chrzanowski, 1986 dalam Syahputra, 2014).

### 2.3.1 Deformasi Gunung Api

Deformasi pada gunung api adalah proses perubahan posisi, ukuran, dan dimensi dari badan atau permukaan gunung api yang disebabkan oleh aktivitas tektonik ataupun aktivitas vulkanik dari dalam gunung. Naiknya magma yang berinteraksi dengan batuan disekitarnya menyebabkan munculnya jalur baru, mengalir melalui retakan atau saluran dan terakumulasi dalam resevoir bawah tanah. Perubahan tekanan dalam saluran akan merusak batuan disekitarnya.

Secara garis besar gejala deformasi dari gunung api dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

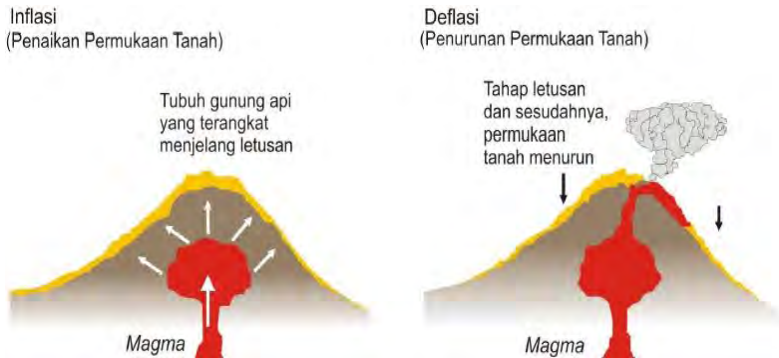
#### 1. Inflasi

Perubahan bentuk badan dari gunung berapi berupa terangkatnya permukaan dari posisi semula. Perubahan tersebut diakibatkan oleh aktivitas magma yang bergerak ke permukaan sehingga menekan permukaan di atasnya. Inflasi sering dijadikan tanda-tanda akan terjadinya erupsi pada gunung api.

#### 2. Deflasi

Perubahan bentuk badan dari gunung berapi berupa menurunnya permukaan dari posisi semula. Deflasi pada umumnya terjadi sesudah masa letusan, saat tekanan magma di dalam tubuh gunung api melemah.





Gambar 2.6 Deformasi pada Gunung Api Aktif  
(Abidin, 2007)

## 2.4 Global Positioning System (GPS)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikendalikan oleh Amerika Serikat. GPS terdiri dari 24 satelit yang saling terkonstelasi, sistem satelit GPS didesain untuk menentukan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi mengenai waktu secara kontinu di seluruh dunia. Pada dasarnya GPS terdiri atas 3 segmen utama (Seeber, 2003), yaitu :

1. Segmen angkasa (*space segment*)  
Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam enam orbit dengan inklinasi  $55^{\circ}$  dan ketinggian 20.200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.
2. Segmen sistem kontrol (*control system segment*)  
Sistem kontrol merupakan bagian yang bertugas dalam memantau kinerja dari sistem GPS agar dapat berfungsi dengan baik dan tepat. Salah satu tugas dari sistem kontrol antara lain adalah prediksi orbit, monitoring kondisi satelit, dan sinkronisasi waktu.

### 3. Segmen pemakai (*user segment*)

Segmen pemakai merupakan pengguna dari sistem GPS baik itu di darat, laut, maupun udara. Secara garis besar segmen pemakai menggunakan *receiver* GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga didapatkan keluaran berupa posisi, kecepatan, ataupun parameter lainnya.

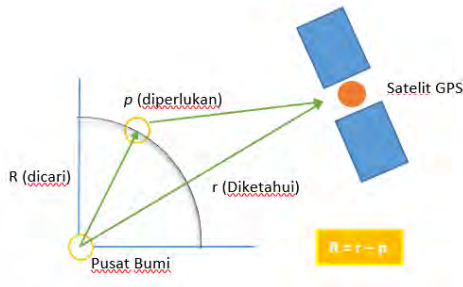
#### 2.4.1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS

Pada prinsipnya penentuan posisi dengan GPS merupakan metode pengikatan ke belakang (*resection*), dengan pengukuran jarak ke beberapa satelit GPS yang telah diketahui koordinatnya.

Hasil yang didapatkan dari pengukuran posisi menggunakan GPS adalah koordinat 3 dimensi (X,Y,Z atau L,B,h) yang dinyatakan dalam datum WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid, sehingga untuk sistem tingginya berbeda dengan tinggi orthometrik yang merupakan tinggi diatas geoid yang diukur sepanjang garis gaya berat melalui titik tersebut. Pelaksanaan metode penentuan posisi menggunakan GPS dapat diklasifikasikan atas beberapa cara bergantung pada mekanisme pengaplikasiannya, tetapi dua prinsip utama metode penentuan posisi adalah metode absolut dan diferensial yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

#### 1. Metode Absolut

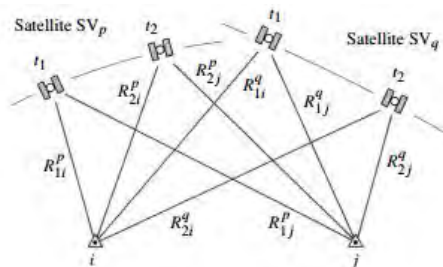
Metode absolut secara sederhana dapat diartikan sebagai metode penentuan posisi suatu titik tanpa bergantung terhadap titik lain (hanya menggunakan satu *receiver*). Melalui satelit GPS dilakukan pengukuran vektor jarak ( $p$ ) ke titik yang akan ditentukan posisinya. Dengan catatan posisi satelit ( $r$ ) telah diketahui relatif terhadap pusat bumi, maka posisi P (pengamat) akan diperoleh pula relatif terhadap pusat bumi. prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS melalui pendekatan vektor ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Prinsip Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Absolut (Han, 2000)

## 2. Metode Diferensial

Metode diferensial secara sederhana dapat diartikan sebagai metode penentuan posisi suatu titik menggunakan minimal dua *receiver* GPS (posisi relatif). Prinsipnya adalah dengan mengurangkan data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan sehingga beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieleminasi atau direduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data yang selanjutnya berimplikasi pada posisi yang diperoleh.



Gambar 2.8 Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Diferensial (Seeber, 2003)

#### 2.4.2 Kesalahan dan Bias pada Pengukuran GPS

Dalam pengambilan data GPS, sinyal satelit GPS akan mengalami beberapa kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias GPS tersebut harus diperhitungkan secara teliti dan benar, karena besar dari kesalahan dan bias tersebut akan mempengaruhi ketelitian informasi yang diperoleh serta proses penentuan ambiguitas fase dari sinyal GPS. Terdapat beberapa tipe kesalahan dari sistem GPS yang diantaranya adalah:

1. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*  
Setiap satelit GPS selalu dilengkapi oleh beberapa jam atom yang digunakan untuk mendefinisikan sistem waktu. Jam-jam tersebut akan mengalami penyimpangan. Pada umumnya *receiver* GPS dilengkapi dengan jam kristal *quartz* yang relatif lebih kecil, lebih murah, dan relatif membutuhkan daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan jam atom yang dibawa oleh satelit. Ketidaksinkronan antara jam satelit GPS dan jam *receiver* GPS inilah yang akan memberikan informasi waktu yang berbeda dan dapat menjadi sumber kesalahan.
2. Kesalahan Orbit  
Kesalahan orbit, adalah kesalahan dari posisi satelit GPS dimana posisi yang dilaporkan tidak sama dengan posisi satelit sebenarnya.
3. Ambiguitas Fase  
Ambiguitas fase adalah jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh *receiver* GPS. Ambiguitas fase berupa bilangan bulat kelipatan panjang gelombang. Ketidaktepatan dalam mendefinisikan besarnya ambiguitas fase akan menyebabkan kesalahan dalam penentuan jarak dari satelit GPS ke pengamat.

#### 4. *Cycle Slip*

*Cycle Slip* adalah kesalahan yang menunjukkan ketidak-kontinyuan dari fase gelombang pembawa yang diamati dalam jumlah gelombang penuh, karena sinyal *receiver* GPS terputus pada saat pengamatan sinyal GPS.

#### 5. Bias Ionosfer

Lapisan Ionosfer yang terdapat pada atmosfer mempengaruhi kecepatan, arah, kekuatan, dan polarisasi dari sinyal GPS yang melaluinya. Efek terbesar yang terpengaruh oleh bias ionosfer adalah kecepatan sinyal GPS, dimana mempengaruhi jarak dan ukuran.

#### 6. Bias Troposfer

Lapisan troposfer pada atmosfer memberikan efek refraksi yang menyebabkan perubahan kecepatan dan arah sinyal GPS.

#### 7. *Multipath*

*Multipath* adalah fenomena dimana sinyal satelit GPS tiba ke dalam *receiver* melalui dua lintasan sinyal yang berbeda. Satu sinyal merupakan sinyal langsung dari satelit GPS ke *receiver* GPS sedangkan sinyal yang lain merupakan sinyal tidak langsung yang dipantulkan oleh benda disekitar antena *receiver* GPS. Kesalahan *multipath* mempengaruhi hasil ukuran *pseudorange* dan *phase*.

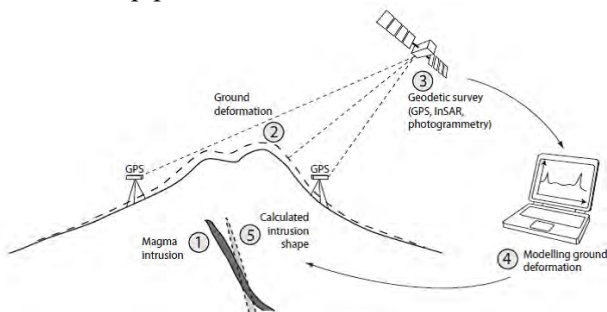
### **2.5 Pemantauan Deformasi Gunung Api Menggunakan GPS**

Pemantauan deformasi dari gunung api menggunakan GPS sudah dilakukan cukup lama di berbagai belahan dunia. Ada beberapa faktor terkait pemilihan metode GPS dalam pemantauan deformasi gunung seperti :

1. GPS memberikan nilai vektor koordinat dalam ruang tiga dimensi dan dalam suatu sistem koordinat yang tunggal baik secara spasial maupun temporal. Dengan itu maka informasi deformasi akan tersaji secara baik dan konsisten dari waktu ke waktu.

2. GPS memberikan ketelitian hasil hingga orde milimeter dengan tingkat konsistensi yang tinggi, sehingga pergerakan tanah sekecil apapun dapat terekam dengan baik
3. GPS dapat mencakup suatu kawasan yang luas tanpa perlu memperhatikan aspek keterlihatan antar titik, sehingga GPS mampu mewakili perubahan posisi dari bentuk gunung api itu sendiri. Selain itu GPS dapat digunakan secara kontinyu tanpa memperhatikan waktu dan cuaca.

Pemantauan deformasi dari metode GPS pada umumnya menggunakan alat GPS tipe geodetik dua frekuensi dan metode penentuan posisi yang digunakan adalah metode diferensial secara *real time*. Prinsip dari pemantauan deformasi gunung api menggunakan alat GPS adalah melakukan pemantauan perubahan koordinat titik yang mewakili gunung dari waktu ke waktu. Pada kegiatan pemantauan deformasi gunung api, *receiver* GPS ditempatkan di beberapa titik pantau yang ditempatkan pada punggung dan puncak gunung yang akan dipantau, serta terdapat suatu pusat pemantau (stasiun referensi) yang merupakan acuan dari koordinat fix sekaligus sebagai pusat pemrosesan data. Koordinat pergeseran titik yang dihasilkan dari pemantauan GPS akan relatif terhadap pusat referensi.



Gambar 2.9 Penentuan Deformasi Gunung Api Sistem GPS  
(Galland, 2012)

## 2.6 Uji Hipotesis

Hipotesis adalah dugaan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan untuk dasar penelitian lebih lanjut. Dalam lingkup lebih spesifik hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih (Myers & Walpole, 1995). Suatu pengujian hipotesis statistik adalah prosedur yang memungkinkan keputusan dapat dibuat, yaitu keputusan untuk menolak atau menerima hipotesis yang sedang diuji. Struktur pengujian hipotesis akan dirumuskan dengan menggunakan istilah hipotesis nol. Ini menyatakan setiap hipotesis yang ingin diuji dinyatakan  $H_0$ . Penolakan  $H_0$  akan membawa pada penerimaan suatu hipotesis tandingan, dinyatakan  $H_1$ . Suatu hipotesis nol mengenai parameter populasi akan selalu dinyatakan sedemikian rupa sehingga parameter tersebut memiliki nilai secara tepat, sedangkan hipotesis tandingan memungkinkan beberapa nilai.

