

# Estimasi Kedalaman Pusat Tekanan dan Volume Magma dari Hasil Perbandingan Nilai Maksimum Deformasi Horizontal dan Vertikal Hasil Pengamatan GPS *Real-Time* Kontinu

HARRI DWI KURNIA<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 dan Mitigasi Bencana Geologi  
Email: harridwik@gmail.com

## ABSTRAK

*Gunungapi Sinabung yang terletak di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara terakhir meletus pada tahun 2010 sehingga perlu dilakukan pemantauan deformasi sebagai antisipasi terhadap bahaya letusan. Model Mogi menggunakan perbandingan dari deformasi horizontal dan vertikal untuk mengestimasi kedalaman pusat tekanan untuk selanjutnya mengestimasi volume material dapur magma. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi kedalaman pusat tekanan dan volume material dapur magma Gunungapi Sinabung dengan menggunakan perbandingan nilai maksimum dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal. Pemantauan yang dilakukan dengan pengamatan GPS real time kontinu pada titik tiga pantau, yaitu Gurukinayan (GRKI); Lawukawar (LWKR); dan Sukanalu (SKNL). Deformasi horizontal dan vertikal yang digunakan adalah yang memiliki nilai kurang dari 0,5 meter. Hasil dari nilai maksimum deformasi horizontal adalah 0,410 meter; nilai maksimum deformasi vertikal adalah 0,326 meter; dan nilai maksimum dari jarak horizontal adalah 9.446,963 meter. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai kedalaman pusat tekanan estimasi adalah 11.358,887 m  $\approx$  11,4 km dengan simpangan baku  $\pm$  412,925 m  $\approx$   $\pm$  0,4 km dari puncak kawah Gunungapi Sinabung dan hasil volume magma estimasi Gunungapi Sinabung adalah 266.155.980,655 m<sup>3</sup> dengan simpangan baku  $\pm$  6.574.227,425 m<sup>3</sup>.*

**Kata kunci:** Model Mogi, nilai maksimum, kedalaman pusat tekanan estimasi, volume magma estimasi

## ABSTRACT

*Mount Sinabung located at Karo Regency, North Sumatra last erupted at 2010 therefor need to be conducted a deformation monitoring as an anticipation of an eruption hazard. Mogi Model uses the comparison of horizontal deformation and vertical deformation to estimate the depth of pressure source for henceforth estimate the volume of magma chamber. The propose of this research is for estimate depth of pressure source and volume of magma chamber of Mount Sinabung using the comparison of horizontal distance; horizontal deformation; and vertical deformation. These monitoring is conducted with real-time continue GPS observation on the three of monitoring point, there is Gurkinayan (GRKI), Lawukawar (LWKR); dan Sukanalu (SKNL). Horizontal and vertical deformation were used which has the value less than 0.5 meter. The result from the average of maximum value of horizontal deformation is 0.410 meter; average of maximum value of vertical deformation is 0.326 meter; average of maximum value of horizontal distance is 9,446.963 meters. From the result of those calculating is obtained the estimation value of the pressure source depth*

Harri Dwi Kurnia dkk.

*is 11,358.887 m  $\approx$  11,4 km with standart deviation is  $\pm$  412.925 m  $\approx$   $\pm$  0.4 km from the crater peak of Mount Sinabung and magma volume estimation of Mount Sinabung is 266,155,980.655 m<sup>3</sup> with standart deviation is  $\pm$  6,574,227.425 m<sup>3</sup>*

