

Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Kelud Berdasarkan Survei Gayaberat

Jumransyah¹; Dr. Sunaryo, S.Si. M.Si.²; Drs. Wasis, M. AB³.

⁽¹⁾ Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (syah1456@yahoo.co.id).

^{2,3)} Dosen Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

ABSTRAK

Telah dilakukan studi geofisika dengan metode gayaberat di kawasan Gunungapi Kelud dan sekitarnya menggunakan Gravimeter *La Coste & Romberg* tipe G-1053 dengan interval 1 km yang tersebar di area seluas 20x30 km² dengan 203 titik ukur.

Pengolahan data dilakukan sampai diperoleh anomali Bouguer. Densitas Bouguer ditentukan menggunakan metode Paranis, dengan densitas Bouguer yang dihasilkan sebesar 2,51 gr/cm².

Anomali Bouguer lengkap diproyeksikan ke bidang datar dengan metode Dampney pada ketinggian 800 m dpl dengan kedalaman sumber *equivalen* titik massa 2600 m dpl. Pemisahan anomali lokal dan regional dilakukan dengan metode kontinuitas keatas pada ketinggian 4000 m dari bidang datar.

Berdasarkan interpretasi kualitatif diperoleh anomali positif berkisar 35 sampai 140 mGal, sedangkan Interpretasi secara kuantitatif dengan metode poligon 2D diperoleh beberapa jenis batuan yaitu andesit, basalt, lava dan magma.

Kata kunci: Metode Gayaberat, Densitas, Gravimeter, G. Kelud

PENDAHULUAN

Gunungapi Kelud menampilkan keaktifannya kembali pada bulan November 2007 dengan membentuk anak Gunungapi Kelud yang tepat berada di tengah kawah. Peristiwa meletusnya Gunungapi Kelud menyebabkan terjadinya deformasi struktur bawah permukaan disekitar Gunungapi Kelud. Untuk mengidentifikasi peristiwa tersebut maka dilakukan penyidikan geofisika. Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode gayaberat. Prinsip metode ini berdasarkan kepada anomali gayaberat yang muncul karena adanya keanekaragaman rapat massa batuan yang menggambarkan adanya struktur geologi dibawah permukaan bumi. Metode gayaberat digunakan karena dapat menggambarkan struktur bawah permukaan dengan jangkauan yang dalam dibawah permukaan bumi. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan Gunungapi Kelud untuk kepentingan studi mitigasi bencana.

DASAR TEORI

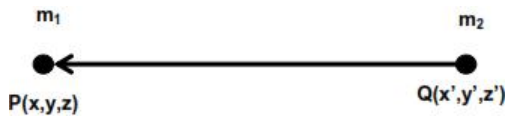
Gunungapi Kelud merupakan salah satu Gunungapi kuarter yang dikelilingi oleh beberapa Gunungapi yang lebih tua, seperti Gunungapi Butak di sebelah timur serta Gunungapi Arjuno-Welirang di sebelah timur laut. Gunungapi-Gunungapi tersebut membentuk morfologi kasar dengan bukit dan jurang yang terjal ditimur laut

dan di lereng timur G. Kelud. Puncak dan kawah G. Kelud mempunyai ketinggian lebih dari 1731 m dpl, dan mempunyai morfologi yang tidak teratur, seperti puncak Sumbing (1518 m), Lirang (1414 m), Gajahmungkur (1488 m) dan Kombang (1514 m), puncak Kelud merupakan kubah ekstrusif dengan kemiringan rata-rata > 40°. Gunungapi Kelud memiliki 10 kawah dan 32 patahan normal. Kesepuluh kawah tersebut umurnya berurutan dari yang tertua (kawah Lirang) hingga termuda (kawah Kelud), dan merupakan pusat erupsi yang berpindah-pindah berlawanan arah jarum jam. Masing-masing erupsinya menghasilkan batuan piroklastik, dan pada umumnya merusak sebagian kubah kawah lama. Hal ini menunjukkan bahwa erupsi Gunungapi Kelud bersifat eksplosif [3]

