

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH GUNUNG MERBABU – MERAPI BERDASARKAN PEMODELAN 3D ANOMALI BOUGUER

Muh Sarkowi

*Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung, , Jl. Prof.
Soemantri Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung, Telp. (0721)703475-708. Email :
sarkov323@yahoo.com*

Abstract

Mount Merbabu represent the volcano which keep a lot of mystery because its activity not many known by vulcanology expert. At least existing data about activity of Mount Merbabu cause the its activity characteristic not yet can be expressed surely. Study [of] about characteristic of Mount Merbabu needed to to learn the nature of vulcanisme activity so that action prevetive fall the victim and disaster mitigation can be done early possible. While the Mount of Merapi represent the most active volcano in the world. In Its activity, eruption Merapi Mount yield the hot cloud (wedus gembel) with the temperature 3000 ° C to glide the mean reach the distance 4-5 km.

In this research we have been done modeling and interpretation of Bouguer anomaly around Mt. Merapi and Merbabu. Result of research indicate that Mt. Merapi and Merbabu have the negative anomaly which because of existence magma chamber. The magma chamber in Mt. Merapi have a convex form with the deepnes from 500 – 6000 meter from meas sea level, while the magma chamber in Mt. Merbabu have the same from but rather minimize with the deppnes magma chamber about 1000 – 4000 meter from means sea level. Magma chamber in Mt. Merapi caontain liquid magma while the solid magma in Mt. Merbabu.

Keywords : Mount Merapi, Mount Merbabu, Gravity

Abstrak

Gunung Merbabu merupakan gunungapi yang menyimpan banyak misteri karena aktivitasnya tidak banyak diketahui oleh ahli vulkanologi. Sedikitnya data yang ada tentang aktivitas Gunung Merbabu menyebabkan karakteristik aktivitasnya belum bisa dinyatakan secara pasti. Studi tentang karakteristik Gunung Merbabu diperlukan untuk mempelajari sifat aktivitas vulkanisnya sehingga tindakan-tindakan prevensi jatuhnya korban dan mitigasi bencana dapat dilakukan sedini mungkin. Sedangkan gunung Merapi merupakan salah satu gunung berapi yang teraktif di dunia. Dalam aktivitasnya, letusan Gunung Merapi menghasilkan awan panas dengan suhu 3000 °C.

Pada penelitian ini telah dilakukan pemodelan dan interpretasi anomali Bouguer untuk daerah disekitar gunung Merapi dan Merbabu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah puncak gunung Merapi dan gunung Merbabu mempunyai anomali negatif yang disebabkan oleh adanya kantong magma. Kantong magma di gunung Merapi mempunyai bentuk cembung pada bagian tengahnya dengan kedalaman dari 500 – 6000 meter dari MSL, sedangkan kantong magma di gunung Merbabu mempunyai bentuk yang sama tetapi lebih kecil dengan kedalaman kantong magma dari 1000 – 4000 meter dari MSL. Kantong magma gunung merapi berisi magma cair sedangkan kantong magma gunung Merbabu berisi magma padat.

Kata kunci: Gunung Merapi, Gunung Merbabu, Gravitasi

PENDAHULUAN

Gunung Merbabu merupakan gunung yang menyimpan banyak misteri karena aktivitasnya tidak banyak diketahui oleh ahli vulkanologi. Sedikitnya data yang ada tentang aktivitas gunung Merbabu menyebabkan karakteristik aktivitas gunung Merbabu belum bisa dinyatakan secara pasti. Gunung Merbabu juga sudah lama tidak menunjukkan aktivitasnya sehingga oleh sebagian besar masyarakat gunung Merbabu telah dianggap sebagai gunung yang tidak aktif lagi. Namun pada kenyataannya anggapan masyarakat tentang ketidakaktifan gunung Merbabu belum dapat dibuktikan secara ilmiah karena gunung Merbabu belum menunjukkan ciri aktivitas post vulkanis yang mencirikan suatu gunung yang akan berhenti aktivitasnya secara total. Ciri yang ada pada gunung Merbabu sama sekali belum menunjukkan ciri aktivitas post vulkanis sehingga saat ini gunung Merbabu dikategorikan dalam gunung yang sedang dalam masa istirahat.

