

Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunungapi Kelud Berdasarkan Data Gravity Menggunakan Metode Ekuivalen Titik Massa

Sandy Vikki Ariyanto^{1)*}, Sunaryo²⁾, Adi Susilo²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

Diterima 21 Januari, Direvisi 01 April 2014

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan metode gravitasi pada tanggal 01 Juli - 12 Agustus 2012 di daerah Gunungapi Kelud, Pare, Kediri, Blitar, dan Ngantang dengan tujuan untuk mengetahui struktur kantong magma. Analisis data hasil pengukuran di lapangan dilakukan koreksi data meliputi: konversi ke mgal, koreksi drift, koreksi tidal, koreksi lintang dan koreksi topografi, maka didapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap. Selanjutnya dilakukan proyeksi ke bidang datar (Dampney) dengan menggunakan program Matlab serta memisahkan anomali regional dengan anomali residual. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan membaca pola kontur Anomali Bouguer lengkap, sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat penampang 2D pada empat lintasan A-A', B-B', C-C', dan D-D'.

Berdasarkan proyeksi ke bidang datar (Dampney) dengan kedalaman bidang ekuivalen 3500 meter dan ketinggian bidang ekuivalen 200 meter didapatkan kontur anomali yang konvergen sehingga nilai anomali menjadi stabil. Berdasarkan interpretasi kuantitatif pada model penampang 2D lintasan A-A', B-B', C-C' dan D-D' menggambarkan stuktur kantong magma. kontras densitas anomali Sayatan A-A' sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 900 meter, sayatan B-B' sebesar $-2,910 \text{ gr/cm}^3$ kedalaman 943 meter, sayatan C-C' sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ kedalaman 914 meter, sayatan D-D' sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ kedalaman 943 meter.

Kata kunci: Gunungapi Kelud, kantong magma, *gravity*, densitas, ekuivalen titik massa.

ABSTRACT

The observation has been done by gravity method on the date of 1 July to 12 August 2012 in the Kelud volcano area, Pare, Kediri, Blitar and Ngantang in order to determine the structure of magma pocket. Data analysis from field measurements performed with the following correcting the data includes: convert to mgal, drift correction, tidal correction, latitude correction and topography correction, then obtained a complete Bouguer anomaly values. Subsequently projected onto a flat surface (Dampney) by using matlab program and resolve regional anomalies with anomaly residual. Qualitative interpretation is done by reading the complete Bouguer anomaly contour pattern, while the quantitative interpretation is done by creating a 2D cross section on the four A-A', B-B', C-C', and D-D' lines.

Based on projection to the flat surface (Dampney) with equivalent field depth of 3500 and equivalent field height of 200 obtained convergent anomaly contour so that anomaly values become stable, based on quantitative interpretation 2D cross section model of A-A', B-B', C-C' and D-D' lines and describing structure of magma pocket. Slice anomaly density contrast of A-A' at $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ assumed as magma chamber with 900 meter dept while B-B' slice at $-2,910 \text{ gr/cm}^3$ assumed as magma chamber with 943 meters dept, C-C' slice at $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ assumed as magma chamber with 914 meters depth, and D-D' slice at $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ assumed as magma chamber with 943 meters depth.

Keywords : Kelud volcano, magma pocket, gravity, density, equivalent point mass.

*Corresponding author :

E-mail: sandy_vikki@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Letak Indonesia yang mempertemukan ketiga lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Eurasia, Pasifik dan Indo-Australia yang mengakibatkan terbentuknya gunungapi, morfologi berbukit dan sumber gempa. Kondisi demikian menyebabkan Indonesia rawan terhadap bencana geologi seperti letusan gunungapi, gerakan tanah, gempa bumi, dan tsunami [1]. Indonesia yang berada pada jalur ini memiliki 129 gunungapi dan 76 gunungapi dinyatakan sangat aktif yang ditandai pernah meletus sejak tahun 1600 sampai saat ini. Gunungapi aktif di Indonesia tersebar dari ujung utara Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku dan Sulawesi Utara. Jawa Timur sebagai salah satu provinsi di Indonesia memiliki tujuh gunungapi aktif yaitu Gunungapi Kelud, Gunung Arjuno-Welirang, Gunung Bromo, Gunung Semeru, Gunung Lamongan, Gunung Raung, dan Gunung Ijen.