Uji hipotesis memiliki beberapa ragam salah satunya adalah uji- $t$ . Uji- $t$  adalah jenis pengujian statistika untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistika. Uji- $t$  pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan  $t$  hitung dengan tabel distribusi  $t$ . Pada penelitian kali ini digunakan uji- $t$  dikarenakan jumlah sampel yang kurang dari 30 dan simpangan baku dari data tidak diketahui.

Adapun langkah-langkah dalam penyusunan uji- $t$  tersebut antara lain:

Hipotesa nol	:	$H_0 : \Delta H_{i,j} = 0$
Hipotesa tandingan	:	$H_1 : \Delta H_{i,j} \neq 0$

Uji statistik :

$$t = \frac{\Delta dh_{ij}}{\partial(\Delta dh_{ij})} \quad (2.1)$$

$H_0$  = titik tidak mengalami perubahan

$H_1$  = titik mengalami perubahan

Uji statistik dengan uji- $t$ , hipotesa akan ditolak bila (Ghilani & Wolf, 2006)

$$|t| > t_{df, \alpha/2} \quad (2.2)$$

dimana  $df$  merupakan derajat kebebasan, dan  $\alpha$  adalah derajat kesalahan.

$H_0$  diterima, jika  $t_{hitung} \leq t_{tabel}$

$H_0$  ditolak, jika  $t_{hitung} > t_{tabel}$

Dari uji hipotesis tersebut dapat disimpulkan apabila nilai  $t_{hitung}$  lebih kecil atau daripada  $t_{tabel}$  maka hipotesis  $H_0$  diterima yang artinya titik tersebut tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila  $t_{hitung}$  lebih besar daripada  $t_{tabel}$  maka titik tersebut mengalami perubahan baik dalam bentuk inflasi atau deflasi

## **2.7 Analisa Regresi**

Analisis regresi adalah suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi dimasa yang akan datang berdasarkan informasi yang sekarang dimiliki agar memperkecil kesalahan (Riduwan & Sunarto, 2007). Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Model regresi dimanfaatkan untuk melakukan prediksi terhadap variabel terikat.

Dalam penelitian ini digunakanlah regresi linier, dimana analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen ( $X$ ) dengan variabel dependen ( $Y$ ). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah positif atau negatif



dan untuk untuk memprediksi nilai variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan. Berikut ini merupakan rumus regresi linier (Sudjana, 2002) :

$$Y = a + bX \quad (2.3)$$

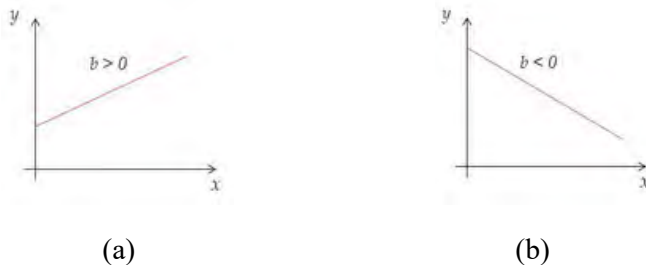
$Y$  = Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)

$X$  = Variabel independen

$a$  = Konstanta (nilai  $Y$  apabila  $X = 0$ )

$b$  = Kemiringan garis (perubahan rata-rata pada  $y$  untuk setiap unit perubahan pada variable bebas  $x$ )

Nilai  $b$  dapat positif (+) ataupun negatif (-). Berikut ini adalah grafik dari nilai  $b$  :



Gambar 2.10 Grafik regresi untuk nilai  $b$  positif (a) dan grafik regresi untuk nilai  $b$  negatif (b)

Untuk nilai dari konstanta ( $a$ ) dan koefesien regresi ( $b$ ) dapat ditentukan melalui rumus berikut :

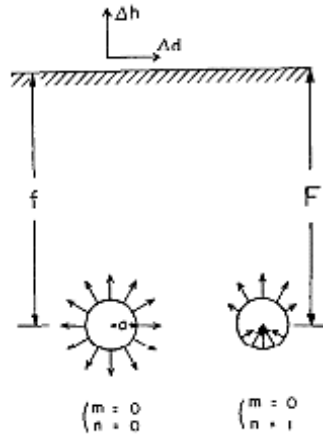
$$b = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2.4)$$

$$a = \frac{\Sigma Y - b \cdot \Sigma X}{n} \quad (2.5)$$

## **2.8 Penentuan Lokasi Sumber Tekanan (Model Yokoyama)**

Dapur magma adalah ruang bawah tanah yang berisi batuan mencair yang berada di bawah kerak bumi. Magma yang terdapat pada dapur magma memiliki tekanan yang besar, apabila mendapatkan waktu yang cukup magma dapat menerobos bebatuan di sekitarnya dan membuat jalan keluar sehingga terjadilah erupsi gunung berapi. Izumi Yokoyama melalui publikasi pada tahun 1971 mengemukakan suatu model untuk mengetahui lokasi sumber tekanan melalui data-data deformasi. Deformasi yang terukur di permukaan yang disebabkan oleh aktivitas internal gunung berapi dapat memberikan informasi mengenai lokasi kantong ataupun dapur magma. Model Yokoyama mengasumsikan kerak bumi tersusun atas ruangan yang elastis (*elastic half space*), dan sumber tekanannya adalah sebuah ruang kecil berbentuk *spherical* dengan tekanan hidrostatis yang bersifat searah (*unidirectional*) dan perluasannya bersifat radial (Yokoyama 1971, dalam Aisyah 2014).

Dalam penelitian ini, pengukuran menggunakan Model Yokoyama secara umum dilakukan untuk mendapatkan gambaran model sumber tekanan (*pressure source model*) dari deformasi yang diamati dipermukaan menggunakan peralatan GPS. Deformasi permukaan yang terukur oleh GPS diturunkan menjadi vektor pergeseran mewakili deformasi yang terjadi pada tubuh gunung api dan daerah sekitarnya. Model Yokoyama secara umum ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 2.11 Model Yokoyama Untuk Penentuan Sumber Tekanan Magma (Yokoyama, 1971)

Model Yokoyama juga memiliki persamaan untuk menghitung pergeseran dalam arah horisontal dan vertikal yaitu sebagai berikut :

$$U_r = -\frac{a^2 P}{18\mu} \left[ \frac{6FR}{(F^2+R^2)^{3/2}} - \frac{3\{F-(F^2+R^2)^{1/2}\}}{R(F^2+R^2)^{1/2}} \right] - \frac{a^4 P}{126\mu} \left[ \frac{19FR}{(F^2+R^2)^{3/2}} - \frac{2R}{F(F^2+R^2)^{3/2}} + \frac{2}{F^2} \frac{F-(F^2+R^2)^{1/2}}{R(F^2+R^2)^{1/2}} \right] \quad (2.6)$$

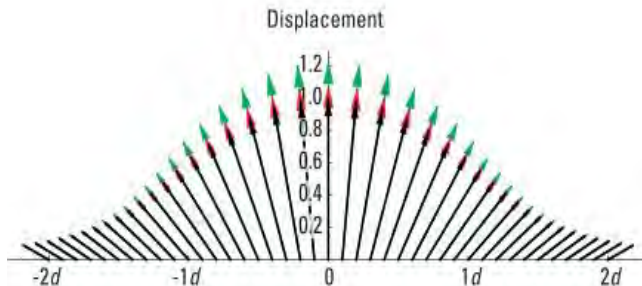
$$U_z = -\frac{a^2 P}{6\mu} \left[ \frac{3}{(F^2+R^2)^{1/2}} - \frac{2F^2}{(F^2+R^2)^{3/2}} \right] - \frac{a^4 P}{6\mu} \left[ \frac{2}{7F^2} \frac{1}{(F^2+R^2)^{1/2}} + \frac{2}{7} \frac{1}{(F^2+R^2)^{3/2}} - \frac{5}{21} \frac{2F^2-R^2}{(F^2+R^2)^{5/2}} \right] \quad (2.7)$$

Keterangan :

- $U_r$  : Perubahan horisontal (*Horizontal Displacement*)
- $U_z$  : Perubahan vertikal (*Vertical Displacement*)
- $a$  : Jari-jari sumber tekanan

- $R$  : Jarak stasiun pengamat dengan crater  
 $F$  : Kedalaman sumber tekanan  
 $P$  : Tekanan hidrostatik  
 $\mu$  : Rigiditas medium

Dari persamaan 2.6 dan persamaan 2.7 diatas nilai  $U_r$  dan  $U_z$  memiliki beberapa parameter yang tidak diketahui nilainya secara pasti yaitu  $a$ ,  $P$ , dan  $\mu$  sehingga ketiga parameter tersebut dapat didekati dengan suatu nilai yang mewakili ketiganya, dimana selanjutnya disebut sebagai konstanta  $P/\mu$ . Konstanta  $P/\mu$  sebagai nilai intensitas sumber magma memiliki besaran dari 0,01-1, nilai tersebut menunjukkan besar tekanan hidrostatik berdasarkan jaraknya dari suatu titik di bawah permukaan gunung api. Semakin dekat ke permukaan maka nilai tersebut akan mendekati 1, adapun ilustrasi dari nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Pergeseran Permukaan yang Bersifat Radial pada *Sphere* yang Ditunjukkan oleh Vektor 0,01 (hitam), 0,4 (merah), 0,6 (hijau) (Dzurisin, 2007)

Metode yang digunakan dalam melakukan prediksi sumber tekanan magma adalah Metode *Grid Search*. Metode ini dikembangkan dari model solusi inversi dari persamaan non-linear melalui proses linearisasi. Pada Metode *Grid Search* ruang model didefinisikan terlebih dahulu dengan menentukan interval (batas minimum dan maksimum) harga setiap parameter model

yang mungkin. Kemudian dilakukan diskritisasi (memecah daerah perhitungan menjadi beberapa daerah-daerah kecil yang disebut grid) pada interval tersebut sehingga diperoleh grid yang meliputi seluruh ruang model yang telah didefinisikan. Informasi mengenai harga fungsi obyektif untuk semua grid pada ruang model dapat digunakan untuk menentukan solusi, yaitu model dengan fungsi obyektif minimum.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah intensitas melalui konstanta  $P/\mu$ , lintang dan bujur, serta kedalaman. Diskritisasi atau pembagian grid adalah sebesar 100, diambil dari konstanta  $P/\mu$  yang memiliki interval 0,01-1, dimana nilai tersebut mewakili model berdasarkan intensitasnya terhadap jarak dari suatu titik dibawah gunung. Nilai lintang adalah  $07^{\circ}31'17,81''$  -  $07^{\circ}35'16,54''$  LS dan bujur adalah  $110^{\circ}25'56,3''$  -  $110^{\circ}27'53,4''$  BT, dimana nilai tersebut mewakili lokasi dari Gunung Merapi. Nilai lintang dan bujur dari tiap-tiap grid adalah sebesar  $0,0005^{\circ}$ , hasil dari selisih koordinat batas lintang dan bujur dibagi dengan 100. Terakhir adalah kedalaman yaitu sebesar 0-15.000 meter yang mewakili kedalaman dari puncak hingga dapur magma Gunung Merapi, nilai dari tiap gridnya adalah sebesar 150 meter.