Studi tentang karakteristik gunung Merbabu diperlukan untuk mempelajari sifat aktivitas vulkanis Gunung Merbabu sehingga tindakan-tindakan preventif jatuhnya korban (jiwa dan harta) dan mitigasi bencana dapat dilakukan sedini mungkin. Tindakan yang tepat di waktu yang tepat akan memberikan hasil yang optimal dibandingkan dengan tindakan yang tepat dalam waktu yang tidak tepat sehingga pemahaman tentang waktu akan terjadinya atau waktu kemungkinan terjadinya kenaikan aktivitas gunung Merbabu yang mungkin dapat berakhir pada erupsi yang membahayakan sangat diperlukan.

Merapi berasal dari dua kata "meru" yang artinya gunung, dan "api" yang berarti gunung berapi. Merapi adalah salah satu gunung berapi yang teraktif di dunia. Dalam aktivitasnya,

letusan Gunung Merapi menghasilkan awan panas rata-rata mencapai jarak 4-5 km. Sejak tahun 1900, indeks letusan berkisar antara 1 - 3, dengan indeks maksimum 3 terjadi pada tahun 1930 dan 1961. Dua letusan ini menghasilkan awan panas dengan jarak hingga 12 km ke arah barat daya. Pada tahun 1998, gunung ini menyemburkan asap wedhus gembel dengan suhu 3000 °C yang bisa melepuhkan kulit manusia. Pada tahun 1994 awan panas telah membunuh 66 orang di lereng sebelah barat daya, sedangkan letusan terakhir terjadi pada 14 Juni 2006 dengan indeks letusan 2 dan menghasilkan awan panas dengan jarak maksimum 7 km ke arah selatan/tenggara.

Untuk mengetahui status kedua gunung tersebut, maka perlu diketahui bagaimana struktur bawah permukaan dan keberadaan kantong magma dari kedua gunung tersebut. Dengan adanya informasi tersebut maka status dan kondisi aktivitas gunung api tersebut dapat dibandingkan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur subsurface dan kantong magma adalah metode gayaberat.

Kondisi Geologi Daerah Gunung Merbabu – Merapi dan sekitarnya

Gunung Merbabu merupakan suatu gunungapi tipe stratovulkano yang terletak pada 7° 26' 38" S dan 110° 26' 38" E dengan elevasi 3142 m dpal (Puncak Kenteng Solo). Gunung Merbabu memiliki tiga puncak yaitu Puncak Antena (2800 m dpal), Puncak Syarif (3119 m dpal), dan Puncak Kenteng Solo (3142 m dpal). Gunung Merbabu memiliki 5 kawah yaitu Kawah Rebab, Kawah Kombang, Kawah Kendang, Kawah Candradimuko, dan Kawah Sambernyowo. Gunung Merbabu memiliki bentuk yang besar dibandingkan dengan gunung Merapi yang sangat ramping. Bagian puncak

gunung Merbabu dapat dibagi menjadi tiga satuan Graben Gunung, yakni :

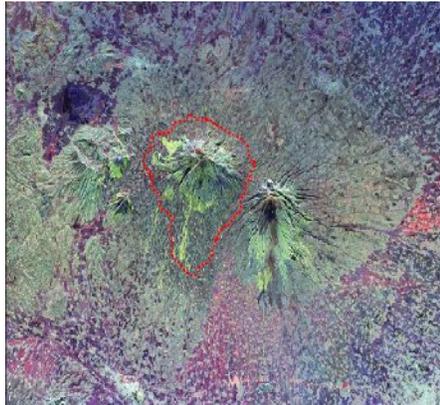
- a. Graben Sari dengan arah timur tenggara – barat baratlaut.
- b. Graben Guyangan dengan arah selatan baratdaya – utara timur.
- c. Graben Sipendok dengan arah barat laut – timur tenggara.

