

# Penerapan Model Deformasi Horizontal Mogi untuk Prediksi Perubahan Volume Sumber Tekanan pada Gunungapi Guntur

APRIS SETYA<sup>1</sup>, N. M. R. RATIH C. PERBANI<sup>1</sup>, UMAR ROSADI<sup>3</sup>

1. Jurusan Teknik Geodesi, FTSP Institut Teknologi Nasional, Bandung
2. Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi  
Email: apris\_setya@yahoo.com

## ABSTRAK

*Gunungapi Guntur merupakan gunungapi aktif yang memiliki potensi bencana letusan yang berulang, maka aktivitasnya perlu diamati secara kontinu. Informasi lokasi dan perubahan volume sumber tekanan sangat bermanfaat dalam pemantauan aktivitas gunungapi. Model Mogi [Mogi, 1958] dapat digunakan dalam penentuan perubahan volume sumber tekanan. Penelitian ini ditujukan untuk menentukan parameter-parameter Model Mogi berupa jarak radial antara titik pantau terhadap sumber tekanan, kedalaman sumber tekanan menggunakan gridding, dan perubahan volume sumber tekanan menggunakan teknik kuadrat terkecil. Kedalaman sumber tekanan ditentukan dalam rentang 5 sampai dengan 10 km dengan interval 1 km. Parameter jarak radial sumber tekanan terhadap titik-titik pantau diambil dari Kawah Masigit terhadap tiga titik pantau (Citiis (CTSG), Masigit (Msgt) dan Sodong (SODN)) periode Februari 2012 s.d April 2013. Teknik kuadrat terkecil diterapkan untuk penentuan parameter perubahan volume sumber tekanan. Hasil deformasi horizontal Model Mogi diuji kemiripannya dengan hasil pengukuran menggunakan goodness of fit  $\chi^2$ . Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai best fit pada kisaran kedalaman 5 km. Pola perubahan volume pada umumnya bersifat periodik, dengan periode antara dua setengah sampai dengan tiga bulan dengan nilai fluktuasi yang beragam.*

**Kata kunci:** Model Mogi, gridding, kuadrat terkecil, goodness of fit  $\chi^2$

## ABSTRACT

*Mount Guntur is vulcano active and has the potential disaster eruption could happen then activity Guntur vulcano need observed continuously. Information about the location and volume changes source pressure will be very beneficial in monitoring activities Guntur vulcano. Model mogi [mogi, 1958] is one model that can be used in the determination volume changes source pressure. Least square adjustment worn to solving parameters volume changes source pressure, while parameters depth source pressure using methods gridding in range depth 5 s.d 10 km by intervals 1 km and parameters distance radial source pressure upon observation points taken from Masigit crater. With the data deformation toward the horizontal on observation points citiis (ctsg), masigit (msgt), and sodong (sodn) period february 2012 - april 2013. Deformation horizontal results model mogi will be done testing similarities data with deformation horizontal result of measurement GPS using goodness of fit  $\chi^2$  method. Result goodness of fit  $\chi^2$  method produce the best value lies in the depth around 5km Pattern of volume changes in general be periodic, with a period between two a half to three months with a variety of value fluctuations.*

**Keywords:** Guntur Vulcano, Least Square Adjusment Mogi Models, volume changes source pressure

## 1. PENDAHULUAN

[Kusumadinata,1979] menyatakan bahwa Gunungapi Guntur merupakan salah satu gunungapi aktif di antara tujuh belas gunungapi yang ada di Provinsi Jawa Barat. Melihat potensi bencana letusan yang bisa terulang maka aktivitas Gunungapi Guntur sebaiknya diamati secara kontinyu. Pengamatan aktifitas gunungapi di antaranya dengan pengamatan deformasi dan aktifitas kegempaan (seismisitas).