Prinsip dasar gayaberat mengacu pada hukum Newton yang menyatakan "Gaya tarik-menarik antara dua buah partikel sebanding dengan perkalian massa kedua partikel tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar pusat keduanya". Pada koordinat kartesian, gaya tarik menarik antara partikel bermassa m_2 pada koordinat Q (x',y',z') dengan partikel bermassa m_1 pada koordinat P (x,y,z) sesuai dengan persamaan 2.1, Sketsanya pada Gambar 1.

$$\vec{F}(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

dengan $r = [(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{\frac{1}{2}}$



Gambar 1. Sketsa Gaya Tarik Menarik Antara Dua Buah Benda

Percepatan yang dialami m_2 akibat adanya m_1 bisa dihitung dengan membagi F dengan m_2 . Jika m_1 adalah massa bumi maka percepatan yang dialami m_2 pada permukaan bumi adalah [6]:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m_2} = -G \frac{m_{\text{bumi}}}{r_{\text{bumi}}^2} \hat{r}_1 \rightarrow (m / \text{sec}^2) \quad (2)$$

Hubungan percepatan gravitasi dengan rapat massa (densitas) dinyatakan dengan persamaan:

$$\vec{F}(\mathbf{r}) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

dengan

$$m = V \rho \quad (4)$$

dan

$$g = G \frac{m}{r^2} \quad (5)$$

maka
 $g \approx \rho$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa nilai medan gayaberat berbanding lurus dengan rapat massa [4].

Nilai pengukuran gayaberat di permukaan bumi bervariasi. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu ketidakteraturan permukaan bumi, ketinggian, letak benda-benda langit disekitar bumi, dan kondisi kerapatan batuan penyusun di bawah permukaan bumi. Oleh karena itu, hasil pengukuran dengan menggunakan metode gayaberat perlu dilakukan koreksi-koreksi untuk menghilangkan efek tersebut [7].

a. Koreksi Pasang-Surut

Koreksi ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Koreksi pasang surut harus diberikan kepada bumi untuk menyeimbangkan ke posisi normalnya. Besarnya koreksi ini bervariasi terhadap lintang, waktu, serta kedudukan benda-benda langit. Gaya pasang-surut akan maksimum bila bulan dan matahari terletak pada satu arah dan berlawanan, dan akan minimum jika keduanya tegak lurus. Menurut Heiland komponen tegak gaya pasang-surut Δg_{TDL} dirumuskan menjadi [8]:

$$\Delta g_{TDL} = \frac{3GrM_m}{2D_m^2} \left(\cos 2a_m + \frac{1}{3} \right) - \frac{3GrM_s}{2D_s^2} \left(\cos 2a_s + \frac{1}{3} \right) \quad (6)$$

b. Koreksi Drift

Drift adalah penyimpangan pembacaan nilai gravitasi yang disebabkan oleh beberapa faktor misalnya elastisitas pegas pada alat, pengaruh suhu dan guncangan selama survei. Semua alat Gravitimeter harus cukup peka untuk kepentingan prospeksi geofisika secara komersial sehingga akan mempunyai variasi terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan faktor internal yaitu adanya struktur dalam alat yang berupa pegas sangat halus sehingga perubahan mekanis yang sangat kecil akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Secara matematis besarnya koreksi *drift* adalah [4]:

$$\text{drift} = \frac{g_{\text{akh}} - g_0}{t_{\text{akh}} - t_0} (t_n - t_0) \quad (7)$$

c. Koreksi Lintang/Gravitasi Normal

Nilai percepatan gravitasi di khatulistiwa berbeda dengan di equator. Gravitasi di khatulistiwa lebih kecil daripada di kutub karena jejarnya lebih panjang. Dengan kata lain nilai percepatan gravitasi pada setiap titik dipengaruhi oleh posisi lintang [6]. International Association of geodesy mengembangkan *Geodetic Reference System 1980* yang menuntun pada *World geodetic System 1984* (WGS84) dalam bentuk rumusan yang lebih sempurna [1]:

$$g_n = 9.780326771 \left(4 \frac{1 + 0,001938513839 \sin^2 \theta}{\sqrt{1 - 0,0066943799013 \sin^2 \theta}} \right) \quad (8)$$