**Keywords:** *Mogi Model, maximum value, depth of pressure source, magma volume*

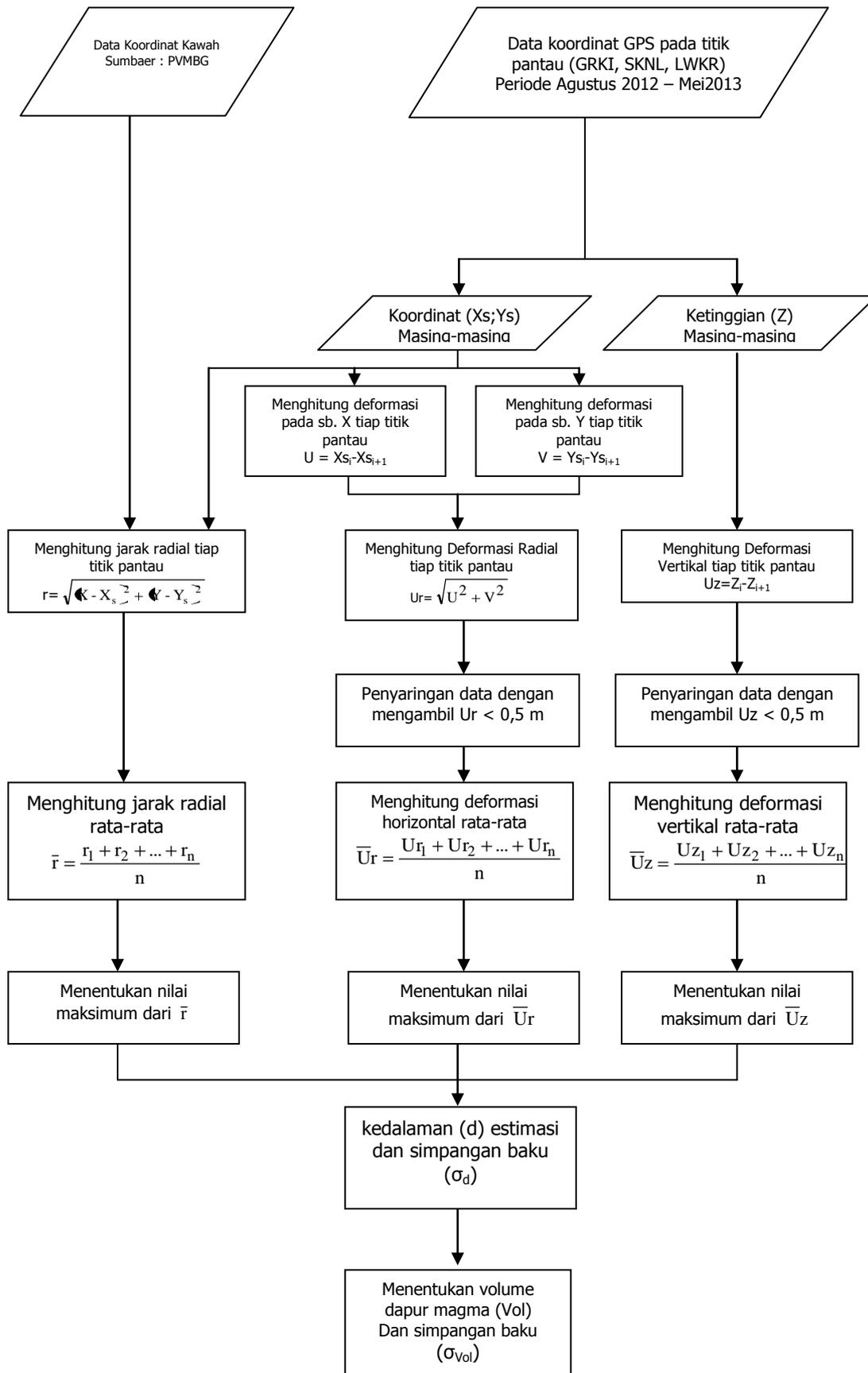
## **1. PENDAHULUAN**

Menurut Dzurisin [2007] pemantauan sebagai langkah antisipasi terhadap bahaya letusan gunungapi dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya pemantauan tekanan suhu kawah, pemantauan hidrotermal, pemantauan geokimia, serta pemantauan deformasi gunungapi. Pemantauan deformasi tersebut dapat terjadi pada arah horizontal dan vertikal. Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya perubahan aktivitas dapur magma dalam gunungapi. Perubahan aktivitas di dalam dapur magma gunungapi yang mengakibatkan deformasi tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan perbandingan nilai maksimum dari deformasi horizontal dan deformasi vertikal untuk mengetahui posisi sumber tekanan dan volume material magma gunungapi. Pusat tekanan sering disebut juga 'Mogi Model' setelah Mogi [1958] menyimpulkan bahwa pengukuran secara geodesi perubahan elevasi dan pergeseran horizontal berhubungan dengan letusan di Jepang dan Hawaii dihasilkan dari inflasi dan deflasi dapur magma di dalam gunungapi. Gunungapi Sinabung terakhir meletus pada tahun 2010. Berdasarkan sifat erupsi dan keadaan Gunungapi Sinabung saat ini, maka potensi bahaya yang mungkin terjadi adalah berupa aliran piroklastik (awan panas), jatuhnya piroklastik (lontaran batu pijar dan hujan abu), serta aliran lava serta lahar. Dalam penelitian ini diteliti dan dianalisis mengenai estimasi posisi pusat tekanan dan volume material dapur magma Gunungapi Sinabung dengan menggunakan perbandingan nilai maksimum dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana mengestimasi kedalaman pusat tekanan dan volume material dapur magma Gunungapi Sinabung dengan menggunakan perbandingan nilai maksimum dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal pada tiap titik pantau?". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi kedalaman pusat tekanan dan volume material dapur magma Gunungapi Sinabung dengan menggunakan perbandingan nilai maksimum dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal. Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: kawah diasumsikan sebagai titik puncak dari pusat tekanan yang berada di dalam tubuh gunungapi dan nilai asumsi deformasi maksimum yang terjadi adalah 0,5 m. Data yang lebih dari 0,5 m dianggap sebagai data yang outlier; hasil ukuran GPS yang digunakan diasumsikan sebagai hasil dari adanya deformasi yang terjadi pada tubuh gunungapi tanpa adanya gangguan dari lingkungan sekitar; nilai dari deformasi yang ada hanya dihitung besarnya tanpa melihat arah pergerakannya.