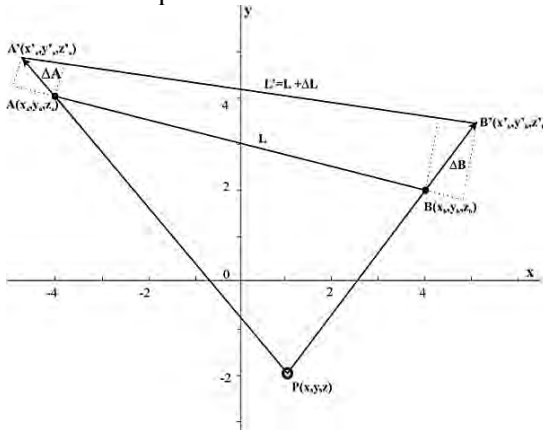
Asumsi yang dilakukan adalah melakukan perhitungan dari permukaan Gunung Merapi dengan konstanta  $P/\mu$  memiliki nilai awal 0,99 sedangkan lintang adalah  $07^{\circ}31'17,81''$  dan bujur adalah  $110^{\circ}25'56,3''$  dengan kedalaman 150 meter. Berlanjut ke grid berikutnya dengan konstanta  $P/\mu$  0,98 sedangkan nilai lintang adalah  $07^{\circ}31'19,61''$  dan bujur adalah  $110^{\circ}25'58,1''$  serta kedalaman adalah 300 meter. Sehingga dari setiap grid tersebut akan menghasilkan nilai konstanta  $P/\mu$  dengan nilai perubahan tiap gridnya sebesar 0,01, nilai lintang dan bujur sebesar  $0,0005^{\circ}$ , serta kedalaman adalah 150 meter. Dari parameter diatas dapat dibuatlah tabel parameter Metode *Grid Search* dari Model Yokoyama, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter Metode *Grid Search* Model Yokoyama  
(Aisyah, 2014)

Parameter	Range	Iterasi
Bujur	110,4323244-110,464846	100
Lintang	7,521613206-7,587927622	100
Kedalaman	0-15.000 m	100
$P/\mu$	0,01-1	100

Skema perubahan posisi dua buah titik pengamatan  $A(x_a, y_a, z_a)$  dan  $B(x_b, y_b, z_b)$  akibat adanya tekanan pada  $P(x, y, z)$  ditunjukkan pada Gambar 2.12. Perubahan posisi tersebut  $A'(x'_a, y'_a, z'_a)$  dan  $B'(x'_b, y'_b, z'_b)$  menyebabkan perubahan jarak miring diantara kedua titik dari  $L$  menjadi  $L'$  sebesar  $\Delta L$ .

Jarak horisontal suatu stasiun navigasi B (Gambar 2.13) terhadap sumber tekanan  $P$  yang terletak di  $(x, y, z)$  digambarkan dalam persamaan 2.8. Pergeseran pada stasiun B merupakan pergeseran relatif terhadap stasiun referensi A. Selanjutnya melalui persamaan 2.8 dan 2.9, pergeseran horisontal dapat dihitung secara teoritis. Dalam hal ini posisi sumber tekanan diasumsikan di bawah puncak.



Gambar 2.13 Skema Perubahan Jarak antara Titik dengan Pusat Tekanan  
(Iguchi, 2011 dalam Syahputra, 2014)

$$R_b = \sqrt{(x_b - x_s)^2 + (y_b - y_s)^2} \quad (2.8)$$

$$\Delta R_{model} = \Delta R_b - \Delta R_a \quad (2.9)$$

Keterangan :

R	= jarak antara stasiun dengan crater
R <sub>b</sub>	= jarak antara stasiun navigasi B dengan crater
R <sub>a</sub>	= jarak antara stasiun navigasi A dengan crater
x <sub>b</sub> , y <sub>b</sub>	= posisi lintang dan bujur stasiun navigasi
x <sub>a</sub> , y <sub>a</sub>	= posisi lintang dan bujur stasiun referensi
x <sub>s</sub> , y <sub>s</sub>	= posisi lintang dan bujur crater
ΔR <sub>b</sub>	= pergeseran horisontal stasiun navigasi
ΔR <sub>a</sub>	= pergeseran horisontal stasiun referensi
ΔR <sub>model</sub>	= pergeseran teoritis/model di stasiun navigasi B

Nilai kuadrat selisih pergeseran horisontal teoritis dan observasi dinotasikan dengan  $R_s$ , dalam persamaan 2.10. Metode *Grid Search* dilakukan dengan memberikan variansi nilai intensitas ( $P/\mu$ ) dan lokasi sumber ( $x_s, y_s, f$ ) sampai diperoleh nilai residual  $R_s$  terkecil.

$$R_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_{s_{x,i}}^2 + \sum_{i=1}^n R_{s_{y,i}}^2} \quad (2.10)$$

dengan,

$$R_{s_{x,i}} = \Delta d_{x(observasi)} - \Delta d_{x(teoritis)}$$

$$R_{s_{y,i}} = \Delta d_{y(observasi)} - \Delta d_{y(teoritis)}$$

Keterangan :

R <sub>s</sub>	= Nilai residual antara pergeseran horisontal teoritis dan observasi
R <sub>s<sub>x,i</sub></sub>	= Nilai residual pergeseran horisontal komponen Timur Barat pada iterasi ke-i

- $RS_{y,i}$  = Nilai residual pergeseran horisontal komponen Utara Selatan pada iterasi ke- $i$
- $\Delta d_{x(observasi)}$  = Pergeseran horisontal observasi arah timur barat
- $\Delta d_{y(observasi)}$  = Pergeseran horisontal observasi arah utara selatan
- $\Delta d_{x(teoritis)}$  = Pergeseran horisontal teoritis arah timur barat
- $\Delta d_{y(teoritis)}$  = Pergeseran horisontal teoritis arah utara selatan



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Gunung Merapi merupakan lokasi utama dari penelitian kali ini, dimana 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. Gunung Merapi memiliki ketinggian 2978 dpl, diameter sebesar 28 km, luas 300-400 km<sup>2</sup> dan volume  $\pm 150$  km<sup>3</sup> (BPPTKG,2016).



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Untuk pemantauan deformasi Gunung Merapi digunakanlah 4 titik stasiun GPS, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.1 Lokasi Data Pengamatan GPS  
(BPPTKG, 2016)

No	Stasiun	Lokasi
1	BPTK	BPPTKG, Yogyakarta
2	DELS	Deles, Klaten
3	GRWH	Grawah, Boyolali
4	KLAT	Klatakan, Magelang

## 3.2 Data dan Peralatan

### 3.2.1 Data

Data yang digunakan adalah data GPS dari empat titik pengamatan, dimana satu titik sebagai titik ikat yaitu stasiun GPS BPTK yang berada di kantor BPPTKG dan tiga lainnya sebagai titik pengamatan yaitu stasiun GPS DELS, GPS GRWH, dan GPS KLAT yang berada di sekitar Gunung Merapi. Didapatkan data GPS dalam format rinex sebanyak 24 data dalam waktu satu hari, dikarenakan stasiun GPS tersebut melakukan akuisisi data setiap jam dengan sampling pengukuran tiap satu detik. Rentang waktu dari data yang digunakan dalam penelitian adalah enam bulan, yaitu bulan Februari sampai Juli 2015.

### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

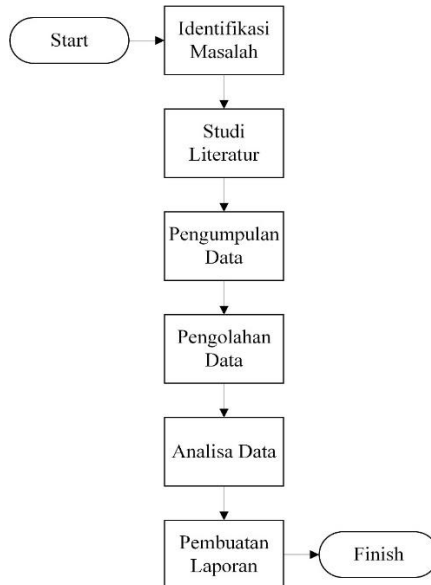
1. Perangkat Keras (*Hardware*)
  - a. Laptop digunakan untuk proses pengolahan data, pemodelan hasil, dan penulisan laporan
2. Perangkat Lunak (*Software*)
  - a. Sistem Operasi *Linux Ubuntu 15.04* dan Windows 8.1.
  - b. *Software* TEQC (*Translation, Editing and Quality Check*) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh UNAVCO, dimana pada penelitian kali ini digunakan untuk penggabungan data dalam format setiap satu jam menjadi setiap satu hari.

- c. *Software* GAMIT/GLOBK.  
GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachutes Institute Of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). GAMIT digunakan untuk melakukan perhitungan posisi tiga dimensi. Dalam proses perhitungan tiga dimensi, GAMIT melibatkan data pengamatan stasiun-stasiun kontinu diseluruh dunia. Sedangkan GLOBK adalah suatu paket program yang digunakan untuk mengkombinasikan data survei terestris dan ekstraterestris. GLOBK memiliki fungsi khusus dalam hal pengolahan GPS seperti mengkombinasikan hasil pengolahan data pengamatan harian untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan *multidays*, selain itu GLOBK juga dapat melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runut waktu (*time series*) dari pengamatan harian atau tahunan.
- d. *Software* GMT (*Generic Mapping Tools*) adalah perangkat lunak berisi *tools-tools* yang digunakan untuk *interfaces* pada akses (*sharing* dan *transfer*) data yang bersifat *scientific*, sehingga didapatkan visualisasi data dari hasil pengolahan.
- e. MATLAB R2010a atau *Matrix Laboratory* adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik, merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada penelitian ini *software* Matlab digunakan untuk membuat program pencarian sumber tekanan magma menggunakan Model Yokoyama.
- f. Microsoft Office, sebagai pembuatan laporan

### 3.3 Metodologi Penelitian

#### 3.3.1 Diagram Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

#### 1. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini yaitu bagaimana menganalisa perubahan deformasi dan kecepatan pergeseran untuk mendapatkan lokasi sumber tekanan dari gunung berapi.

#### 2. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk mencari referensi pustaka terkait dengan masalah yang akan diangkat dalam penelitian. Studi literatur yang dilakukan meliputi :

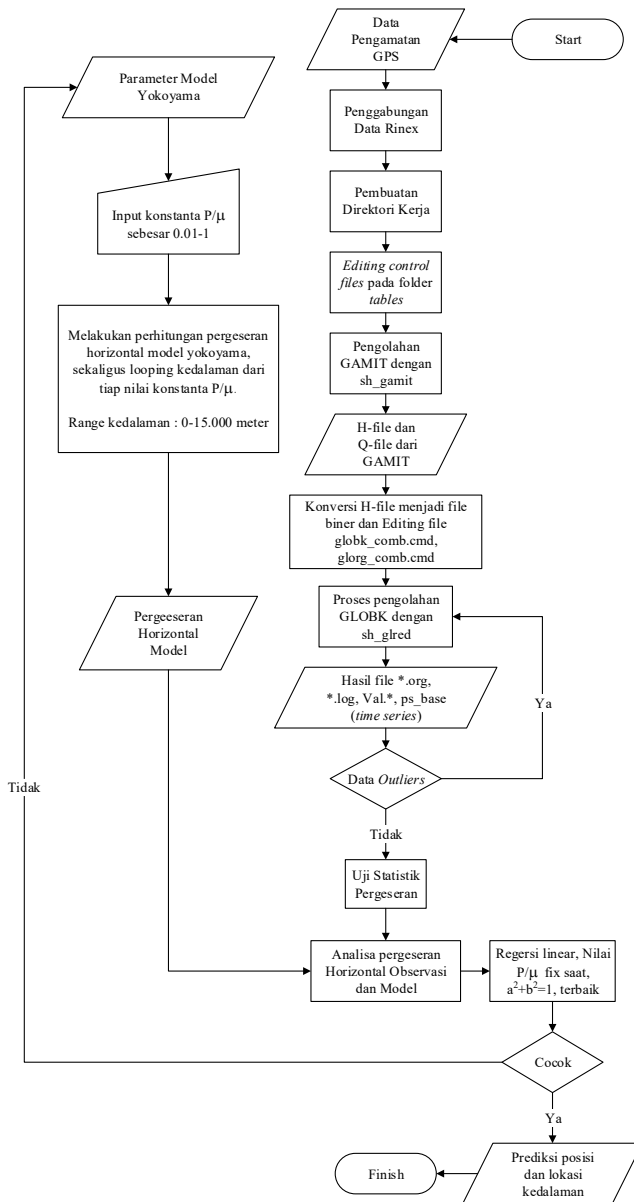
- a. Pengkajian tentang *software* pengolahan dari metode GPS untuk mendapatkan nilai deformasi permukaan.
  - b. Studi literatur mengenai analisa deformasi dan kecepatan pergeseran titik-titik GPS.
  - c. Studi literatur tentang penentuan lokasi sumber magma menggunakan Model Yokoyama.
3. Pengumpulan Data  
Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang diperlukan adalah data pengamatan dari stasiun GPS Gunung Merapi dalam kurun waktu Februari hingga Juli 2015. Data tersebut didapatkan dari Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG)
  4. Pengolahan Data  
Pada tahap ini dilakukan pengolahan data-data yang diperoleh untuk selanjutnya dilakukan analisa. Tahap pengolahan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.3.
  5. Analisa Data  
Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis besar deformasi yang terjadi pada permukaan Gunung Merapi pada kurun waktu Februari hingga Juli 2015, yang dilanjutkan dengan proses pencarian sumber tekanan menggunakan Model Yokoyama melalui hasil pergeseran tersebut.
  6. Pembuatan Laporan  
Pada tahap ini dilakukan penulisan laporan dari semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

### **3.4 Diagram Alir Penelitian**

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3. Penjelasan diagram alir tahap pengolahan data adalah sebagai berikut:

### 1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap awal untuk mempersiapkan data yang akan diolah, dalam hal ini data GPS didapatkan melalui stasiun pengamatan GPS milik kantor BPPTKG. Selain file GPS yang akan diolah juga terdapat file penunjang yang harus dimiliki sebelum dilakukan pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK yaitu file gelombang pasang surut (otl\_FES2004.grd), file atmosfer (atmdisp\_YYYY), file pemodelan cuaca (vmflgrd.YYYY), serta h-file global sebanyak DOY (*Day Of Year*) yang akan diolah.