Erupsi samping gunung Merbabu banyak menghasilkan aliran lava dan aliran piroklastik, aliran lava tersebut mengalir melalui titik erupsi yang diselimuti oleh endapan piroklastika baik aliran maupun jatuhnya. Titik-titik erupsi tersebut diperkirakan melalui jalur sesar dengan arah utara baratlaut – selatan tenggara serta melalui daerah puncak. Penelitian yang dilakukan oleh Neuman van Padang 1951, telah menemukan bahwa gunung Merbabu telah mengeluarkan basalt olivin augit, andesit augit dan andesit hornblende hiperstein augit[3]. Demikian pula menurut Mac Donald 1972, melaporkan bahwa pada tahun.1797, gunung Merbabu meletus melalui erupsi samping dan erupsi pusat, namun tidak dilaporkan hasil erupsi yang dikeluarkan serta kerusakan dan korban akibat kegiatan erupsi tersebut[4].

Batuan penyusun Gunung Merbabu secara umum terdiri atas endapan piroklastika dan leleran lava. Pada lereng-lereng Gunung Merbabu ditemukan leleran lava andesitis dan basaltis, terdapat juga endapan pasir yang masih segar dan mudah lepas. Verbeek (1986) menemukan aliran lava basaltis pada sungai-sungai kecil di gunung Merbabu[9]. Berdasarkan penelitian Neuman Van Padang (1951) batuan penyusun Merbabu terdiri atas

basalt (tersusun dari mineral olivin-augit), andesit dengan mineral augit, serta andesit dengan mineral hornblende-hiperstein-augit[3].

Gunung Merapi terbentuk pertama kali sekitar 60.000-80.000 tahun yang lalu. Gunung Merapi terletak pada busur magmatik yang dibentuk oleh gerakan lempeng *India-Australia* ke arah Utara menunjam ke bawah lempeng *Eurasia*. Menurut Van Bemmelen (1970). Gunung Merapi tumbuh di atas titik potong antara kelurusan vulkanik Ungaran - Telomoyo - Merbabu - Merapi dan kelurusan vulkanik Lawu - Merapi - Sumbing - Sindoro – Slamet[8]. Kelurusan vulkanik Ungaran-Merapi tersebut merupakan sesar mendatar yang berbentuk konkaf hingga sampai ke barat, dan berangsur-angsur berkembang kegiatan vulkanisnya sepanjang sesar mendatar dari arah utara ke selatan. Dapat diurut dari utara yaitu Ungaran Tua berumur Pleistosen dan berakhir di selatan yaitu di Gunung Merapi yang sangat aktif hingga saat ini. Kadang disebutkan bahwa Gunung Merapi terletak pada perpotongan dua sesar kwarter yaitu Sesar Semarang yang berorientasi utara-selatan dan Sesar Solo yang berorientasi barat-timur. Gunung Merapi merupakan gunungapi tipe basalt-andesitik dengan komposisi SiO₂ berkisar antara 50-58 %. Beberapa lava yang bersifat lebih basa mempunyai SiO₂ yang lebih rendah sampai sekitar 48%. Batuan Merapi tersusun dari plagioklas, olivin, piroksen, magnetit dan amphibol. Plagioklas merupakan mineral utama pada batuan Merapi dengan komposisi sekitar 34%.



Gambar 1. Gunung Merbabu dan gunung Merapi

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan studi pustaka terhadap beberapa referensi yang menjelaskan tentang gunung Merbabu dan Merapi, pengolahan data gayaberat hingga diperoleh anomali Bouguer, pemisahan anomali Bouguer regional dan lokal dengan metode moving average. Selanjutnya untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan kantong magma dibawah gunung Merapi dan Merbabu dilakukan pemodelan inversi 3D anomali Bouguer. Hasil pemodelan selanjutnya dilakukan interpretasi dan analisis dengan membandingkan data-data geologi di daerah tersebut.

Anomali Bougue Daerah Gunung Merapi

Anomali Bouguer lengkap merupakan selisih antara nilai gayaberat pengamatan dengan gayaberat teoritik yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. Anomali Bouguer dinyatakan sebagai [7]

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - (g_{(\varphi)} - FAC + BC - TC) \tag{1}$$

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - g_{(\varphi)} + (0,308765 - 0.04193\rho)h + C_3\Delta h \tag{2}$$

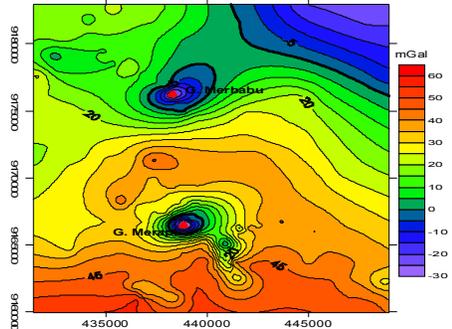
dengan :