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metodologi pada Gambar 1 dapat dijabarkan sebagai berikut: Data yang diperlukan, yaitu data pengukuran *real time* GPS secara kontinyu. Data yang dikaji adalah data pada tiga titik pantau di daerah Lawukawar (LWKR), Gurukinayan (GRKI), dan Sukanalu (SKNL) periode bulan Agustus 2012 – Mei 2013. Sedangkan data penunjang lainnya adalah data koordinat kawah yang didapatkan dari hasil interpolasi peta lokasi Gunungapi Sinabung. Melakukan penyaringan data deformasi, yakni dengan menghilangkan data asumsi deformasi *outlier* yaitu data deformasi yang melebihi dari 0,5 m. Menghitung jarak horizontal ( $r$ ), deformasi horizontal ( $U_r$ ), dan deformasi vertikal ( $U_z$ ) di tiap titik pantau untuk selanjutnya dilakukan proses perhitungan nilai rata-rata dari jarak horizontal ( $r$ ), deformasi horizontal ( $U_r$ ), dan deformasi vertikal ( $U_z$ ). pencarian nilai rata-rata dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal serta dilakukan pencarian nilai maksimum dengan menggunakan algoritma pemrograman dari keseluruhan hasil hitungan jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal. Menghitung estimasi kedalaman pusat tekanan dengan menggunakan rumus umum dari Model Mogi yang menghubungkan antara perbandingan nilai rata-rata maksimum dari jarak horizontal, deformasi horizontal, dan deformasi vertikal untuk selanjutnya menghitung simpangan baku dari kedalaman estimasi ( $\sigma_d$ ). Dari hasil kedalaman estimasi tersebut selanjutnya menghitung volume material dapur magma estimasi Gunungapi Sinabung dengan menggunakan hasil dari nilai kedalaman pusat estimasi yang telah dihitung sebelumnya dan menghitung simpangan baku dari volume material dapur magma estimasi ( $\sigma_v$ ).

### **3. HASIL DAN ANALISIS**

#### **3.1 Pemilihan Kawah Gunungapi Sinabung Sebagai Puncak Pusat Tekanan**

[Mogi, 1958] mengasumsikan bahwa pusat tekanan berada di bawah kawah yang merupakan suatu celah yang terbuka dan memiliki akses yang terhadap sumber magma. Oleh karena itu, diperlukan informasi mengenai posisi kawah untuk penentuan nilai estimasi kedalaman menggunakan Model Mogi. Gunungapi Sinabung merupakan gunungapi yang memiliki kawah tunggal, sehingga tidak ada kendala dalam penentuan kawah sebagai puncak dari pusat tekanan.