Gambar 3.3 Tahap Pengolahan Data

## 2. Penggabungan Data Rinex

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan *software* GAMIT/GLOBK, terlebih dahulu dilakukan penggabungan data rinex dalam format setiap satu jam menjadi setiap satu hari menggunakan perangkat lunak TEQC. Proses menjalankan *software* TEQC dilakukan melalui *command prompt*, file rinex diletakkan dalam satu direktori dengan *software* teqc.exe. Sebelum menjalankan perintah teqc, *command prompt* harus masuk ke direktori teqc. Setelah masuk kedalam direktori masukkan perintah berikut ini :

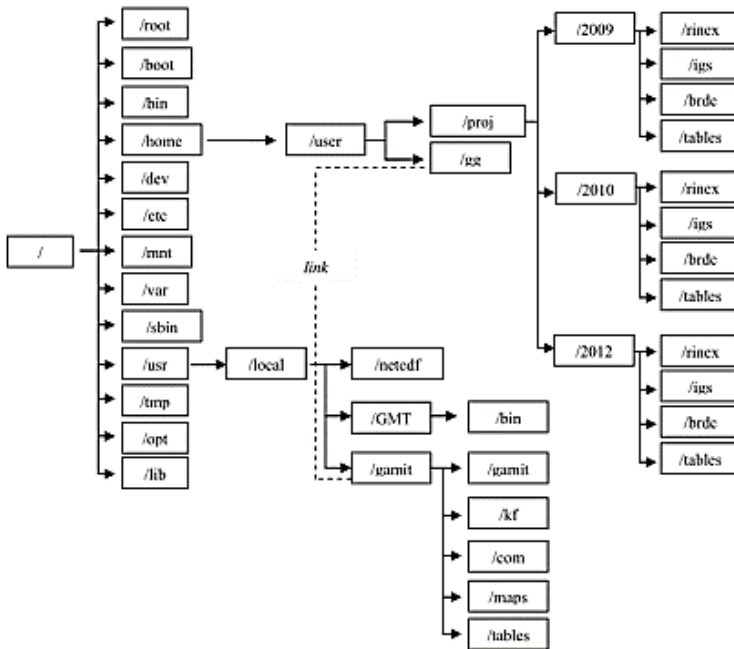
```
teqc -phc [file1.obs] [file2.obs] > filenew.obs
```

dimana “-phc” adalah perintah khusus pada teqc untuk menghapus *post header comment*. “file1.obs” dan “file2.obs” merupakan contoh file pertama dan kedua yang akan digabungkan, pada penelitian kali ini terdapat 24 file rinex yang akan digabungkan menjadi satu file dalam format harian. Yang terakhir adalah “filenew.obs” merupakan file output dari proses penggabungan menggunakan *software* TEQC.

## 3. Pembuatan Direktori Kerja File GAMIT

Untuk melakukan pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja yang terletak pada direktori *home* (~). Pada umumnya pada setiap direktori kerja memiliki direktori *project* yang menjadi tempat utama dalam pengolahan data nantinya.





Gambar 3.4 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data (Safi'i, 2014)

Dalam direktori *project* tersebut nantinya terdapat folder-folder yang menyusun struktur kerja dari pengolahan GAMIT, adapun folder tersebut adalah :

- a. Rinex, folder yang digunakan untuk menyimpan file-file rinex observasi baik itu dari titik pengamatan ataupun titik kontrol.
- b. IGS, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu orbit satelit. Pada umumnya file igs yang digunakan bertipe *final IGS precise ephemeris* dengan format \*.sp3.
- c. Brdc, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu file navigasi global sesuai

dengan DOY *project* yang akan diolah. File navigasi tersebut terdapat dua tipe yaitu `auto[ddd]0.[yy]n` dan `brdc[ddd]0.[yy]n`. Dimana `ddd` adalah DOY atau hari dari pengamatan, dan `yy` adalah *year*/tahun.

- d. Tables, folder yang berisi file-file kontrol dari pengolahan GAMIT. Folder tables dibuat secara otomatis menggunakan perintah bawaan dari *software* GAMIT yaitu dengan mengetikkan `sh_setup -yr [yyyy] -apr [apr file]` pada direktori *project*. Dalam perintah tersebut `“yyyy”` menyatakan tahun dari data yang digunakan dan `“apr file”` menyatakan ITRF yang digunakan.

#### 4. *Editing Control Files* pada Folder Tables

*Editing Control Files* merupakan tahapan untuk mengatur parameter dan skenario pengamatan dari *software* GAMIT sesuai yang telah direncanakan. Adapun *control files* yang perlu diedit adalah sebagai berikut :

- a. File *lfile.*, berisi koordinat pendekatan (apriori) dari stasiun pengamatan global. Koordinat dari stasiun pengamatan baik titik pantau maupun titik kontrol harus ditambahkan ke dalam file ini.
- b. File *station.info*, merupakan file yang berisi informasi dari setiap stasiun yang diolah. Adapun informasi yang terdapat pada file *station.info* seperti informasi waktu, tinggi antena, tipe *receiver*, dll.
- c. File *process.defaults*, digunakan untuk menentukan lokasi file-file yang akan dilakukan pengolahan GAMIT. File ini juga digunakan untuk menentukan tipe file navigasi yang digunakan serta *apr file* yang digunakan.

- d. File *sestbl*, merupakan file yang berisi skenario pengolahan. Untuk melakukan analisa deformasi pada Gunung Merapi, maka salah satu parameter yang perlu diubah adalah *choice of experiment* diubah menjadi “BASELINE”. Selain *choice of experiment* bagian lain yang diubah adalah *atml.grid* yang menunjukkan kandungan atmosfer pilih opsi “Y”, *map.grid* sebagai pengeplotan koordinat *repeatabilities* dengan GMT pilih opsi “Y”, dan *otl.grid* sebagai pemodelan pasang surut air laut pilih opsi “Y”.
- e. File *sites.defaults*, merupakan file yang digunakan dalam *automatic batch processing*. File ini digunakan untuk mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan dengan GAMIT dan GLOBK.
- f. File *sittbl*, merupakan file yang didalamnya berisi nilai *constraint* pada setiap koordinat apriori stasiun yang akan diolah. Untuk titik ikat berikan nilai *constraint* yang kecil, karena dianggap tidak memiliki perubahan posisi yang besar sedangkan untuk titik pengamatan berikanlah *constraint* yang besar.

## 5. Pengolahan menggunakan GAMIT

Setelah semua data sudah terkumpul dan *control files* telah diatur, langkah berikutnya adalah melakukan perintah “*sh\_gamit*” pada terminal linux dengan perintah lengkap sebagai berikut :

```
sh_gamit -s yyyy ddd1 ddd2 -expt [expt]
```

dimana “yyyy” adalah tahun dari data yang diolah, “ddd<sub>1</sub>” adalah DOY awal data yang diolah, “ddd<sub>2</sub>” adalah DOY

akhir data yang diolah, dan “expt” adalah nama *experiment* atau nama *project* pengolahan. Hasil yang didapatkan dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak DOY yang diolah. Setiap folder DOY terdapat h-file hasil pengolahan GAMIT.

#### 6. Konversi h-file dan *Editing file globk\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd*

Untuk melanjutkan pengolahan dengan GLOBK file h-file hasil dari pengolahan GAMIT perlu dikonversi menjadi file biner begitu juga h-file global IGS, adapun cara konversi data tersebut dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

```
htoglb [directory output][ephemeris file][input file]
```

Hasil konversi dari perintah diatas adalah berupa file \*.glr dan \*.glx. File berformat \*.glr merupakan solusi *ambiguitas fase free* dan file \*.glx merupakan solusi *ambiguitas fase fixed*. Setelah proses konversi, file berformat \*.glx perlu digabungkan menjadi satu file dengan format \*.gdl. Penggabungan dapat dilakukan dengan menuliskan perintah sebagai berikut:

```
ls ../[directory input]/*.glx > [nama.project].gdl
```

hasil dari perintah tersebut adalah munculnya file “nama project.gdl”.

Setelah proses konversi, dilakukan proses *editing file globk\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd* yang dapat dicopy dari folder ~/gg/tables, kemudian file tersebut ditempatkan pada folder *gsoln*. Untuk mendapatkan output koordinat UTM dan koordinat geodit, maka pada bagian prt\_opt diedit menjadi GDLF CMDS GEOD UTM. Sedangkan

untuk mendapatkan output panjang *baseline* pada bagian `org_opt` *diedit* menjadi PSUM CMDS GDLF BLEN.

## 7. Pengolahan menggunakan GLOBK

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan GLOBK untuk mendapatkan perubahan koordinat secara *time series*. Adapun bentuk perintah yang harus dimasukkan pada terminal linux adalah sebagai berikut :

```
sh_glred -s yyyy1 ddd1 yyyy2 ddd2 -expt [expt] -opt H G E
```

Keterangan :

yyyy<sub>1</sub> : tahun awal dari data yang diolah  
 ddd<sub>1</sub> : DOY awal dari data yang diolah  
 yyyy<sub>2</sub> : tahun akhir dari data yang diolah  
 ddd<sub>2</sub> : DOY akhir dari data yang diolah  
 expt : nama *experiment* atau nama *project*  
 H : memindah h-file kedalam direktori glbf  
 G : membentuk file ekstensi .gdl pada setiap harinya ke dalam direktori gsoln  
 E : *plotting time series*

Hasil dari menjalankan GLOBK adalah *file* berekstensi .org, kemudian *file plotting time series* dengan pola file `psbase_[expt].[GPS]`, selain itu juga terdapat file yang berisi koordinat toposentris dengan pola nama `VAL.[expt]`.

## 8. Deteksi Data *Outlier*

*Outlier* adalah data yang menyimpang jauh dan memiliki karakteristik berbeda dari suatu himpunan data. Agar hasil pengolahan sesuai dengan nilai sebenarnya maka data *outlier* tersebut perlu dihilangkan. Untuk mengetahui data yang diindikasikan mengalami *outlier* dapat

dilihat pada *file* VAL[expt]. Kemudian dilakukan proses pengolahan ulang dengan tidak mengikutsertakan DOY yang mengalami *outlier*.

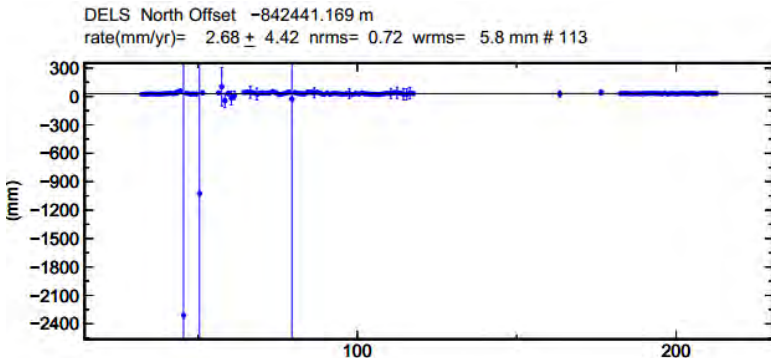
#### 9. Prediksi Posisi Kedalaman Sumber Tekanan Magma menggunakan Model Yokoyama.