d. Koreksi Udara Bebas

Pada koreksi gravitasi normal benda dianggap terletak di spheroid referensi, padahal kenyataannya seringkali pengukuran gravitasi dilakukan di daerah yang tinggi di atas mean sea level (m.s.l). Oleh karena itu harus dilakukan koreksi terhadap pembacaan Gravitimeter akibat perbedaan ketinggian tersebut terisi oleh udara. Secara matematis nilai KUB menjadi [2]:

$$FAC = -0,3086 x h \quad (9)$$

e. Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer (KB) perlu dilakukan karena adanya massa yang terletak antara datum dan titik pengukuran dengan densitas ρ (gr/cm^2), tebal h (meter) dan jari-jari tak hingga. Secara matematis besar koreksi Bouguer adalah [5]:

$$KB = 0.1491 \times \rho \times h \quad (10)$$

f. Koreksi Medan

Kondisi topografi disekitar titik pengamatan tidak selamanya beraturan, hal ini

juga dapat mempengaruhi nilai gayaberat pengamatan. Misalkan terdapat bukit disekitar pengukuran, maka bukit ini memiliki medan yang dapat menekan Gravimeter untuk menaikkan percepatan gayaberat dan sebaliknya, adanya lembah disekitar titik pengamatan akan memberikan efek penurunan hasil pengukuran gayaberat di titik tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi yang dinamakan dengan koreksi medan (*terrain*). Dalam pengukurannya, peta topografi dicocokkan pada *Hammer Chart*. Hammer melakukan pendekatan efek gayaberat dalam suatu cincin, Jika cincin memiliki ketebalan atau beda elevasi z , jari-jari luar R_L , dalam R_D , maka persamaan yang menyatakan gaya tarik gravitasi pada titik tengah cincin untuk tiap kompartmen yaitu[6] :

$$TC = \frac{2\pi G\rho}{n} \left[R_L - R_D + \sqrt{R_D^2 - z^2} - \sqrt{R_L^2 - z^2} \right] mGal \quad (11)$$

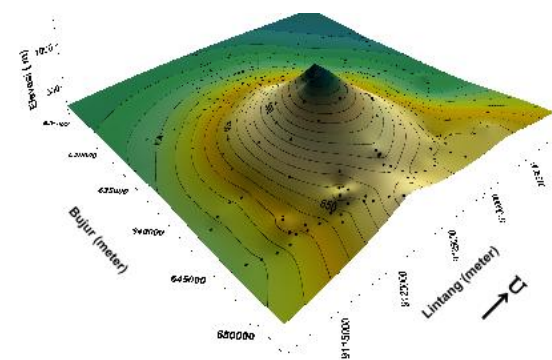
METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Gravimeter *LaCoste & Romberg type G-1053*, GPS *Garmin*, Penunjuk waktu (jam), Alat tulis, Peta geologi, Perangkat komputer dengan instalasi *software MS. Word, MS. Excel, Surfer 10 dan Grav2DC*.

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengumpulan informasi lapangan serta perencanaan pembuatan titik ikat dan perencanaan lintasan pengambilan data dilapangan dengan jarak titik pengukuran kurang lebih 1 km (Gambar 2). Selanjutnya dilakukan proses pengambilan data berupa nilai percepatan gravitasi yang terbaca pada *counter* Gravimeter serta koordinat posisi berupa lintang, bujur dan ketinggian. Pembacaan nilai gravitasi pada *counter* dilakukan sebanyak 3 kali dengan selang waktu yang berbeda agar data yang diperoleh lebih valid. Pengambilan data dilakukan dengan metode *looping*. Nilai percepatan gravitasi hasil pembacaan alat dikonversi ke miligal, selanjutnya dilakukan koreksi pasang surut dan koreksi apung hingga diperoleh nilai percepatan gravitasi observasi. Selanjutnya nilai tersebut direduksi terhadap nilai percepatan gravitasi teoritis yang meliputi koreksi gravitasi normal, koreksi udara bebas, koreksi bouguer dan koreksi medan. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan proses reduksi yaitu berupa anomali bouguer lengkap (Gambar 3) yang selanjutnya dilakukan interpretasi.