#### **3.2 Nilai Rata-rata Maksimum Deformasi Horizontal**

Hasil pengolahan data GPS Gunungapi Sinabung yang dilakukan setiap hari dari hasil pengamatan di tiap-tiap titik pantau secara *real-time* menunjukkan telah terjadinya deformasi horizontal yang diindikasikan dengan adanya perubahan koordinat. Pada penelitian ini nilai deformasi horizontal yang digunakan adalah nilai deformasi horizontal yang kurang dari 0,5 m, data deformasi horizontal yang melebihi 0,5 m diasumsikan sebagai data yang *outlier*. Pembatasan nilai deformasi horizontal yang melebihi 0,5 m tersebut didasarkan [Van der Laat, 1996] yang menyebutkan bahwa nilai pergeseran deformasi horizontal bisa mencapai puluhan meter pada gunungapi silisik yang membentuk kubah lava. Selain itu [Abidin, 2007] yang meneliti karakteristik deformasi Kawah Ijen periode 2002-2005 yang mencapai 0,2 m. Kendala yang dialami dalam penentuan nilai *outlier* pada Gunungapi Sinabung adalah minimnya penelitian mengenai Gunungapi.

Nilai rata-rata maksimum dari deformasi horizontal Gunungapi Sinabung yang didapatkan dengan merata-ratakan nilai deformasi horizontal pada titik pantau GRKI, SKNL, dan LWKR adalah 0,410 m. Sedangkan nilai deformasi horizontal rata-rata berada pada 0,182 m.

### **3.3 Nilai Rata-rata Maksimum Dari Deformasi Vertikal**

Pada penelitian ini nilai deformasi horizontal yang digunakan adalah nilai deformasi vertikal yang kurang dari 0,5 m, data deformasi horizontal yang melebihi 0,5 m diasumsikan sebagai data yang *outlier*. Pembatasan nilai deformasi vertikal yang melebihi 0,5 m tersebut didasarkan pada [Van der Laat, 1996] yang berpendapat bahwa nilai pergeseran deformasi vertikal bisa mencapai puluhan meter pada gunungapi silisik yang membentuk kubah lava. Kendala yang dialami dalam penentuan nilai *outlier* pada Gunungapi Sinabung adalah minimnya penelitian mengenai Gunungapi Sinabung.

Nilai rata-rata maksimum dari deformasi vertikal yang didapatkan dengan merata-ratakan nilai deformasi vertikal pada titik pantau GRKI, SKNL, dan LWKR adalah 0,326 m. Nilai rata-rata deformasi vertikal yang terjadi pada Gunungapi Sinabung berkisar pada 0,182 m.

### **3.4 Nilai Rata-rata Maksimum Dari Jarak Horizontal**

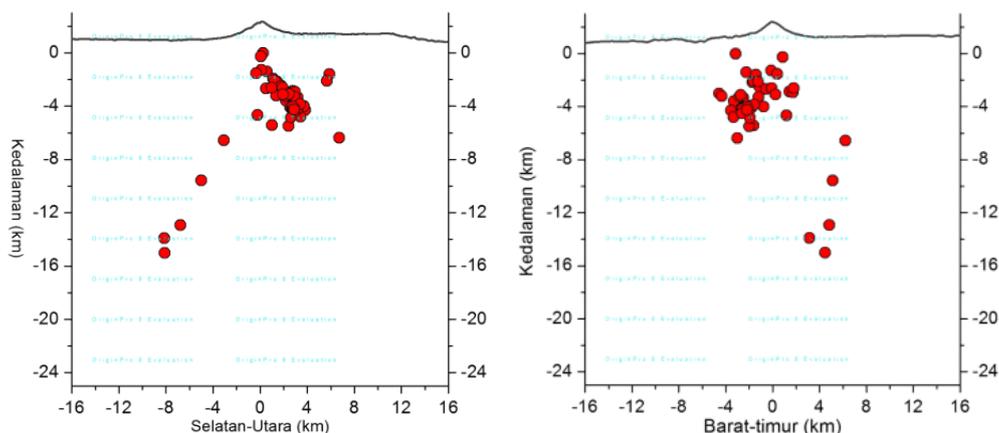
Nilai rata-rata maksimum dari jarak horizontal yang didapatkan dengan merata-ratakan nilai jarak horizontal pada titik pantau GRKI, SKNL, dan LWKR adalah 9446,963 m. Nilai rata-rata jarak horizontal yang terjadi pada Gunungapi Sinabung berkisar pada 9446,902 m..