Prediksi posisi kedalaman sumber tekanan magma didapatkan melalui perbandingan nilai pergeseran horisontal antara pengamatan GPS dengan rumus perhitungan model Yokoyama. Kemudian nilai keduanya dibandingkan berdasarkan input konstanta  $P/\mu$  secara *trial and error* hingga nilai data observasi cocok dengan nilai dari model. Secara bersama saat memasukkan nilai konstanta  $P/\mu$  dilakukan juga *looping* terhadap kedalaman. Apabila respon model sesuai dengan observasi dapat diasumsikan bahwa parameter model tersebut menunjukkan nilai parameter yang dicari, dalam hal ini lokasi dan kedalaman pusat tekanan magma. Jika fitting regresi tidak cocok dan tidak menunjukkan residual terkecil maka pemodelan harus diulang dengan mengganti konstanta  $P/\mu$  hingga didapat kecocokan antara respon model dan pengamatan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengolahan Data GPS

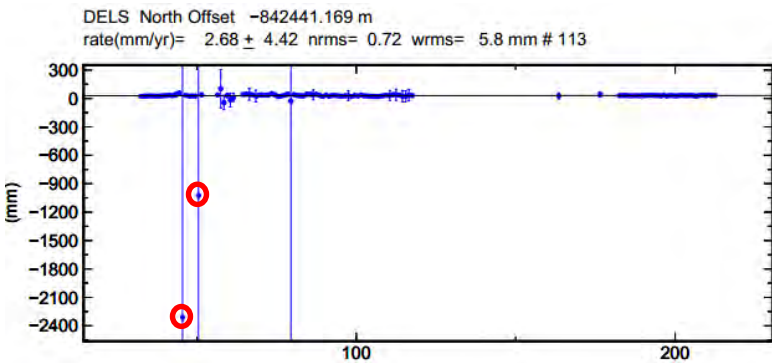
Pada penelitian ini pengolahan data GPS dilakukan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK, pengolahan dilakukan untuk mendapatkan koordinat estimasi beserta besar vektor pergeseran dari stasiun GPS Gunung Merapi yang terjadi pada kurun waktu Februari hingga Juli 2015. Pada tahap pertama pengolahan dilakukan menggunakan *software* GAMIT, didapatkanlah solusi berupa h-file sebanyak DOY yang diteliti. Setelah didapatkan solusi dari proses pengolahan GAMIT, tahapan pengolahan dilanjutkan menggunakan *software* GLOBK. Dalam pengolahan GLOBK didapatkan koordinat yang selanjutnya akan diamati pergerakan posisinya secara *time series* sehingga dapat diketahui besar pergeseran titik GPS. Berikut ini adalah contoh tampilan dari *plotting time series* dari titik DELS (psbase\_2015.DELS). File psbase\_[expt].[GPS] lainnya dapat dilihat pada lampiran *plotting time series*.



Gambar 4.1 Contoh *plotting* psbase\_2015.DELS

## 4.2 Menghilangkan *Outliers*

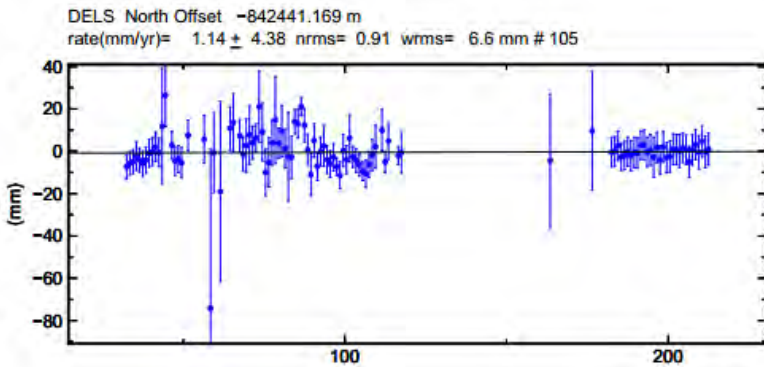
*Outliers* adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data. Adanya data *outliers* akan membuat analisis terhadap serangkaian data menjadi bias, atau tidak mencerminkan fenomena sebenarnya. Oleh sebab itu perlunya penghilangan data *outliers* dengan meninjau data yang menyimpang dari koordinat rata-rata pada *file* VAL.[expt] dalam folder gsoln.



Gambar 4.2 Contoh *plotting time series* stasiun DELS yang belum dihilangkan *outliers*

Gambar 4.2 adalah hasil *plotting time series* dari stasiun DELS yang belum dihilangkan data *outliersnya*. Data *outliers* ditunjukkan oleh lingkaran merah. Titik warna biru menunjukkan sebaran koordinat per hari. Untuk menghilangkan *outliers* perlu dilakukan pengolahan ulang menggunakan GLOBK tanpa mengikutkan DOY yang mengalami *outlier*, sehingga didapatkan *time series* seperti berikut :





Gambar 4.3 Contoh *plotting time series* stasiun DELS yang sudah dihilangkan outliers

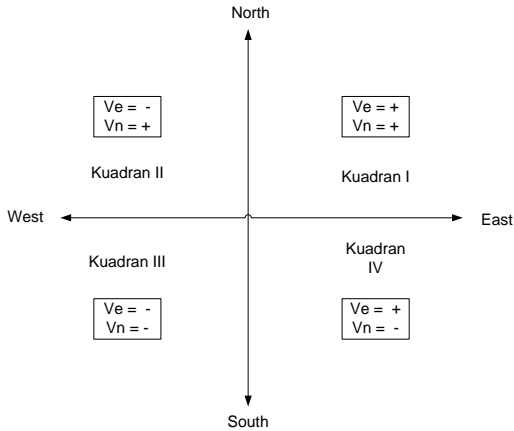
### 4.3 Hasil Pengolahan Vektor Pergeseran

Vektor pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan yang terjadi terhadap titik pengamatan dalam selang waktu tertentu. Acuan dalam mendapatkan vektor pergeseran adalah sesi pertama pengamatan masing-masing stasiun terhadap suatu sesi tertentu. Nilai vektor pergeseran yang dihasilkan dari suatu sesi pengamatan dapat bernilai *negatif* (-) atau *positif* (+), dimana nilai tersebut dapat mempengaruhi arah pergeseran. Vektor pergeseran dapat dilihat pada file *velo.org* atau dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Pergeseran stasiun pengamatan pada titik ikat BPTK

No	Site	Februari-Juli 2015		
		dE (m)	dN (m)	dU (m)
1	DELS	-0,01627	0,0082	-0,06924
2	GRWH	-0,01937	-0,02357	-0,00875
3	KLAT	0,02418	-0,00906	0,07725

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa nilai *negatif* (-) atau *positif* (+) dapat mempengaruhi arah pergeseran, dimana arah tersebut dapat ditentukan melalui pembagian kuadran seperti pada Gambar 4.4 berikut ini :



Gambar 4.4 Arah Pergeseran dalam Kuadran (Muafiry, 2015)

Setelah mengetahui besar pergeseran titik GPS dari Gunung Merapi selama enam bulan maka perlu dilakukan pengujian statistik untuk melihat hasil dari vektor pergeseran, tidak hanya secara kuantitatif namun juga secara kualitatif, apakah titik stasiun GPS tersebut mengalami pergeseran atau tidak. Pada penelitian ini pengujian dikhususkan untuk melihat vektor pergeseran dalam arah horisontal, selain menghasilkan ketelitian yang lebih baik daripada arah vertikal penggunaan pergeseran arah horisontal diperuntukkan untuk pencarian sumber magma pada pembahasan selanjutnya. Uji statistik yang dilakukan adalah uji- $t$  student. Uji statistik dilakukan dengan menguji variabel pergeseran titik ( $P_{xy}$ ) dari sesi pengamatan  $x$  ke sesi pengamatan  $y$  yang nilainya dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P_{xy} = \sqrt{(dn_{xy})^2 + de_{xy}^2} \quad (4.1)$$

Sedangkan untuk standart deviasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Std } P_{xy} = \sqrt{(\text{sd } dn_{xy})^2 + \text{sd } de_{xy}^2} \quad (4.2)$$

Hipotesis nol yang dilakukan pada uji statistik ini adalah titik pengamatan tidak bergeser dalam selang waktu  $x$  dan  $y$  sehingga :

$$\text{Hipotesis nol} \quad H_0 : P_{xy} = 0$$

$$\text{Hipotesis alternatif} \quad H_1 : P_{xy} \neq 0$$

Rumus statistik yang digunakan dalam menguji pergeseran titik pengamatan adalah :

$$T = P_{xy} / \text{Std } P_{xy} \quad (4.3)$$

Terakhir lakukan uji hipotesis signifikan seperti yang tercantum pada persamaan 2.2. Pergeseran dinyatakan signifikan atau hipotesis nol ditolak jika:

$$T > t_{df, \alpha/2}$$

$df$  diasumsikan tak terhingga karena data yang diamati sangat banyak, oleh karena itu digunakan tabel *t-distribution* dengan selang kepercayaan 95 % sehingga nilai dari uji hipotesis signifikan adalah sebesar 1,960. Tabel 4.2 berikut menunjukkan besar pergeseran yang terjadi di semua stasiun.

Tabel 4.2 Hasil Uji Statistik Vektor Pergeseran Horizontal Pengolahan Titik Ikat BPTK selama 6 bulan

Site	dN (m)	dE (m)	Std N (m)	Std E (m)	P	Std P	T	Pergeseran
DELS	0,0082	-0,01627	0,0022	0,0062	0,0182	0,00659	2,7609	Iya
GRWH	-0,02357	-0,01937	0,0018	0,0086	0,0305	0,00888	3,4321	Iya
KLAT	-0,00906	0,02418	0,0020	0,0056	0,0258	0,00602	4,2870	Iya

Dari hasil analisa vektor pergeseran diatas dapat disimpulkan bahwa ketiga stasiun GPS pengamatan Gunung Merapi mengalami pergeseran dengan besaran seperti yang tertera pada Tabel 4.1.

#### 4.4 Penentuan Posisi Tekanan Magma

Setelah melalui tahapan proses pengujian titik dan didapatkan bahwa titik tersebut bergeser, maka tahapan pengolahan dapat dilanjutkan ke dalam proses pencarian sumber tekanan magma. Pertama, nilai pergeseran horisontal titik-titik GPS dari waktu ke waktu diperoleh dengan mengurangi koordinat horisontal titik (*Easting* dan *Northing* UTM) dari titik yang bersangkutan dari dua waktu pengamatan. Adapun besar nilai pergeseran dari titik pengamatan di Gunung Merapi selama enam bulan adalah sebagai berikut

Tabel 4.3 Nilai Pergeseran Horisontal Pengolahan Titik Ikat BPTK selama 6 bulan

Stasiun	dN (m)	dE (m)	dHorizon (m)
DELS	0,0082	-0,01627	0,0182
GRWH	-0,02357	-0,01937	0,0305
KLAT	0,00906	0,02418	0,0258

Pada penelitian ini penentuan posisi tekanan magma diperoleh menggunakan program MATLAB (program Yokoyama). Hasil dari pengolahan titik ikat BPTK digunakan sebagai dasar perhitungan prediksi pusat tekanan magma. Prediksi posisi kedalaman sumber tekanan magma didapatkan melalui perbandingan nilai pergeseran horisontal observasi dengan rumus perhitungan model Yokoyama. Langkah pertama adalah melakukan input parameter konstanta  $P/\mu$  dengan interval minimum sehingga didapatkan nilai pergeseran Model Yokoyama. Pergeseran model tersebut kemudian dibandingkan pergeseran observasi dengan regresi linier, regresi berhenti saat didapatkan resultan dari koefisien a dan b bernilai 1. Kemudian lakukan kembali langkah input nilai konstanta  $P/\mu$  berikutnya, terus secara *trial and error* hingga interval maksimum. Hasil regresi dari tiap nilai konstanta  $P/\mu$  juga akan menghasilkan nilai lintang dan bujur, serta kedalaman tersendiri dengan pertambahan nilai tiap gridnya sesuai dengan Tabel 2.1. Nilai kedalaman fix didapatkan saat nilai resultan terbaik atau nilainya paling

mendekati 1, di lain sisi resultan terbaik tersebut juga menunjukkan nilai residual terkecil antara pergeseran model dan observasi. Pada Tabel 4.4 akan ditunjukkan proses regresi linier dari parameter Model Yokoyama hingga didapatkan nilai resultan terbaik, seperti berikut :