Interpretasi data metode gravitasi dibagi menjadi dua macam yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan mengamati nilai anomali bouguer yang terdiri atas anomali regional dan

residual sehingga melalui interpretasi ini dapat dilihat penyebaran anomali dan nilai anomali yang dihasilkan serta dapat menafsirkan pengaruh anomali terhadap bentuk benda walau sampai tidak mengetahui secara pasti ukuran dan bentuknya. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menyayat lintasan pada peta kontur anomali untuk analisis model bawah permukaan, dari hasil pemodelan dapat diperoleh model struktur geologi dengan cara membuat profil topografinya, lalu memperkirakan bentuk struktur bawah permukaan berdasarkan hasil pemodelan yang diperoleh.

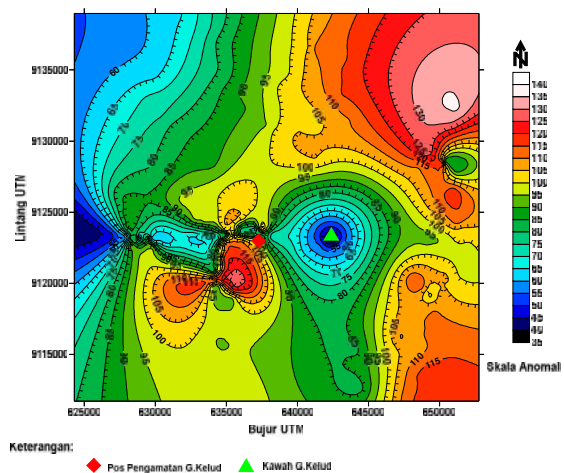


Keterangan
• Titik Pengukuran
Gambar 2. Penampakan 3D kontur Topografi dan Distribusi Titik Pengukuran Daerah Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Interpretasi Kualitatif

Anomali Bouguer Lengkap merupakan anomali gayaberat pada umumnya yang digunakan untuk pendugaan struktur bawah permukaan. Nilai anomali bouguer yang diperoleh dari penelitian ini berkisar +35 sampai +140 mGal seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Keterangan:
♦ Pos Pengamatan G.Kelud ▲ Kawah G.Kelud
Gambar 3. Kontur Anomali Bouguer Lengkap Interval 5 mGal

Nilai anomali kontur ABL pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu anomali rendah dan anomali tinggi, anomali rendah

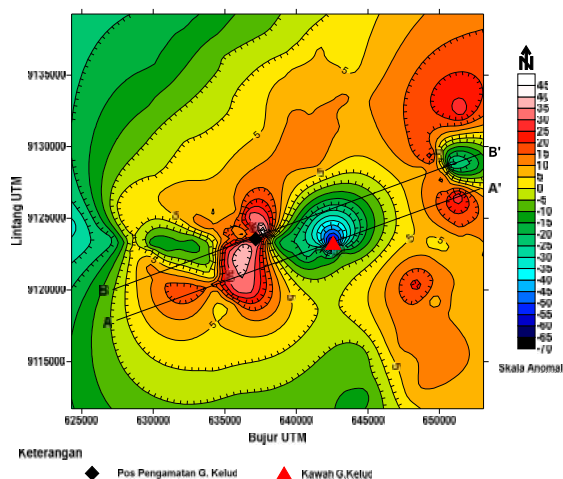
dengan kontras warna biru tua sampai hijau dengan kisaran +35 sampai +90 mGal didominasi oleh batuan vulkanik muda, anomali rendah ini terdistribusi pada bagian kawah dan sebelah Barat Gunungapi Kelud tepatnya di sekitar Kab. Kediri. Anomali rendah tersebut mengindikasikan bahwa batuan penyusun pada daerah tersebut memiliki harga densitas yang rendah.

Anomali tinggi dengan kontras warna kuning sampai kemerahan hingga putih dengan kisaran +95 sampai +140 mGal didominasi batuan vulkanik tua, anomali tinggi ini terdistribusi di bagian Timur Laut dan Tenggara tepatnya di sekitar Kab. Malang serta bagian Barat Daya kawah Kelud, morfologi di bagian Timur Laut tersusun atas batuan Gunungapi Anjasmara, di bagian Tenggara tersusun atas batuan Gunungapi Kawi-Butak dan di bagian Barat Daya kawah, tersusun atas batuan Gunungapi Kelud tua. Anomali tinggi ini mengindikasikan bahwa batuan penyusun daerah tersebut memiliki harga densitas yang tinggi.