Model Mogi [Mogi, 1958] merupakan salah satu model yang dapat digunakan dalam penentuan perubahan volume tekanan dengan mengasumsikan sumber tekanan tersebut sebagai bola. Pada prinsipnya dari Model Mogi akan dihasilkan data model deformasi permukaan dari input data deformasi hasil ukuran, jarak titik pantau dengan lokasi pusat tekanan, kedalaman dan perubahan volume pusat tekanan.

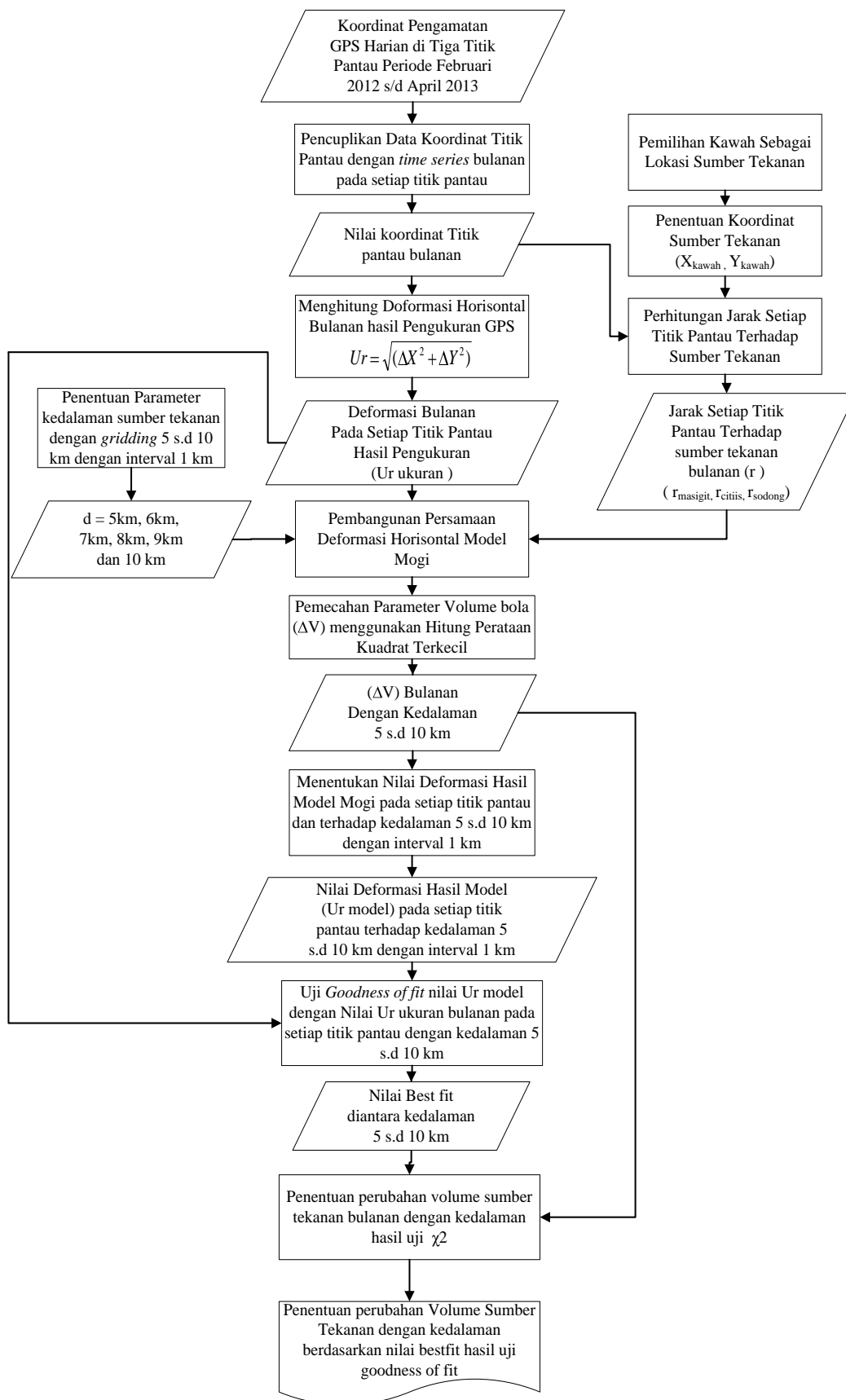
Informasi mengenai lokasi dan perubahan volume sumber tekanan akan sangat bermanfaat dalam pemantauan aktivitas gunungapi. [Yudi, 2010] menentukan lokasi sumber tekanan dengan metode *gridding*. [Bifulco, 2009] menggunakan metode kuadrat terkecil dalam pemecahan parameter-parameter dalam Model Mogi. Pada penelitian ini digunakan kedua pendekatan tersebut dalam menentukan lokasi dan kedalaman sumber tekanan beserta perubahan volumenya. Setelah diketahui lokasi dan perubahan volume sumber tekanannya diharapkan dapat menambah bahan analisis yang dapat dipakai untuk keperluan mitigasi bencana apabila gunungapi tersebut terjadi letusan. Setelah diketahui lokasi dan perubahan volume sumber tekanannya diharapkan dapat menambah bahan analisis yang dapat dipakai untuk keperluan mitigasi bencana apabila gunungapi tersebut terjadi letusan..