Tabel 4. 4 Pencarian Sumber Magma dengan Konsep Regresi

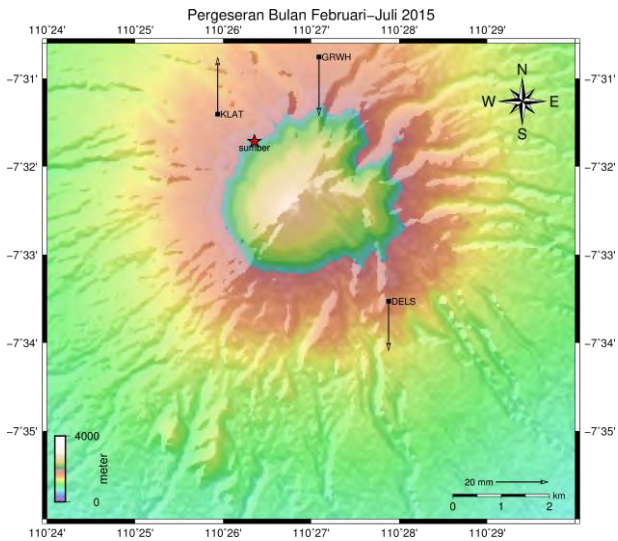
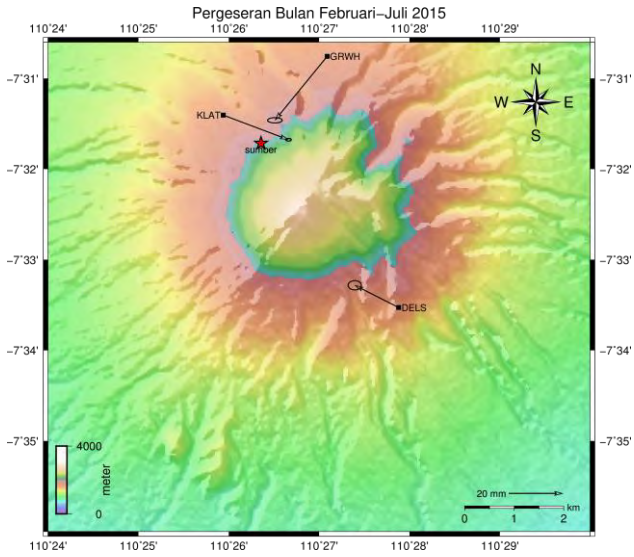
P/ $\mu$	Kedalaman (meter)	Resultan
0,97	450	1,017243
0,96	600	1,001816
0,94	900	1,004328
0,92	1200	1,008244
0,9	1500	1,013537
0,89	1650	1,002572
0,87	1950	1,010175
0,86	2100	1,001119
0,84	2400	1,010904

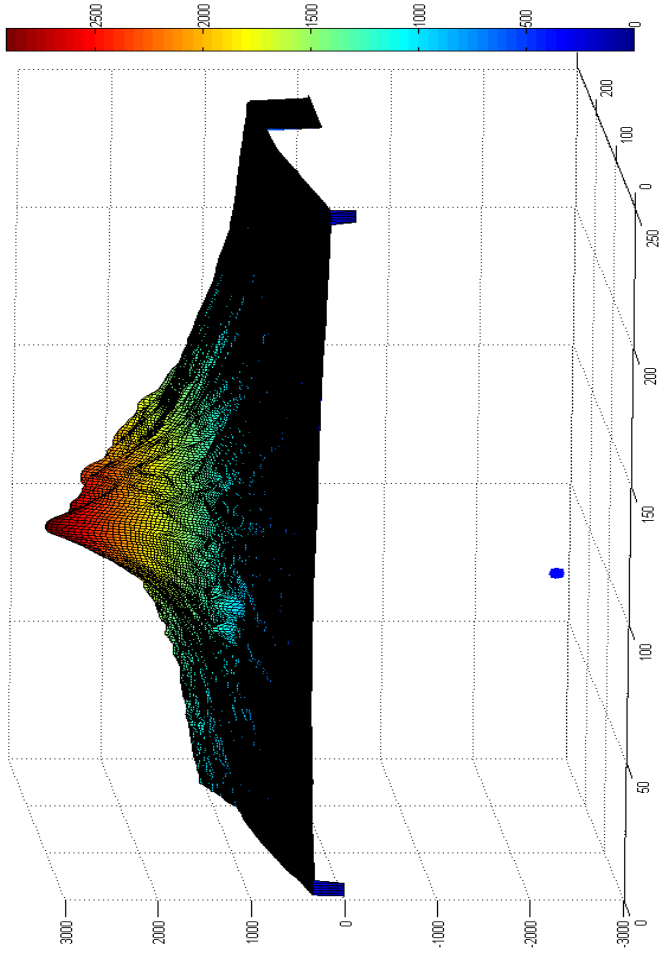
Tabel 4.4 menunjukkan pada konstanta 0,86 menghasilkan nilai resultan terbaik, dan untuk hasil lengkapnya dari prediksi sumber tekanan magma, terdapat pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5 Hasil Prediksi Sumber Tekanan Magma Gunung Merapi menggunakan Model Yokoyama

Nilai P/ $\mu$	0,86
Nilai Kedalaman	2.100 meter
Lintang	7°31'42,96" LS
Bujur	110°26'21,4" BT

Berdasarkan Tabel 4.5 diatas, maka dapat dilakukan *plotting* pergeseran horisontal dan vertikal pada permukaan Gunung Merapi menggunakan program GMT untuk melihat secara keseluruhan pergerakan stasiun dengan posisi sumber tekanan, selain itu juga dilakukan pemodelan secara 3D untuk melihat posisi kedalaman dalam arah vertikal seperti gambar berikut :





Gambar 4.7 Posisi Sumber Tekanan secara 3D

#### 4.5 Analisa Deformasi

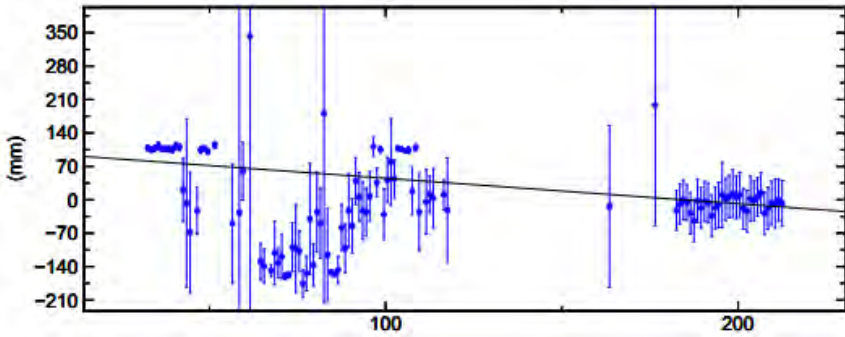
Pemantauan aktifitas gunung api melalui metode deformasi dititik beratkan pada monitoring proses inflasi dan deflasi akibat perubahan tekanan dari dalam tubuh gunung api. Proses perubahan badan gunung api tersebut dapat terekam melalui perubahan jarak antar titik pengamat dengan titik ikat (*baseline*) dan perubahan tinggi setiap titik. Berikut merupakan data perubahan panjang *baseline* dalam waktu enam bulan pengamatan :

Tabel 4.6 Perubahan Nilai *Baseline* Titik Ikat BPTK

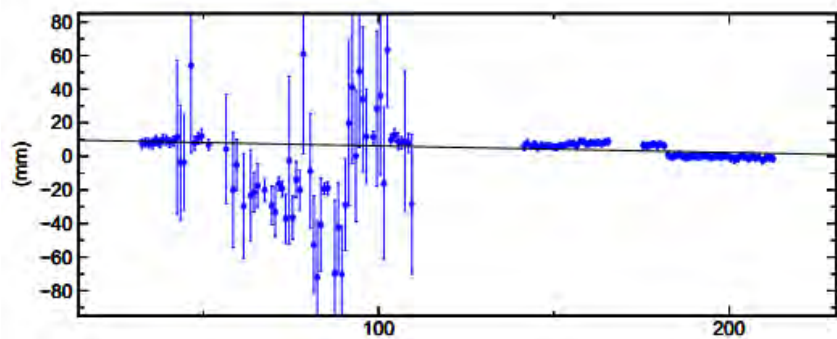
Base	Stasiun	Baseline		Nilai Perubahan (meter)
		Awal (meter)	Akhir (meter)	
BPTK	DELS	26978,2442	26978,2344	0,00984
	GRWH	31501,2329	31501,2472	-0,01426
	KLAT	29889,4824	29889,4797	0,00276

Selain perubahan panjang *baseline* aktifitas deformasi juga dapat ditunjukkan dengan perubahan tinggi titik setiap stasiun. Apabila perubahan condong ke arah positif maka dapat dikatakan bahwa gunung tersebut mengalami inflasi, sedangkan apabila nilai perubahan condong ke arah negatif maka dapat dikatakan bahwa gunung tersebut mengalami deflasi. Berikut ini merupakan grafik perubahan tinggi titik dari stasiun pengamatan GPS Gunung Merapi dalam waktu enam bulan pengamatan :

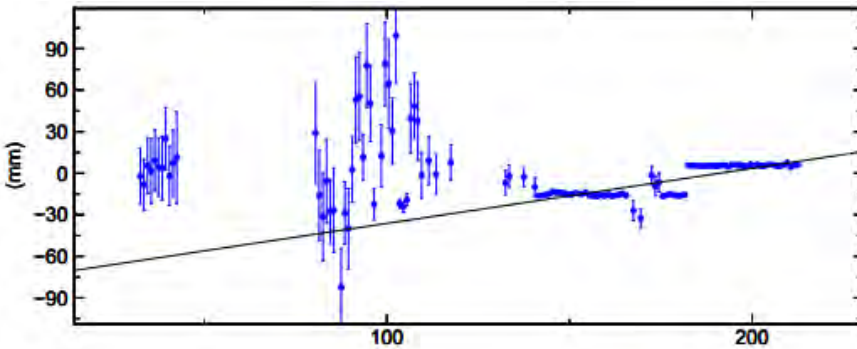




Gambar 4.8 Perubahan Tinggi Stasiun GPS DELS Bulan Februari-Juli 2015



Gambar 4.9 Perubahan Tinggi Stasiun GPS GRWH Bulan Februari-Juli 2015



Gambar 4.10 Perubahan Tinggi Stasiun GPS KLAT Bulan Februari-Juli 2015

Dari hasil Tabel 4.4 beserta ketiga gambar diatas dapat terlihat bahwa stasiun pengamatan DELS dan KLAT mengalami pemanjangan *baseline* terhadap base BPTK yang terdapat pada arah selatan Gunung Merapi (Gambar 4.5) sebesar 0,00984 meter dan 0,00276 meter, sedangkan stasiun pengamatan GRWH mengalami pemendekan sebesar -0,01426 meter. Untuk perubahan tinggi titik selama enam bulan, tiga titik pengamatan baik stasiun pengamatan DELS dan GRWH mengalami penurunan yang dapat diindikasikan sebagai deflasi sedangkan stasiun KLAT mengalami tren kenaikan, yang dapat diindikasikan sebagai inflasi.