Pada penampang kontur ABL juga terlihat adanya *trend* patahan yang berada pada sisi Barat dari kawah Gunungapi Kelud yang dicirikan dengan garis kontur yang sejajar dan sangat rapat, patahan ini menjadi jalur air panas yang bersumber dari kawah Gunungapi Kelud. Menurut Tri marta dkk (2012) pola ini merupakan saluran air panas yang berfungsi untuk mengurangi volume air pada kawah Gunungapi Kelud.

b. Interpretasi Kuantitatif

Profil lintasan A-A' dan B-B' sejajar dipisahkan sejauh 2 km mempunyai arah barat daya-timur laut (Gambar .4) .



Gambar 4. Kontur Anomali Lokal & Penampang melintang lintasan A-A' dan B-B'

Berdasarkan pemodelan lintasan A-A' didapatkan 4 buah poligon seperti Gambar 5. Poligon 1 berada dibawah permukaan desa

Karanganyar, Kab.Blitar dan sekitarnya pada kedalaman 0,06 km di bawah sferoida acuan, ketebalan maksimum 2,94 km, panjang maksimum 11,32 km dengan kontras densitas $\Delta g = 0,41 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,92 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai lava. Poligon 2 merupakan bawah permukaan kawah Gunungapi Kelud yang membentuk anak Kelud pada kedalaman 0,107 km dibawah sferoida acuan, ketebalan maksimum 1,89 km, panjang maksimum 8,67 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = -0,8 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model $1,7 \text{ gr/cm}^3$ yang ditafsirkan sebagai magma (andesit dan basaltik). Poligon 3 berada dibawah permukaan desa Ngantru, Kec. Ngantang dan sekitarnya pada kedalaman 0,26 km dibawah sferoida acuan, ketebalan maksimum 1,74 km, panjang maksimum 6,48 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = 0,41 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model $2,92 \text{ gr/cm}^3$ yang juga ditafsirkan sebagai lava. Poligon 4 berada pada kedalaman 0,00 km dibawah sferoida acuan, ketebalan maksimum 2 km, panjang maksimum 26,66 km dengan kontras densitas sebesar $\Delta \rho = 0,00 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model $2,51 \text{ gr/cm}^3$ yang ditafsirkan sebagai andesit, batuan ini merupakan dasar dari lapisan permukaan Gunungapi Kelud.

Pada lintasan B-B' terdapat 7 buah poligon. Poligon 1 berada pada kedalaman 1,27 km dibawah sferoida acuan, ketebalan maksimum 0,75 km, panjang maksimum 4,29 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = 0,36 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,86 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai lava. Poligon 2 berada pada kedalaman 1,33 km, ketebalan maksimum 0,67 km, panjang maksimum 2,37 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = -0,30 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,2 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai tuf, poligon 2 berada pada jalur air panas yang bersumber dari kawah Gunungapi Kelud. Poligon 3 berada pada kedalaman 0,00 km, ketebalan maksimum 2 km, panjang maksimum 5 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = 0,57 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model $3,07 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai basalt. Poligon 4 berada pada kedalaman 0,51 km, ketebalan maksimum 1,49 km, panjang maksimum 7,40 km dengan kontras densitas $\Delta \rho = -0,40 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model $2,1 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai magma (andesit dan basaltik), poligon 4 ini tepat berada pada bagian kawah yang membentuk anak Kelud. Poligon 5 berada pada kedalaman 1,15 km, ketebalan maksimum 0,85 km, panjang maksimum 4,58 km dengan kontras densitas, $\Delta \rho = 0,35 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,85 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai lava.

Poligon 6 berada pada kedalaman 0,39 km, ketebalan maksimum 1,61 km, panjang maksimum 2,73 km dengan kontras densitas, $\Delta\rho = -0,4 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,1 \text{ gr/cm}^3$, yang ditafsirkan sebagai tuf poligon 6 ini berada di sekitar waduk Selorejo, Kec. Ngantang. Malang. Poligon 7 berada pada kedalaman 0,00 km, ketebalan maksimum 2 km, panjang maksimum 27 km, dengan kontras densitas $\Delta\rho = 0,00 \text{ gr/cm}^3$, harga densitas model adalah $2,51 \text{ gr/cm}^3$ yang ditafsirkan sebagai batuan andesit.