Rumusan masalah yang dapat diangkat dalam penelitian ini adalah "Bagaimana cara menentukan parameter-parameter Model Mogi berdasarkan data deformasi horizontal hasil pengukuran menggunakan teknik *gridding* dan kuadrat terkecil sehingga didapatkan informasi kedalaman dan perubahan volume sumber tekanan pada Gunungapi Guntur?". Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah menentukan parameter-parameter Model Mogi untuk Gunungapi Guntur berupa jarak radial antara titik pantau terhadap sumber tekanan, kedalaman sumber tekanan menggunakan *gridding*, dan perubahan volume sumber tekanan menggunakan teknik kuadrat terkecil, Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut: Penentuan kawah yang diasumsikan sebagai lokasi pusat tekanan dengan mempertimbangkan aktivitas vulkanik yang terjadi, Deformasi horizontal hasil Model Mogi akan dilakukan pengujian kemiripan data dengan deformasi horizontal hasil pengukuran menggunakan *goodness of fit  $\chi^2$* , Perubahan volume sumber tekanan berupa perubahan bulanan

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dipakai dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1

*Penerapan Model Deformasi Horizontal Mogi untuk Prediksi Perubahan Volume Sumber Tekanan pada Gunungapi Guntur*



Gambar 2.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Data yang digunakan yaitu data observasi GPS yang diambil secara *real time* kontinu di setiap titik pantau yaitu Masigit (msgt), Citiis (ctsg) dan Sodong (sodn) periode Februari 2012 – Maret 2013. Parameter perubahan volume sumber tekanan ditentukan menggunakan hitung perataan kuadrat terkecil menurut [Bifulco, 2009] dengan mengubah data deformasi ke arah vertikal dengan data deformasi ke arah horizontal, sedangkan penentuan kedalaman sumber tekanan dilakukan *gridding* pada kedalaman 5 s.d 10 km dengan interval 1 km dan penentuan sumber tekanan terdapat pada Kawah Masigit. Persamaan Model Mogi kearah horizontal ditampilkan dibawah ini

$$U_r = \frac{3\Delta V r}{4\pi\sqrt{(r^2 + d^2)^3}}$$

di mana :

- Ur : Nilai deformasi horizontal
- $\Delta V$  : Perubahan volume sumber tekanan
- d : Kedalaman pusat tekanan
- r : Jarak radial antara sumber tekanan dan titik pantau
- $\pi$  : Konstanta Lame

### 3. HASIL DAN ANALISIS

#### 3.1 Deformasi Horizontal

Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data hasil pengamatan GPS harian secara kontinu pada titik pantau Masigit (MSGT), Citiis (CTGS) dan Sodong (SODN) periode Februari 2012 s.d April 2013. Data pengamatan GPS harian dicuplik menjadi data GPS bulanan, hal ini dilakukan karena penelitian ini diperuntukkan sebagai langkah awal untuk melihat pola perubahan volume sumber tekanan sehingga data yang digunakan belum menggunakan data yang rapat seperti data deformasi harian.