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan parameter-parameter fisika [2]. Survei gaya berat merupakan metode survei Geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi medan gaya berat di permukaan bumi [3]. Metode gaya berat memiliki prinsip dasar mendeteksi perubahan rapat massa dan jarak [4]. Metode gaya berat sering digunakan untuk memberikan gambaran tentang struktur bawah permukaan pada survei awal eksplorasi geofisika. Metode gaya berat berdasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi [5]. Metode gaya berat dapat dipakai untuk menentukan distribusi rapat massa magma yang mengisi pipa dan kantong magma. Metode gaya berat memiliki suatu kelebihan untuk survei awal karena dapat memberikan informasi yang cukup detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan [6].

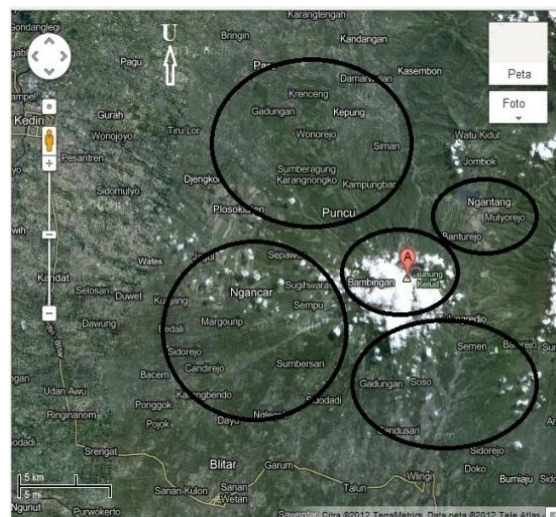
Peristiwa keluarnya magma gunungapi Kelud mengakibatkan kerugian bagi para penduduk disekitar gunung tersebut. Sebagai mitigasi awal, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana bentuk struktur kantong magma dari Gunungapi Kelud dengan metode gaya berat. Hal ini dikarenakan gaya berat merupakan metode untuk memberikan informasi secara global stuktur Gunungapi

Kelud. Pengambilan data yang dilakukan meliputi daerah Gunungapi Kelud, Kediri, Blitar, Pare, dan Ngantang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, kantong magma Gunungapi Kelud memiliki kedalaman dangkal dan kecil [7]. Hal ini dipertegas oleh penelitian pratiwi menyatakan kedalaman maksimum dari kantong magma tidak terlalu dalam di bawah permukaan laut. Hasil erupsi tahun 2007-2008 yang memunculkan kubah lava, menggambarkan bahwa kantong magma Gunungapi Kelud kecil dan dangkal. Hasil ini sesuai dengan tipe dari Gunungapi Kelud st. Vincent mempunyai kedalaman kantong magma yang tidak terlalu dalam atau (kurang dari 10 km) [8]. Dengan demikian, penelitian ini mendasarkan pada data gaya berat pasca terbentuknya kubah lava sebagai hasil erupsi yang terjadi pada tahun 2007-2008.

METODE PENELITIAN

Akuisisi Data. Penelitian dilakukan di daerah Gunungapi Kelud, Pare, Kediri, Blitar, dan Ngantang sesuai pada Gambar 1 yang telah dilaksanakan pada tanggal 01 Juli – 12 Agustus 2012.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

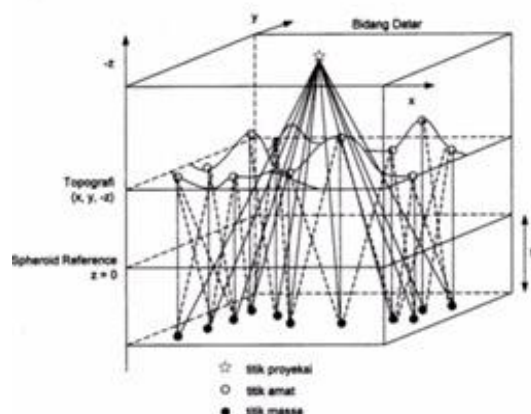
Pengambilan data gaya berat dalam penelitian ini menggunakan *lopping* tertutup, dengan artian satu siklus pengukuran diawali dan diakhiri pada tempat yang sama. Hal ini bertujuan agar koreksi titik ikat dapat dilakukan terhadap pengukuran. Jarak antar titik pengukuran 700 meter sampai dengan 1000

meter, akan tetapi jarak antar titik-titik tersebut sewaktu-waktu bisa berubah dikarenakan titik-titik tersebut mengikuti jalur-jalur yang memungkinkan untuk dilewati.