Berdasarkan model yang diperoleh pasca letusan 2007 maka dapat dilihat perbandingannya dengan model sebelum terjadi letusan pada 2007 yang di buat oleh Koesuma (2001). Model struktur bawah permukaan Gunungapi Kelud sebelum terjadi letusan pada tahun 2007 didominasi batuan beku berupa magma andesit, sedangkan pasca letusan berdasarkan hasil penelitian, struktur bawah permukaan Gunungapi Kelud didominasi batuan lava, basalt, andesit, serta magma andesit-basaltik Artinya pasca letusan pada tahun 2007 menyebabkan deformasi struktur bawah permukaan, hal tersebut karena adanya perkembangan batuan yang berupa magma andesit ke basalt serta pembentukan kubah lava.

Struktur bawah permukaan Gunungapi kelud pasca letusan pada tahun 2007 berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode gayaberat ini memiliki kesamaan hasil dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Musafak (2009) dengan menggunakan metode magnetik, hal tersebut karena adanya kesamaan litologi struktur. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dengan menggunakan metode magnetik diperoleh model struktur bawah permukaan Gunungapi kelud pasca letusan 2007 yang ditafsirkan sebagai andesit dan basalt.

KESIMPULAN

Pada kontur anomali Bouguer lengkap diperoleh nilai anomali positif dengan rentang +35 s/d 140 mGal. Nilai anomali kontur ABL pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu anomali rendah dan anomali tinggi, anomali rendah dengan kisaran +35 sampai +90 mGal didominasi oleh batuan vulkanik muda, anomali rendah ini terdistribusi pada bagian kawah dan sebelah Barat Gunungapi Kelud tepatnya di sekitar Kab. Kediri. Anomali tinggi kisaran +95 sampai +140 mGal didominasi batuan vulkanik tua, anomali tinggi ini terdistribusi di bagian Timur Laut, Tenggara tepatnya di sekitar Kab. Malang dan Barat Daya kawah kelud.

Pada penampang kontur ABL juga terlihat adanya *trend* patahan yang berada pada sisi Barat dari kawah Gunungapi kelud yang dicirikan dengan garis kontur yang sejajar dan sangat rapat, patahan ini menjadi jalur air panas yang bersumber dari kawah Gunungapi Kelud.

Berdasarkan pemodelan menggunakan *Grav2DC* metode Talwani $2\frac{1}{2}$ D untuk profil lintasan sejajar A-A' dan B-B' yang terpisah sejauh 2 km dengan arah Barat Daya ke Timur Laut yang melalui Kab. Blitar hingga Kec.Ngantang diperoleh beberapa jenis batuan yaitu andesit, lava, basalt serta magma andesit dan basaltik yang terdapat pada bagian kawah Gunungapi Kelud.

DAFTAR PUSTAKA

1. Blakely, R.J., 1995. *Potential Teory in Gravity and Magnetic Application*. Canbridge University Press. USA.
2. Dobrin, M.B. dan C.H. Savit. 1988. *Introduction to Geophysic Prospecting*, 4th Edition. New York.
3. Kirbani S.B dan Wahyudi. 2007. *Erupsi Gunungapi Kelud dan Nilai-B Gempabumi di sekitarnya*. Jurnal Berkala MIPA, hal.2-8.
4. Lillie, R. J., 1999. *Whole Eart Geophysics*. Prentice-hall. Inc, USA.
5. Suhadiyatno. 2008. *Interpretasi Gayaberat*. Jurnal FMIPA, hal.2-9.
6. Telford, M.W., L.P. Geldart, R.E., Sheriff dan Keys D.A., 1976. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. USA.
7. Yayat, S. Gaol. K. L. Utari, S. dan Ramalis, T. R. 2003. *Pembuatan Titik Ikat Gayaberat Pada Jalur Kalibrasi Bandung-Gunungapi Tangkuban parahu*. Jurnal Geofisika No. 2. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
8. Untung, M. 2001. *Dasar-Dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.