#### 3.2 Pembangunan Persamaan Pengamatan Model Mogi

Pembangunan persamaan pengamatan yang dipakai dalam penelitian ini mengikuti metode dari [Bifulco, 2009] dengan menggunakan data deformasi ke arah horizontal. Terdapat tiga parameter yang terdapat dalam Model Mogi, yaitu : kedalaman sumber tekanan (d), jarak radial sumber tekanan terhadap titik pantau (r) dan perubahan volume ( $\Delta V$ ) yang akan dijelaskan seperti berikut ini.

##### 3.2.1 Penentuan Parameter Kedalaman Sumber Tekanan (d)

Penentuan parameter kedalaman sumber tekanan (d) ditentukan dengan metode *gridding* pada rentang kedalaman 5 s.d 10 km dan dibuat interval per satu kilometer. Kedalaman 5 s.d 10 km dipilih dengan mempertimbangkan hasil penelitian [Yudi, 2010] yang menyatakan bahwa kedalaman sumber tekanan cenderung berada pada kedalaman 5 s.d 10 km. Jarak bulanan antara Kawah Masigit terhadap tiga titik pantau dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Jarak Kawah Masigit Terhadap Setiap Titik Pantau

Bulan	Jarak setiap titik pantau terhadap Kawah Masigit (m)		
	CTSG	MSGT	SODN
Feb-12	1895.573	140.0075	1148.540
Mar-12	1895.574	140.0275	1148.531
Apr-12	1895.57	140.0202	1148.533
May-12	1895.577	140.0237	1148.536
Jun-12	1895.574	140.0241	1148.532

Jul-12	1895.567	140.0173	1148.516
Aug-12	1895.562	140.014	1148.516
Sep-12	1895.571	140.0245	1148.524
Oct-12	1895.576	140.0273	1148.528
Nov-12	1895.578	140.0205	1148.537
Dec-12	1895.582	139.9786	1148.525
Jan-13	1895.581	140.0200	1148.545
Feb-13	1895.580	140.0237	1148.535
Mar-13	1895.573	140.0167	1148.53
Apr-13	1895.585	140.0173	1148.546

### 3.2.2 Parameter Jarak Radial Titik Pantau Terhadap Lokasi Sumber Tekanan (r)

Untuk menentukan jarak radial sumber tekanan terhadap titik pantau perlu diketahui lokasi sumber tekanan. Penentuan lokasi yang diasumsikan sebagai pusat tekanan yang terjadi di tubuh Gunungapi Guntur ditentukan dengan mempertimbangkan adanya kawah-kawah aktif yang berada di puncak Gunungapi Guntur. Kawah Masigit merupakan kawah terbesar dan teraktif dari kawah-kawah lain yang terdapat di puncak Gunungapi Guntur sehingga jarak radial antara sumber tekanan terhadap titik pantau dapat dihitung.

### 3.2.3 Penentuan Parameter Perubahan Volume Sumber Tekanan ( $\Delta V$ )

Penentuan parameter kedalaman sumber tekanan (d) dan parameter jarak radial sumber tekanan terhadap setiap titik pantau telah ditentukan sebelumnya sehingga kedua parameter tersebut menjadi besaran yang telah diketahui nilainya, sehingga pada pemecahan parameter  $\Delta V$  menggunakan perataan kuadrat terkecil hanya  $\square V$  itu sendiri. Hasil dari pembangunan persamaan pengamatan Model Mogi ditampilkan pada persamaan berikut

$$U_r = \frac{3r}{4\pi\sqrt{(r^2 + d^2)^3}} \Delta V$$

Sehingga persamaan Model Mogi terhadap tiga titik pantau dan turunannya menjadi:

$$U_{r_{MSGT}} = \frac{3r_{Masigit}}{4\pi\sqrt{(r^2_{Masigit} + d^2)^3}} \Delta V \quad \rightarrow \quad \frac{d}{d\Delta V} U_{r_{MSGT}} = \frac{3r_{Masigit}}{4\pi\sqrt{(r^2_{Masigit} + d^2)^3}}$$

$$U_{r_{CTSG}} = \frac{3r_{citiis}}{4\pi\sqrt{(r^2_{citiis} + d^2)^3}} \Delta V \quad \rightarrow \quad \frac{d}{d\Delta V} U_{r_{CTSG}} = \frac{3r_{citiis}}{4\pi\sqrt{(r^2_{citiis} + d^2)^3}}$$

$$U_{r_{SODN}} = \frac{3r_{sodong}}{4\pi\sqrt{(r^2_{sodong} + d^2)^3}} \Delta V \quad \rightarrow \quad \frac{d}{d\Delta V} U_{r_{SODN}} = \frac{3r_{sodong}}{4\pi\sqrt{(r^2_{sodong} + d^2)^3}}$$

di mana:

- Ur : Nilai pergeseran pada arah horizontal
- $\Delta V$  : Perubahan volume sebagai sumber tekanan
- a : Jari-jari bola sebagai sumber tekanan
- d : Kedalaman pusat tekanan
- r : Jarak radial

$\pi$  : Konstanta Lamé

Hasil turunan deformasi horizontal  $U_r$  terhadap  $\Delta V$  sama dengan koefisiennya sehingga dapat dikatakan persamaan pengamatan yang digunakan merupakan persamaan yang linier. Dengan demikian dalam pemecahan parameternya tidak harus menggunakan nilai pendekatan.

### 3.3 Uji Goodness of fit $\chi^2$

Metode uji Goodness of Fit  $\chi^2$  test dipilih dibandingkan metode uji kemiripan data lainnya karena nilai pembandingnya yang memiliki sifat yang sama dengan data yang dihasilkan oleh model dan akan dihasilkan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya. Uji Goodness of Fit  $\chi^2$  dilakukan dengan cara membandingkan nilai deformasi horizontal hasil pengukuran dengan nilai deformasi yang dihasilkan oleh pendekatan Model Mogi dengan persamaan.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(U_{r_{\text{pengukuranGPS}}} - U_{r_{\text{Mogi}}})^2}{U_{r_{\text{Mogi}}}}$$

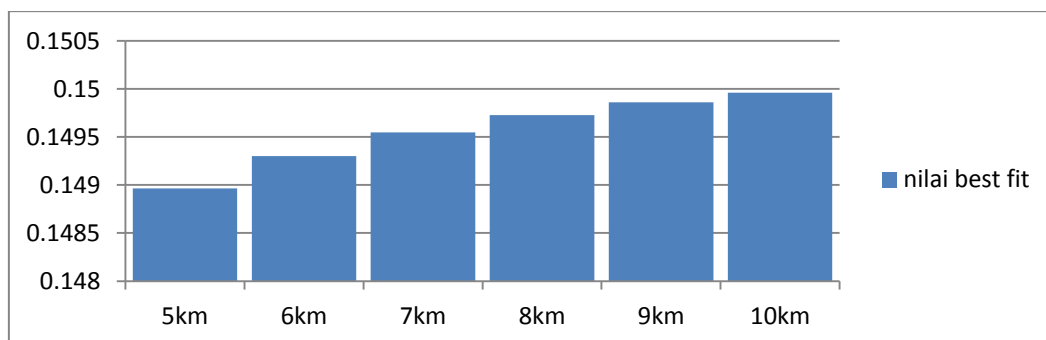
di mana:

$U_{r_{\text{pengukuranGPS}}}$  : Nilai deformasi horizontal hasil pengukuran GPS