Proses pemodelan aktifitas deformasi Gunung Merapi yang dilakukan pada bulan Februari hingga Juli 2015 menunjukkan lokasi dari sumber tekanan terdapat di sebelah Barat Laut dari puncak Gunung Merapi (Gambar 4.5) pada kedalaman 2100 meter relatif terhadap puncak. Pada penelitian lain ditinjau dari segi sumber tekanan menggunakan pemodelan Anomali Bouguer terlihat bahwa pada kedalaman 2500 meter tampak adanya distribusi densitas rendah di daerah Gunung Merapi, densitas rendah ini diasumsikan berbentuk *ellips* yang ditafsirkan sebagai kantong magma (Sarkowi, 2010). Sedangkan terdapat publikasi lain yang juga menyatakan letak kantong magma dari Gunung

Merapi berkisar pada kedalaman 2000 meter hingga 2500 meter (Bahlefi, 2013). Dari kedua pernyataan diatas maka prediksi kedalaman dari Model Yokoyama dapat dikatakan mendekati atau masih dalam kisaran nilai yang sama dengan nilai kedalaman sebesar 2100 meter. Aktifitas yang terjadi pada sumber tekanan dangkal memberikan interaksi yang terekam pada permukaan Gunung Merapi, hal tersebut dapat terlihat dari arah pergerakan vektor pada Gambar 4.5. Dapat dilihat dari stasiun DELS dan stasiun GRWH yang terletak di sebelah tenggara dan utara dari puncak Gunung Merapi mengalami pergeseran yang sama ke arah barat menuju ke sumber tekanan dengan indikasi mengalami pemendekan *baseline* dan sifatnya adalah deflasi, sedangkan stasiun KLAT yang berada di sebelah barat daya puncak mengalami pergeseran ke tenggara dengan indikasi pemanjangan *baseline* dan bersifat inflasi. Aktifitas diatas mencerminkan pola pergerakan magma dari arah barat ke timur menuju puncak dengan pola pergerakan magma membentuk pola radial searah dari sumber tekanan menuju puncak.

Berdasarkan penelitian ini, posisi dari tekanan magma masih berada pada kisaran kantong magma, walaupun telah terjadi beberapa aktifitas gempa vulkanik pada kedalaman dangkal (vulkanik B) terhitung sebanyak empat kali dari bulan Februari hingga Juli 2015 (BPPTKG, 2016). Pemodelan deformasi menggunakan data GPS dapat digunakan untuk memperkirakan posisi dari sumber tekanan magma Gunung Merapi. Selain itu, inflasi pada tubuh Gunung Merapi mengindikasikan bahwa telah terjadi aktifitas dari sumber magma yang menekan tubuh gunung sehingga perlu adanya penelitian yang lebih lanjut terhadap Gunung Merapi.

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1 CONTROL FILES GAMIT/GLOBK

### File station.info

```
# Station.info written by MSTINF user yuandhika
on 2016-03-21 11:43

* Refrence 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 GR10
2.62/6.112          0.00 1700158          LEIAR10
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?
.
```

## File lfile.

```

Epoch 2015.0301: From file itrfo8.apr

BPTK BPTK GPS      S 7 44 46.66169 E110 23  3.78701
6377886.5032 Ref. Epoch 2015.0328 BPTK_GPS

DELS DELS GPS      S07 31 03.75094 E110 27 52.87956
6379201.2083 Updated from 120155.012

GRWH GRWH GPS      S07 28 18.57974 E110 27 05.42904
6379819.6782 Updated from 120155.012

KLAT KLAT GPS      S07 28 57.21970 E110 25 56.38029
6379697.1700 Updated from 120155.015

```

## File sittbl.

```

SITE                FIX      --COORD.CONSTR.--

    << default for regional stations >>

ALL                 NNN      100.  100.  100.

    << IGS core stations >>

BPTK BPTK_GPS      NNN      0.001 0.001  0.01
VILL VILL_GPS      NNN      0.050 0.050  0.05
MAS1 MAS1_GPS      NNN      0.050 0.050  0.05

```

## File sites.defaults

```

# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
.
.
.
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the
following to list sites needed from external archive
all_sites expt xstinfo
bptk_gps 2015 localrx xstinfo
dels_gps 2015 localrx xstinfo
klat_gps 2015 localrx xstinfo
grwh_gps 2015 localrx xstinfo
# templates for removing sites
ttht_gps expt xsite:1999_256-1999_278 glreps
xsite:1999_300-1999_365

```

## File globk.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 >>

```

## File globk.cmd

```

* This group of commands must appear before any others:
  srt_file @.srt
  srt_dir +1
  eq_file ../tables/IGS08_disc.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 itrff08_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_chi1 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 GEOD BLEN UTM
  org_opt PSUM CMDS GDLF 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_utl  10 0
# If combining with global h-files, allow EOPS to change
# between days
x mar_wob 3650 3650 365 365
x mar_utl 365 365
# EOP tight if translation-only stabilization in glory
x apr_wob .25 .25 .1 .1
x apr utl .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_scra 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 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 glorg.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 scale
#   or if translation-only
x pos_org xtran ytran ztran

* Downweight of height relative 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 klat dels grwh
```

## LAMPIRAN 2

### SCRIPT PROGRAM MODEL YOKOYAMA

```

clc;
clearvars

%Import file koordinat
[file,path]=uigetfile('H:\Task\Lulus Cumlaude\Semester
8\Tugas Akhir\*.txt');
file=[path file];
A=load(file);

%Pergeseran Horizontal Observasi
HDels= 0.0182;
HGrwh= 0.0305;
HKlat= 0.0258;

%Diketahui Koordinat Puncak, Base (BPTK), dan Stasiun
Pengamat
%Koordinat Puncak
Xp=(A(1,1)+(A(1,2)/60)+(A(1,3)/3600));
Yp=(A(1,4)+(A(1,5)/60)+(A(1,6)/3600));
Zp=A(1,7);
%Koordinat Base (BPTK)
Xb=(A(2,1)+(A(2,2)/60)+(A(2,3)/3600));
Yb=(A(2,4)+(A(2,5)/60)+(A(2,6)/3600));
Zb=A(2,7);
%Koordinat Stasiun Pengamat (DELS)
Xd=(A(3,1)+(A(3,2)/60)+(A(3,3)/3600));
Yd=(A(3,4)+(A(3,5)/60)+(A(3,6)/3600));
Zd=A(3,7);
%Koordinat Stasiun Pengamat (GRWH)
Xg=(A(4,1)+(A(4,2)/60)+(A(4,3)/3600));
Yg=(A(4,4)+(A(4,5)/60)+(A(4,6)/3600));
Zg=A(4,7);
%Koordinat Stasiun Pengamat (KLAT)
Xk=(A(5,1)+(A(5,2)/60)+(A(5,3)/3600));
Yk=(A(5,4)+(A(5,5)/60)+(A(5,6)/3600));
Zk=A(5,7);

%Menghitung selisih koordinat terhadap puncak
Ydp=(Yd-Yp)*110*1000; Xdp=(Xd-Xp)*110*1000; Zdp=Zd;
Ygp=(Yg-Yp)*110*1000; Xgp=(Xg-Xp)*110*1000; Zgp=Zg;
Ykp=(Yk-Yp)*110*1000; Xkp=(Xk-Xp)*110*1000; Zkp=Zk;

%Menghitung jarak terhadap puncak
HDels=sqrt((Xdp-0)^2+(Ydp-0)^2);
HGrwh=sqrt((Xgp-0)^2+(Ygp-0)^2);

```

```

HKlat=sqrt((Xkp-0)^2+(Ykp-0)^2);

%Input Parameter Yokoyama
%Kedalaman
H=15000;

%Input
K1=((1/18)*(0.38));
K2=((1/126)*(0.38));

%Iterasi
j=100;

%Tempat penyimpanan data
X1=zeros(j,1);
Hdb=X1; Hds=X1;Hdg=X1;Hdk=X1;
HdispObs=[HDels HGrwh HKlat]';
s=size(HdispObs,1); %Banyak Stasiun

for i=1:j

    HZ(i)=150*i;
    Htes(i)=H-HZ(i);
    Za(i)=(Zdp+H-HZ(i));
    Zg(i)=(Zgp+H-HZ(i));
    Zk(i)=(Zkp+H-HZ(i));

%Pergeseran Horisontal Yokoyama(Delta D)
c2(i)=(6*Za(i)*HDels)/sqrt((Za(i)^2+HDels^2)^3);
d2(i)=(3*(Za(i)-sqrt((Za(i)^2+HDels^2))))/(
    HDels*(sqrt(Za(i)^2+HDels^2)));
e2(i)=(19*Za(i)*HDels)/sqrt((Za(i)^2+HDels^2)^3);
f2(i)=2*HDels/(Za(i)*(sqrt((Za(i)^2+HDels^2)^3)));
g2(i)=(2*Za(i)-(2*(sqrt(Za(i)^2+HDels^2))))/(
    HDels^3*(sqrt(Za(i)^2+HDels^2)));
Hds(i)=(c2(i)-d2(i)/K1)+((e2(i)-f2(i)+g2(i))/K2)

c3(i)=(6*Zg(i)*HGrwh)/sqrt((Zg(i)^2+HGrwh^2)^3);
d3(i)=(3*(Zg(i)-(sqrt((Zg(i)^2+HGrwh^2))))/(
    HGrwh*(sqrt(Zg(i)^2+HGrwh^2)));
e3(i)=(19*Zg(i)*HGrwh)/sqrt((Zg(i)^2+HGrwh^2)^3);
f3(i)=2*HGrwh/(Zg(i)*(sqrt((Zg(i)^2+HGrwh^2)^3)));
g3(i)=(2*Zg(i)-(2*(sqrt(Zg(i)^2+HGrwh^2))))/(
    HGrwh^3*(sqrt(Zg(i)^2+HGrwh^2)));
Hdg(i)=(c3(i)-d3(i)/K1)+((e3(i)-f3(i)+g3(i))/K2);

```

```

c4(i)=(6*Zk(i)*HKlat)/sqrt((Zk(i)^2+HKlat^2)^3);
d4(i)=(3*(Zk(i)-(sqrt((Zk(i)^2+HKlat^2)))))/(
(HKlat*(sqrt(Zk(i)^2+HKlat^2))));
e4(i)=(19*Zk(i)*HKlat)/sqrt((Zk(i)^2+HKlat^2)^3);
f4(i)=2*HKlat/(Zk(i)*(sqrt((Zk(i)^2+HKlat^2)^3)));
g4(i)=(2*Zk(i)-(2*(sqrt(Zk(i)^2+HKlat^2))))/(
(HKlat^3*(sqrt(Zk(i)^2+HKlat^2))));
Hdk(i)=((c4(i)-d4(i))/K1)+((e4(i)-f4(i)+g4(i))/K2);

end

Mat=[Hds Hdg Hdk]; %Pergeseran Model
c=size(Mat,1);

for i=1:c
    HdispTheo{i}=Mat(i,:); %Memanggil Baris ke 1 sampai ke-i

%Menghitung Nilai Parameter a dan b dari Persamaan Regresi
y=ax+b

    o{i}=HdispTheo{1,i};
    O=o{i};

b{i}=(((s*((O(1,1)*HdispObs(1,1)+O(1,2)*HdispObs(2,1)+O(1,3)
)*HdispObs(3,1)))-[sum(HdispTheo{1,i})*sum(HdispObs)])/(
(s*((HdispObs(1,1)^2)+(HdispObs(2,1)^2)+(HdispObs(3,1)^2))
-(sum(HdispObs)^2)))

a{i}=(sum(HdispTheo{1,i})-b{i}*(sum(HdispObs)))/s

%Menghitung Resultan
R{i}=(a{i}^2+b{i}^2)^0.5;
r(i)=R{i}

    if(R{i}>=1.00), break, end
end

e=size(r,2);
Kedalaman=Htes(1,(1:e));
Matriks=[Kedalaman];
Kedalaman=15000-(Matriks(1,e));
Konstantafix=1-(0.01*e)
Kfix=(0.01*e);

%Iterasi Lintang&Bujur
Lintang=7.521613206;

```

```

Bujur=110.4323244;
Interval=0.0005;

LintangFix=Lintang+(Interval*e);
BujurFix=Bujur+(Interval*e);

%Penentuan Volume Suply Magma
Volume1=(Kfix)*1.33*(22/7);
%1000000

%Posisi Tekanan Magma
Kfix=[num2str(Kfix)];
Kedalaman=[num2str(Kedalaman)];
Lintang=[num2str(LintangFix)];
Bujur=[num2str(BujurFix)];
Volume=[num2str(Volume1)];