### **3.5 Kedalaman Sumber Pusat Tekanan Estimasi**

Hasil dari penelitian ini berupa nilai estimasi kedalaman pusat tekanan Gunungapi Sinabung yang didapatkan dengan menggunakan Model Mogi [Mogi, 1958] yang menghubungkan antara nilai rata-rata maksimum dari deformasi horizontal, deformasi vertikal, dan jarak horizontal dari data periode Agustus 2012 – Mei 2013. Nilai rata-rata maksimum dari deformasi horizontal yang didapatkan 0,410 m. Nilai rata-rata maksimum dari deformasi vertikal yang didapatkan adalah 0,326 m. Nilai rata-rata maksimum dari jarak horizontal yang didapatkan dengan adalah 9446,963 m. Sehingga nilai kedalaman pusat tekanan estimasi yang didapatkan dengan menggunakan Model Mogi yang menghubungkan nilai maksimum dari deformasi horizontal, deformasi vertikal, serta jarak horizontal berada pada 11358,887 m  $\approx$  11,4 km dari puncak kawah Gunungapi Sinabung.

Berdasarkan hasil pengamatan aktivitas seismik Gunungapi Sinabung pada tahun 2013 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2, kedalaman sumber gempa berkisar pada 2-16 km dari puncak kawah. Menurut [Chouet, 1993] gempa yang terjadi pada suatu gunungapi dapat disebabkan oleh perubahan tegangan ataupun tekanan karena adanya aktivitas magma pada saat sedang terjadinya erupsi. Dalam kata lain, sumber gempa tidak menunjukkan kedalaman pusat tekanan tempat dapur magma berada, maka nilai kedalaman estimasi pusat tekanan estimasi Gunungapi Sinabung masih masuk dalam cakupan setelah dikorelasikan dengan data seismik Gunungapi Sinabung.

*Estimasi Kedalaman Pusat Tekanan dan Volume Magma dari Hasil Perbandingan Nilai Maksimum Deformasi Horizontal dan Vertikal Hasil Pengamatan GPS Real-Time Kontinu*



**Gambar 2. Sebaran Kedalaman Gempa Gunungapi Sinabung**

### 3.6 Volume Estimasi

Volume material magma estimasi yang terdapat di dalam tubuh Gunungapi Sinabung yang didapatkan dengan menghubungkan nilai kedalaman estimasi sumber tekanan dan nilai maksimum deformasi vertikal rata-rata dari data periode Agustus 2012 – Mei 2013 adalah  $77.065.313,500 \text{ m}^3$ .

Menurut [*Volcanic Explosive Index, 2010*] material Gunungapi Sinabung merupakan gunungapi yang terklasifikasi tipe *vulcanian*, yaitu gunungapi yang saat terjadi letusan memuntahkan material berupa gas serta debu vulkanik dari kawah yang membumbung tinggi dari puncaknya. Pada saat terjadi erupsi pada tahun 2010 lalu memuntahkan sekitar lebih dari  $1.000.000 \text{ m}^3$ . Oleh sebab itu, hasil dari penelitian ini mengenai volume estimasi dapat dikatakan bahwa volume dapur magma yang terkandung di dalam tubuh Gunungapi Sinabung tidak semuanya dikeluarkan pada saat erupsi terjadi.

### 3.7 Simpangan Baku Kedalaman Pusat Tekanan Estimasi dan Volume Estimasi

Simpangan baku kedalaman pusat tekanan estimasi Gunungapi Sinabung yang didapatkan dengan menghitung kedalaman pusat tekanan estimasi pada tiap waktu, kedalaman pusat tekanan estimasi rata-rata, dan banyaknya jumlah data adalah  $\pm 412,925 \text{ m} \approx \pm 0,4 \text{ km}$ . Simpangan baku volume material dapur magma gunungapi sinabung yang didapatkan dengan menghitung data dari volume dapur magma estimasi pada tiap waktu, volume dapur magma estimasi rata-rata, dan banyaknya jumlah data adalah  $\pm 6.574.227,425 \text{ m}^3$ .

Dari hasil perhitungan simpangan baku kedalaman pusat tekanan estimasi didapatkan nilai kedalaman pusat tekanan estimasi berada pada  $11,4 \text{ km} \pm 0,4 \text{ km}$  atau berkisar pada  $11,0 - 11,8 \text{ km}$  dari puncak kawah Gunungapi Sinabung. Volume material dapur magma adalah  $266.155.980,655 \text{ m}^3 \pm 6.574.227,425 \text{ m}^3$  atau berkisar pada  $259.581.753,230 \text{ m}^3 - 272.730.208,080 \text{ m}^3$ .