$U_{r_{\text{Mogi}}}$  : Nilai deformasi horizontal hasil Model Mogi

$\chi^2$  : Nilai *Goodness of fit*

Hasil pengujian goodness of fit didapat Nilai bestfit terkecil terdapat pada kedalaman 5 km dibawah Kawah Masigit. Hasil perngujian *goodness of fit* didapat Nilai *bestfit* terkecil terdapat pada kedalaman 5 km dibawah Kawah Masigit. Grafik perbandingan nilai *bestfit* pada kedalaman 5 s.d 10 km ditampilkan pada Gambar 3.1

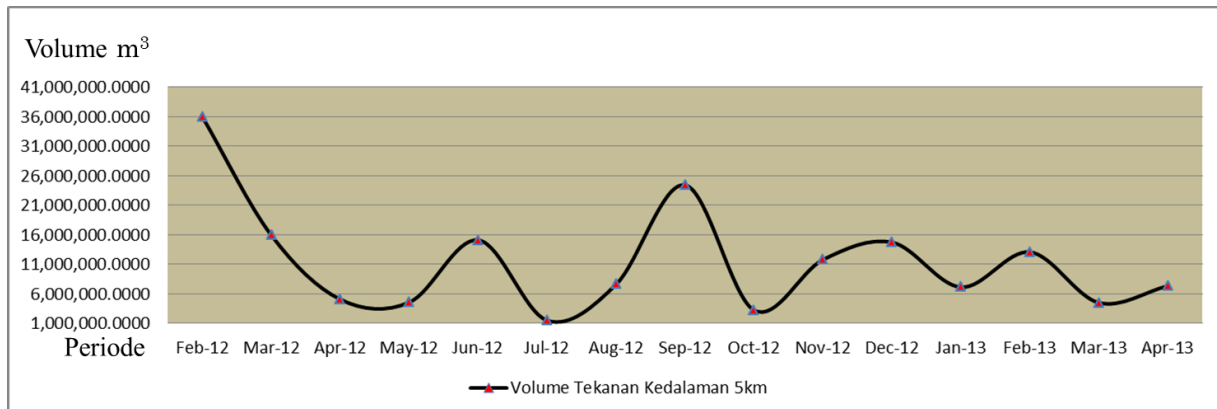


Gambar 3.1 Grafik Perbandingan Nilai *Bestfit* Hasil Uji *Goodness Of Fit*

### 3.4 Perubahan Volume Sumber Tekanan

Hasil pengujian kemiripan data deformasi horizontal hasil pengamatan GPS dan pendekatan model mogi didapat nilai kemiripan terkecil terdapat pada kedalaman kedalaman 5 (lima) km dibawah permukaan Kawah Masigit. Dengan memperhatikan grafik pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa Kenaikan perubahan volume terjadi pada bulan Juni 2012, September 2012, Desember 2012 dan Februari 2013, artinya pola kenaikan terjadi setiap tiga bulan dan pola penurunan perubahan volume terjadi pada antara bulan April dan Mei 2012, juli 2012, Oktober 2012, Januari 2012 dan Maret 2012, artinya pola penurunan terjadi setiap dua s.d

tiga bulan, namun fluktuasi nilai perubahan volume sumber tekanan yang terjadi bervariasi nilainya. Grafik perubahan volume sumber tekanan dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Grafik Perubahan Volume Sumber Tekanan Pada Kedalaman 5km