Metode Ekuivalen Titik Massa. Medan gravitasi yang terukur di topografi masih dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: pengaruh pasang surut medan gravitasi akibat gaya tarik menarik benda di langit, pengaruh posisi lintang, pengaruh ketinggian atau topografi, maka untuk mendapatkan anomali medan gravitasi diperlukan proses-proses reduksi terhadap data gravitasi [9].

Proses reduksi standar yang dilakukan diharapkan akan mendapatkan data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang terpapar dipermukaan topografi. Permasalahan yang dihadapi adalah data ABL yang terpapar pada permukaan topografi tersebut mempunyai ketinggian yang bervariasi. Variasi ini dapat menyebabkan distorsi pada data gravitasi. Untuk meminimalkan distorsi dilakukan dengan cara membawa ABL tersebut ke suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu, dan salah satu metodenya adalah menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa [9].

Metode *dampney* adalah menentukan sumber ekuivalen titik massa diskrit pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data ABL di permukaan. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu (Gambar 2).



Gambar 2. Sumber ekuivalen titik massa [9].

Proses Pengolahan Data. Merupakan tahap dimana setelah akuisisi data dilakukan maka, alurnya sebagai berikut. Menurut

Sunaryo [10], proses data *gravity* dikerjakan melalui koreksi pasang surut, *drift*, base station, udara bebas, koreksi normal, Bouguer dan terrain untuk memperoleh anomali bouguer lengkap.

Pemrosesan Data, Struktur Kantong Magma. Pemrosesan untuk menghasilkan data struktur kantong magma, peneliti memanfaatkan nilai Bouguer yang disubtitusikan dalam *software surfer 9* untuk mendapatkan anomali Bouguer, langkah selanjutnya melakukan reduksi bidang datar dengan bantuan Metode Dampney untuk menentukan anomali bouguer lengkap di bidang datar. Data anomali gravitasi yang terletak pada titik-titik yang tidak teratur dengan ketinggian yang bervariasi dapat dibuat suatu sumber ekuivalen titik-titik massa diskrit diatas bidang datar dengan kedalaman tertentu di bawah permukaan bumi. Kedalaman bidang sumber ekuivalen titik-titik massa harus tetap stabil dengan batas tertentu. Setelah sumber ekuivalen diperoleh, maka secara teoritis dapat menghitung percepatan gravitasi yang diakibatkan oleh sumber tersebut pada bidang datar sembarang dengan *grid* yang inginkan. Sifat dasar dari suatu medan gravitasi yaitu adanya ketidakteraturan yang selalu menyertai usaha untuk menentukan sumber medan gravitasi. Tahap selanjutnya menggunakan *grav2dc* untuk menduga struktur kantong magma Gunungapi Kelud.

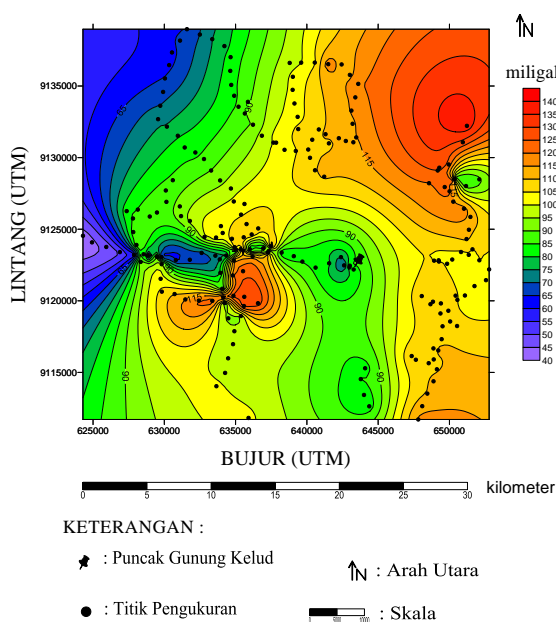
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada dasarnya koreksi medan ini timbul karena ketidakteraturan permukaan topografi akibat adanya bukit dan lembah. Terdapatnya lembah akan mengurangi nilai percepatan gravitasi di titik observasi, demikian juga oleh adanya bukit yang mengakibatkan berkurangnya percepatan gravitasi di titik observasi, karena pengaruh massa bukit.