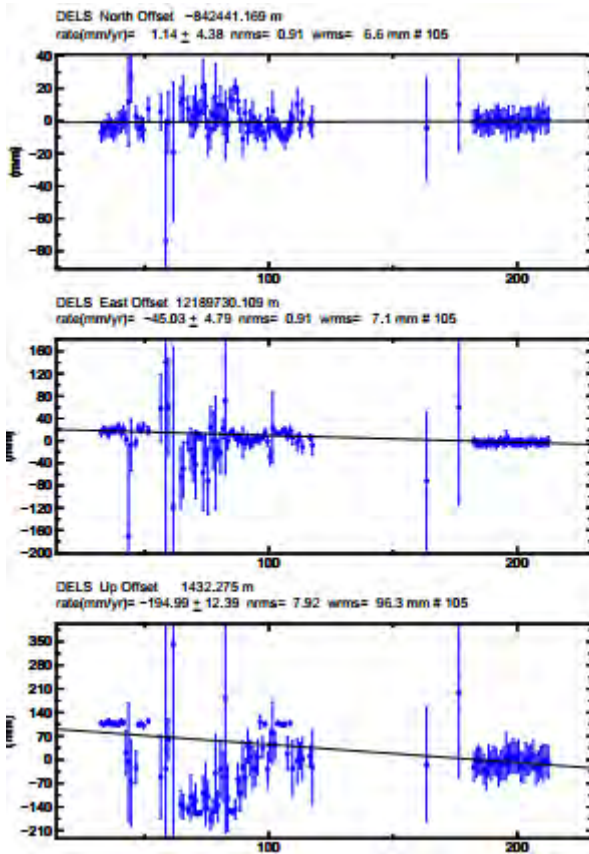
%Plot 3D Gunung Merapi dan Posisi Tekanan Magma
[X, cmap, R, bbox] = geotiffread('tinmerapi3.tif');
pengali=X>=0;
X1=X.*pengali;
X1=double(X1);
a=ones(3);
b=1/9;
a=a.*b;
X1=flipud(X1);
Z=surf(X1, 'FaceColor', 'interp', 'FaceLighting', 'gouraud');
colorbar;
hold on

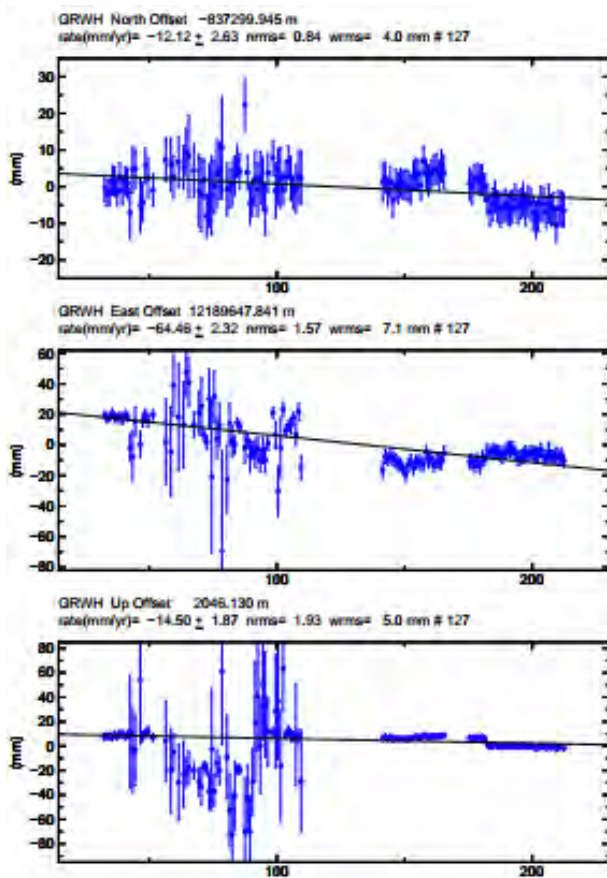
x=92;
y=155;
z=-2100;
plot3(x,y,z, '*', 'linewidth', 50)
grid on

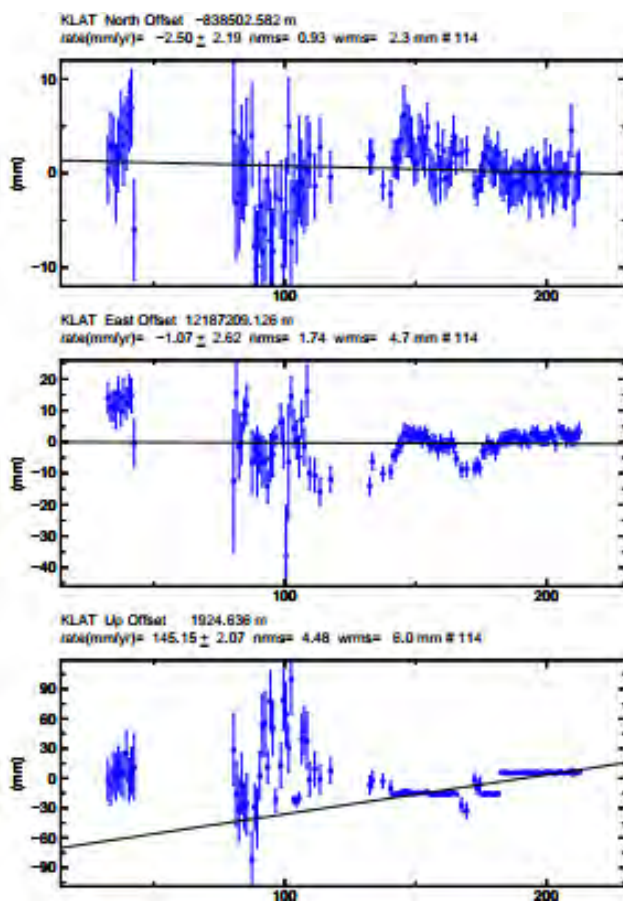
```

### LAMPIRAN 3

#### Plot Time Series Stasiun Pengamat









## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang di dapatkan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Arah dan besar pergeseran dari titik pengamatan GPS Gunung Merapi pada bulan Februari hingga Juli 2015 adalah sebesar 0,01822 meter dalam horisontal menuju ke arah barat laut dan vertikal sebesar 0,06924 meter dengan sifat deflasi untuk stasiun DELS, horisontal sebesar 0,030508 meter menuju ke arah barat daya dan vertikal sebesar 0,00875 meter dengan sifat deflasi untuk stasiun GRWH, horisontal sebesar 0,025822 meter menuju ke arah tenggara dan vertikal sebesar 0,07725 meter dengan sifat inflasi untuk stasiun KLAT.
2. Pusat tekanan magma Gunung Merapi berada pada koordinat  $7^{\circ}31'42,96''$  LS dan  $110^{\circ}26'21,4''$  BT dengan kedalaman 2.100 m relatif terhadap puncak dan nilai intensitas sebesar 0,86.

#### **5.2. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlunya upaya integrasi dari beberapa metode, selain metode deformasi untuk memberikan hasil yang lebih akurat terkait penentuan arah, besar dan sumber tekanan magma gunung api. Beberapa metode yang dapat menunjang antara lain seperti metode gaya berat, metode seismik, metode geokimia, dan lain-lain.
2. Perlunya penambahan stasiun GPS pengamatan dengan mempertimbangkan juga aspek kelengkapan data dari stasiun tersebut dalam pengolahan data yang bertujuan

untuk meningkatkan nilai kelaikan dari pergeseran horizontal observasi.

3. Perlunya melakukan perbandingan antar pemodelan sumber tekanan menggunakan geometri atau metode yang berbeda, dengan tujuan sebagai bahan koreksi akan nilai dari posisi kedalaman yang didapatkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Edisi Ketiga. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Aisyah, N., 2014. *Kombinasi Model Mogi dan Yokoyama untuk Estimasi Lokasi Sumber Tekanan dan Volume Suplai Magma Gunung Merapi Periode 2011-2013*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Asriningrum, W., Noviar, H. & S., 2004. Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunung Api Studi Kasus Gunung Merapi. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengelolaan Data Citra Digital*, 1(1, Juni), pp. 66-75.
- Bahlefi, A. R., 2013. *Analisis Deformasi Gunung Merapi Tahun 2012 Dari Data Pengamatan GPS*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- BPPTKG, 2016. [merapi.bgl.esdm.go.id/informasimerapi\\_](http://merapi.bgl.esdm.go.id/informasimerapi_)  
Diakses 17 Mei 2016.
- Dzurisin, D., 2007. *Volcano Deformation, Springer-Praxis Books In Geophysical Sciences*. Bath, United Kingdom: University of Bath.
- Galland, O., 2012. Experimental modelling of Ground Deformation Associated with Shallow Magma Intrusion. *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 317-318, pp. 145-156.
- Ghilani, C. D. & Wolf, P. R., 2006. *Adjustment Computations*. 4th. New Jersey, Canada: John Wiley & Sons.
- Han, S. C., 2000. *Static and Kinematic Absolute GPS Positioning and Satellite Clock Error Estimation*. Ohio: The Ohio State University.
- Muafiry, I. N., 2015. *Analisis Deformasi Akibat Gempa Bumi Kepulauan Mentawai Menggunakan Pengamatan GPS Kontinyu (Studi Kasus : Gempa Mentawai Tahun 2008)*. Surabaya: Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Myers, R. H. & Walpole, R. E., 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Edisi Keempat. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nandi, 2006. *Vulkanisme*, Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- PVMBG, 2016. [www.vsi.esdm.go.id/Gunungapi/Datadasar-gunungapi](http://www.vsi.esdm.go.id/Gunungapi/Datadasar-gunungapi). Diakses 17 Mei 2016.
- Romsiyatin & Basid, A., 2012. Penentuan Sebaran Hiposenter Gunung Api Merapi Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Tahun 2006. *Jurnal Neutrino*, Vol.4 (No.2).
- Riduwan. & Sunarto., 2007. *Pengantar Statistika untuk Penelitian Pendidikan, Sosial, Ekonomi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- Safi'i, A. N., 2014. *Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horizontal pada Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Menggunakan Software Gamit 10.5*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sarkowi, M., 2010. Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Gunung Merbabu-Merapi Berdasarkan Pemodelan 3D Anomali Baougeur. *Jurnal Berkala Fisika*, Volume 13, pp.11-18.
- Seeber, G., 2003. *Satellite Geodesy*. Edisi Kedua penyunt. Berlin, Germany: Walter de Gruyter.
- Shang-Long, K., 1991. *Optimization and Design of Deformation Monitoring Schemes*. Canada: Departement of Geodesy and Geomatics Engineering, University of Brunswick.
- Singh, S. J. & Mal, A. K., 1991. *Deformation of Elastic Solids*. 1st penyunt. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Sudjana, 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Trasiito.
- Suyanto, I., 2012. *Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi dari Analisis Data Magnetik dengan Menggunakan Software Geosoft*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Syahputra, R. A., 2014. *Pemodelan Deformasi dari Data GPS untuk Penentuan Lokasi Pusat Tekanan Magma Kawasan*

*Vulkanik Aktif Menggunakan Model Mogi*, Surabaya:  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

USGS, 1999. <http://pubs.usgs.gov/publications/text/Vigil.html>.  
Diakses 28 Juni 2016.

Yokoyama, I., 1971. A Model for the Crustal Deformation around  
Volcanoes. *Journal of Physics of The Earth*, Vol. 19  
(No.3).

## BIODATA PENULIS



Yuandhika Galih Wismaya lahir di Surabaya pada tanggal 18 Desember 1993. Anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Yuali Eben Haezer dan Yuarningsih. Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara lain SDN Semolowaru I-261 Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, dan SMA Negeri 16 Surabaya. Tahun 2012, penulis yang akrab dipanggil Yuan atau Dhika ini diterima pada Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS. Selama menjalani perkuliahan, penulis juga cukup aktif di berbagai organisasai jurusan, fakultas dan institut, diantaranya penulis merupakan Pemandu LKMM FTSP “Proksi”, Ketua Biro Pelatihan PSDM HIMAGE-ITS 2014/2015, Ketua Bakor Pemandu FTSP ITS 2014/2015, Ketua Koordinator Divisi Bakor Pemandu ITS 2015/2016, dan anggota legislatif di himpunan sebagai BPM HIMAGE-ITS 2015/2016. Adapun karya tulis yang pernah dihasilkan antara lain “*Smart Clean and Dry Machine* : Solusi Peningkatan Produktifitas Kentang Pasca Panen di Malang, Jawa Timur” dan “La-Tect : Lawet Tourism Object”. Penulis mengambil penelitian tugas akhir di bidang keahlian ilmu Geodinamika dengan judul “Pemodelan Deformasi Gunung Merapi dengan Model Yokoyama Menggunakan Data GPS”.