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penentuan perubahan volume sumber tekanan deformasi berdasarkan pendekatan Model Mogi pada Gunungapi Guntur dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Deformasi horizontal terbesar di antara tiga titik pantau secara umum terdapat pada Titik Pantau Masigit (MSGT) hal ini dikarenakan jarak Titik Pantau Masigit lebih dekat dengan sumber tekanan yaitu Kawah Masigit sedangkan deformasi horizontal terkecil terdapat pada titik pantau Sodong (SODN); dengan asumsi Kawah Masigit sebagai lokasi sumber tekanan, berdasarkan pengujian kemiripan data antara deformasi ukuran dan model menggunakan goodness of fit  $\chi^2$  diperoleh kedalaman sumber tekanan berada pada kisaran kedalaman 5 km; perubahan volume sumber tekanan pada kedalaman 5 (lima) km dihasilkan berkisar 11.431.878 m<sup>3</sup>. Nilai perubahan volume tertinggi terjadi pada bulan Februari 2012 dengan nilai mencapai 35.931.589 m<sup>3</sup>, kenaikan perubahan volume sumber tekanan terjadi lagi pada bulan September 2012 dengan nilai mencapai 24.394.579 m<sup>3</sup>; Nilai perubahan volume terendah dengan nilai berkisar 1.459.454 m<sup>3</sup> terjadi pada bulan Juli 2012; Perubahan volume sumber tekanan secara umum memiliki pola yang bersifat periodik, dengan periode dua setengah sampai dengan tiga bulan setelah bulan Februari 2012 namun fluktuasi nilai perubahan volumenya tidak sama, hal ini mengindikasikan aktifnya Gunungapi Guntur.

Saran yang dapat disusulkan dalam kaitan dengan penelitian penentuan volume sumber tekanan deformasi berdasarkan pendekatan Model Mogi pada Gunungapi Guntur adalah: untuk didapat lokasi sumber tekanan yang menyeluruh perlu dilakukan penentuan sumber tekanan secara simultan; parameter model mogi untuk penentuan perubahan volume sumber tekanan sebaiknya perlu dipecahkan semua parameter lainnya yaitu parameter kedalaman sumber tekanan dan parameter jarak radial sumber tekanan terhadap titik pantau, data-data tambahan dapat ditambahkan untuk memperkaya analisis seperti data aktifitas kegempaan, Dengan memperhatikan banyaknya kawah aktif yang dapat berpotensi menjadi lokasi sumber tekanan pada Gunungapi Guntur, maka perlu ditambahkan titik-titik pantau GPS untuk dapat mengamati seluruh kawah aktif, Perlu dilakukan perhitungan perubahan volume sumber tekanan pada kawah aktif lainnya untuk dapat mengetahui resiko yang dapat ditimbulkan dari kawah lainnya seperti kawah Guntur, kawah Kabuyutan, kawah

Geulis dan kawah Japati; Perlu dilakukan pengujian antara deformasi hasil model dan hasil pengukuran dengan metode lain misalnya dengan metode korelasi.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya disampaikan kepada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi atas bantuan data untuk penelitian ini.

### **REFERENSI**

- Abidin, H.Z. et.all. (2004). The Deformation of Bromo Volcano (Indonesia) as Detected by GPS Surveys Method. *Journal of Global Positioning Systems* Vol. 3 16-24.
- Bifulco, I. et all. (2009). Computer algebra software for Least Square and total least norm inversion of geophysical models. *Jurnal of Computers & Geosciences* Vol. 35 27-38.
- Björck, A (1996). Numerical Methods for Least Squares Problems. *Applied Mathematics Review*, Vol. 50, No. 2.
- Dzurisin, D. (2007). *Volcano Deformation Geodetic Monitoring Techniques*. Chicester: Springer.
- Irina A. S, Yu. I. Ingster. (2002). *Nonparametric Goodness-of-Fit Testing Under Gaussian Model*. New York: Springer
- Kusumadinata (1979). *Data Dasar Gunung api Indonesia*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi., Bandung.
- Mogi, K., (1958). Relation Between The Eruption of Various Vulcanoes ang The Depormations of the Ground Surface Around Them, *Bulletin of Earth Quake Research Institute* Vol 36, 99-134.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), (2007), *Gunungapi*. Departement Energi dan Sumber Daya Mineral. Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung, 24.
- Yudi, A.,(2010). *Analisis Prediksi Lokasi Sumber Tekanan Menggunakan Model Mogi Berdasarkan Data Pengamatan GPS*, Laporan Skripsi Institut Teknologi Nasional, Bandung.