Massa tersebut mengakibatkan gaya ke atas yang berlawanan arah dengan komponen gaya gravitasi bumi. Sehingga koreksi medan yang diperhitungkan selalu bernilai positif. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode perhitungan koreksi medan menggunakan bahasa C++. Perhitungan koreksi medan menjadi semakin cepat sehingga menghasilkan

Anomali Bouguer Lengkap seperti pada Gambar 3.

Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) masih terpapar pada topografi yaitu terletak pada titik-titik yang tidak teratur dengan ketinggian yang bervariasi. *Input* yang digunakan adalah interval grid, kedalaman bidang ekuivalen, dan ketinggian bidang datar. Input interval grid setengah jarak antara titik pengukuran. *Input interval grid* 500 dikarenakan jarak penelitian adalah 1 kilometer. Selanjutnya *input* kedalaman bidang ekuivalen dan ketinggian bidang datar, Sebelum meng-*inputkan* ada peringatan peraturan Dampney untuk menghilangkan aliasing.



Gambar 3. Anomali Bouguer Lengkap

Masalah dari proyeksi ke bidang datar adalah menentukan posisi kedalaman sumber ekuivalen agar menghindari terjadinya aliasing dan osilasi yang sangat besar pada saat menentukan medan gaya berat di bidang datar. Maka penulis menggunakan

$$2,5 \Delta_x < (h - Z_i) < 6\Delta_x \quad (1)$$

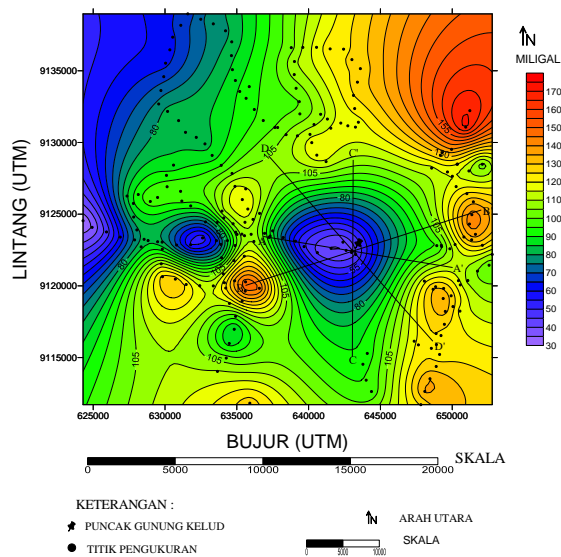
Keterangan :

Δ_x = jarak rata-rata antar stasiun pengamatan.
 h = bidang kedalaman ekuivalen titik massa.
 Z_i = ketinggian titik amat kedalaman bidang ekuivalen untuk menghindari terjadinya aliasing dan osilasi.

Proses selanjutnya adalah memasukkan nilai ketinggian bidang ekuivalen sampai memperoleh jangkauan nilai yang konvergen.

Supaya proyeksi bidang datar dapat berfungsi meminimalkan distorsi pada data gaya berat, maka diperlukan nilai proyeksi bidang datar konvergen. Maka dari itu, diupayakan data yang dihasilkan proyeksi bidang datar sampai konvergen.

Pada penggunaan metode ekuivalen titik massa, kedalaman sumber ekuivalen titik massa 3500 meter di bawah sferoida acuan dan dihitung responnya pada ketinggian 200 meter di atas sferoida acuan. Dalam kondisi ini, pola yang terbentuk sudah konvergen. Hasil dari reduksi bidang datar bisa dilihat pada Gambar 4.