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penentuan nilai estimasi kedalaman dengan menggunakan Model Mogi pada Gunungapi Sinabung, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: nilai rata-rata maksimum deformasi horizontal Gunungapi Sinabung adalah 0,410 m; nilai rata-rata maksimum deformasi vertikal Gunungapi Sinabung adalah 0,326 m; nilai rata-rata maksimum jarak horizontal Gunungapi Sinabung adalah 9446,963 m; kedalaman sumber pusat tekanan estimasi Gunungapi Sinabung yang didapatkan dari hasil perhitungan nilai maksimum dari deformasi horizontal, deformasi vertikal, dan jarak horizontal data periode Agustus 2012 – Mei 2013 adalah 11358,887 m  $\approx$  11,4 km dengan simpangan baku sebesar  $\pm$  0,4 km atau berkisar pada 11,0 – 11,8 km dari puncak kawah Gunungapi Sinabung. Kedalaman tersebut masih dalam cakupan data seismik Gunungapi Sinabung yang berkisar pada 2-9 km. seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2; volume estimasi Gunungapi Sinabung yang didapatkan dari hasil perhitungan kedalaman pusat tekanan estimasi dan nilai rata-rata maksimum dari deformasi vertikal adalah 72.531.581,054 m<sup>3</sup>  $\approx$  72,53 km<sup>3</sup> dengan simpangan baku sebesar  $\pm$  7,2 km<sup>3</sup> maka volume material dapur magma Gunungapi Sinabung berkisar pada 65,33 km<sup>3</sup> – 79,83 km<sup>3</sup>. Menurut [Volcanic Explosive Index, 2010] Pada saat terjadi erupsi pada tahun 2010 lalu Gunungapi Sinabung memuntahkan sekitar lebih dari 1.000.000 m<sup>3</sup> dengan kata lain volume material yang berada pada tubuh Gunungapi Sinabung tidak semuanya dimuntahkan saat terjadi erupsi.

Saran yang dapat diusulkan dalam kaitannya dengan penelitian penentuan kedalaman sumber tekanan estimasi dan volume estimasi dengan menggunakan Model Mogi adalah: pada penelitian ini nilai kedalaman pusat tekanan estimasi untuk selanjutnya dapat dilakukan penerapan nilai kedalaman estimasi tersebut pada suatu model untuk kepentingan mitigasi Gunungapi Sinabung; volume yang diperoleh merupakan volume estimasi sehingga perlu diterapkan pula pada suatu model untuk mengetahui nilai volume material Gunungapi Sinabung untuk mengetahui apakah sungai yang ada di sekitar Gunungapi Sinabung dapat menampung volume material jika terjadi letusan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

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

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., et all. ( 2007). *Karakteristik Deformasi Gunungapi Ijen dalam Periode 2002-2005 Hasil Estimasi Metode Survei GPS*. Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Geodesi ITB Vol 37 A 1-22.
- Dzurisin, D. (2007). *Volcano Deformation Geodetic Monitoring Techniques*. Chicester: Springer.
- Dzurisin, D & Dvorak, J.J. (1997). *Volcano Geodesy: The Search For Magma Reservoirs And The Formation of Eruptive Vents*. Reviews of Geophysics Vol. 35, 343-384.
- Mogi, K. (1958). *Relation Between The Eruptions of Various Volcanoes and The Deformations of the Ground Surface Around Them*. Bulletin of Earth Quake Research Institute Vol 36, 99-134.

*Estimasi Kedalaman Pusat Tekanan dan Volume Magma dari Hasil Perbandingan Nilai Maksimum Deformasi Horizontal dan Vertikal Hasil Pengamatan GPS Real-Time Kontinu*

- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2010). *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Bandung: Departement Energi dan Sumber Daya Mineral. Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Van der Laat R. (1996). *Ground Deformation Methods and Results*. In Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards by R. Scarpa and R.I. Tilling. Springer Verlag: Berlin 147-168
- Chouet. (1993). <http://www.volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=261080> diakses pada 21 Agustus 2013, 9.36
- VEI. (2010) <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/primer/eq.html> diakses pada 20 Agustus 2013, 2.19.