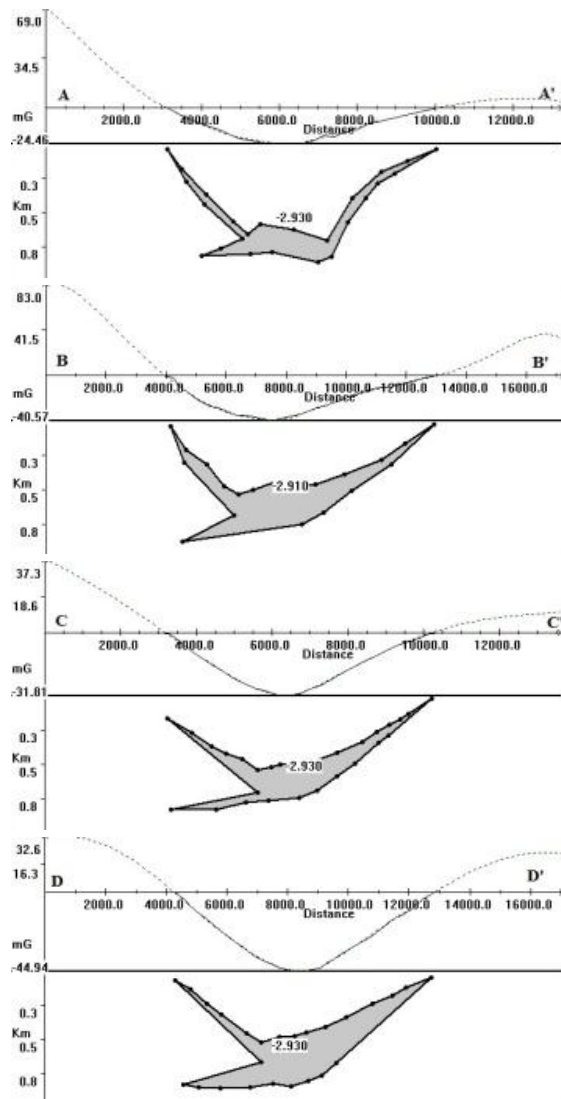


Gambar 4. Anomali Bouguer Lengkap di bidang datar.

Hasil dari reduksi di bidang datar tidak perlu menggunakan pemisahan antara anomali regional dan anomali residual maka anomali bouguer lengkap di bidang datar berfungsi sebagai anomali residual, langkah selanjutnya memilih daerah yang di interpretasi dan dimodelkan. Langkah ini disebut juga penentuan sayatan untuk dimodelkan. Sayatan mengacu pada puncak Gunungapi Kelud dan kubah lava untuk menafsirkan struktur kantong magma Gunungapi Kelud. Kantong magma berada di bawah kubah lava aktif. Sumber tekanan berada di bawah kubah lava aktif [11].

Sayatan A-A' dari daerah Kediri sampai Ngantang melewati puncak Gunungapi Kelud dengan arah sayatan dari Barat ke Timur. Sayatan B-B' dari Blitar ke Kasembon melewati puncak Gunungapi Kelud dan kubah lava Gunungapi Kelud serta dengan sayatan

dari Barat-Selatan ke Timur-Utara. Sayatan C-C' dari daerah Pare ke Wlingi melewati puncak Gunungapi Kelud dan kubah lava dengan arah Barat-Utara ke Timur-Selatan dan terakhir D-D' di sekitar puncak Gunungapi Kelud dan kubah lava.



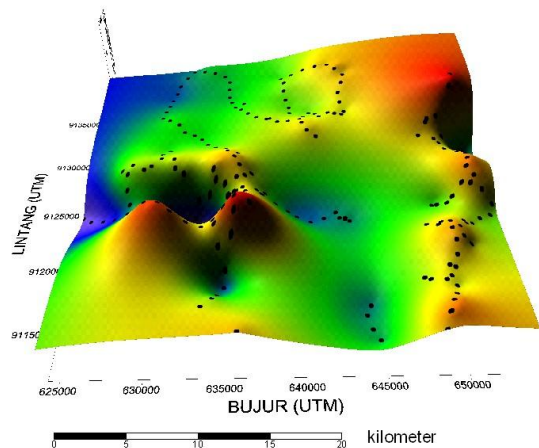
Gambar 5. Model benda anomali dari program *Grav2DC for Windows* (dari atas ke bawah) untuk sayatan A-A', B-B', C-C', D-D' pada peta Anomali Bouguer Lengkap lokal.

Selanjutnya dilakukan interpretasi hasil secara kuantitatif dengan metode Talwani 2 ½ D menggunakan program *Grav2dc*. Dari ke empat hasil pemodelan didapatkan beberapa buah poligon, pemodelan ini mengikuti pola yang terbentuk dan kesamaan dengan informasi geologi dengan *rms* untuk sayatan A-A' 2,0 %, Sayatan B-B' 1,3 %, Sayatan C-C' 2,3% dan untuk terakhir sayatan D'-D' 1,5% lihat pada

Gambar 5.

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut diketahui bahwa sayatan A-A' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 900 meter. Sayatan B-B' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,910 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 943 meter. Sayatan C-C' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 914 meter. Sayatan D-D' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 943 meter.

Kubah lava Gunungapi Kelud yang terbentuk ini juga terlihat pada penampang 3D kontur topografi daerah penelitian berdasarkan data GPS lihat pada Gambar 8 memperlihatkan adanya cekungan diperkirakan sebagai kantong magma yang terisi batuan andesit.



Gambar 8. 3D kontur topografi daerah penelitian berdasarkan data GPS

KESIMPULAN

Kedalaman sumber ekuivalen titik massa yang dipakai adalah 3500 meter di bawah sferoida acuan dan dihitung responnya pada ketinggian 200 meter di atas sferoida acuan. Perbedaan nilai Anomali Bouguer Lengkap dengan anomali bouguer reduksi bidang datar sangat berbeda akan tetapi kontur yang terbentuk anomali bouguer reduksi bidang datar hampir sama dengan Anomali Bouguer Lengkap.

Sayatan A-A' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan

sebagai kantong magma dengan kedalaman 900 meter, Sayatan B-B' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,910 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 943 meter, Sayatan C-C' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 914 meter, Sayatan D-D' dengan kontras densitas anomali sebesar $-2,930 \text{ gr/cm}^3$ diasumsikan sebagai kantong magma dengan kedalaman 943 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat bertrimakasih pada pihak yang terlibat dalam penelitian ini, khususnya Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso selaku Ketua Program Studi S2 Fisika yang telah memberikan izin bagi penulis untuk melakukan penelitian dan Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku penanggung jawab Laboratorium Geofisika, Universitas Brawijaya, Malang yang telah memberikan izin meminjam alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santosa, Imam. (2011). Pemahaman Masyarakat pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Ijen, Jawa Timur. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, **6**(3), Desember 2011 : 25-30.
- [2] Hidayat, Nurul., Abdul, Basid. (2011). Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal (Studi Kasus Di Daerah Songgoriti Kota Batu). *Jurnal Neutrino* **4**(1). Oktober 2011.
- [3] Kurniawan., Fatwa, Aji., Sehad. (2012). Pemanfaatan Data Anomali Gravitasi Citra GEOSAT dan ERS-1 *Satellite* untuk Memodelkan Struktur Geologi Cekungan Bentarsari Brebes. *Indonesian Journal of Applied Physics* **2**(2) : 184.
- [4] Dahrin., Darharta, Sarkowi., Kadir ., W. G. A., Minardi., S. (2007). Penurunan Volume Airtanah Daerah Semarang berdasarkan Pemodelan 3D Gayaberat Antar Waktu. *Jurnal Geoaplika*, 2007 **2**(1) : 11-17.
- [5] Adhi., Pribadi Mumpuni., Almas Hilman Muhtadi., Panji Achmari., Zamzam Ibnu Sina., Iwan Jaya Aziz., Petrus Fajar Subekti. (2011). *Metode Gaya Berat*. Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [6] Brotopuspito, Kirbani, S. (2012). *Fisika Gunungapi*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Geofisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada.
- [7] Zaennudin, Akhmad. (2008). Prakiraan Bahaya Erupsi Gunungapi Kelud. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, **4**(2), Agustus 2009 : 1-17.
- [8] Pratiwi., Yudha Anny Rahayu. (2002). *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Kelud Berdasarkan Reduksi Ke Kutub Data Proton Precision Magnetometer (PPM)*. Jurusan Fisika. Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
- [9] Setyawan., Agus. (2005). Kajian Metode Sumber Ekuivalen Titik Massa Pada Proses Pengangkatan Data Gravitasi Ke Bidang Datar. Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika Universitas Diponegoro. *Berkala Fisika* ISSN : 1410 – 9662, **8**(1), Januari 2005: 7-10.
- [10] Sunaryo. (2012). Identification Of Arjuno-Welirang Volcano-Geothermal Energy Zone by Means Of Density and susceptibility contrast parameters. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS* **12** (1): 10.
- [11] Musyarafah, Nur. (2009). *Analisis deformasi Gunung Kelud pasca letusan November 2007 berdasarkan data Global Positioning System GPS*. Jurusan Fisika. Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.