- $\Delta g(x,y,z)$: anomali Bouguer lengkap,
- g_{obs} : gayaberat observasi,
- $G_{(\varphi)}$: gayaberat teoritis pada lintang φ ,
- φ : lintang,
- FAC : koreksi udara bebas (*free air correction*),
- BC : koreksi Bouguer (*Bouguer correction*),
- TC : koreksi medan (*terrain correction*),
- ρ : rapat massa,
- h : tinggi (meter),
- Δh : beda tinggi titik amat dengan topografi sekelilingnya,

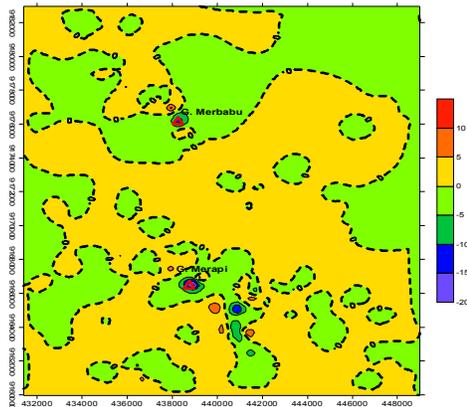
Peta anomali Bouguer lengkap daerah gunung Merapi – Merabu dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 2. Anomali Bouguer lengkap di daerah penelitian mempunyai kecenderungan nilai yang besar di bagian selatan dan terus menurun dibagian utara. Pola ini kemungkinan berkorelasi efek dari zona subduction dari sebelah selatan Jawa. Sedangkan daerah disekitar puncak gunung Merapi dan Merbabu mempunyai anomali negatif yang mengindikasikan adanya distribusi benda dengan densitas rendah di bawah puncak gunung tersebut, yang kemungkinan disebabkan oleh keberadaan kantong magma. Sedangkan adanya pola anomali rendah dibagian NE kemungkinan karena interpolasi karena data yang kurang banyak.

Untuk memunculkan anomali yang dangkal dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian dilakukan analisa second vertical derivatif. Peta second vertical derivatif anomali Bouguer di daerah penelitian dengan filter Elkind ditunjukkan pada Gambar 3. Dari peta SVD anomali Bouguer tampak bahwa daerah gunung Merapi – Merbabu dan

sekitarnya mempunyai struktur yang sangat kompleks.



Gambar 2. Peta anomali Bouguer daerah gunung Merapi – Merbabu dan sekitarnya



Gambar 3. Peta SVD anomali Bouguer daerah gunung Merapi – Merbabu dan sekitarnya

Pemisahan anomali Bouguer lokal dan regional

Anomali Bouguer pada metode gayaberat disebabkan oleh benda anomali baik yang berada dekat dengan permukaan maupun yang jauh dari permukaan bumi. Karena tujuan eksplorasi geofisika pada umumnya untuk mempelajari struktur yang dekat permukaan (cekungan hydrocarbon, reservoir panasbumi, sumber daya alam, struktur geologi), maka berbagai usaha telah dilakukan untuk memisahkan efek residual dari efek regional. Pada penelitian ini pemisahan anomali Bouguer regional dan anomali Bouguer

lokal digunakan metode *moving average*.

Sebelum dilakukan proses pemisahan anomali regional-residual dengan metoda ini, terlebih dulu dibuat grid yang beraturan yaitu dengan spasi grid 500 m pada anomali bouguer dan menentukan lebar jendela yang akan digunakan dalam metoda ini.

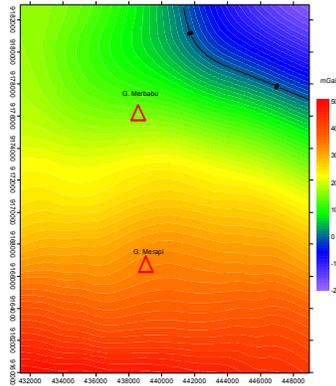
Dalam penentuan lebar jendela terlebih dulu dilakukan slice beberapa penampang pada peta anomali bougernya. Dari penampang tersebut dilakukan transformasi fourier untuk mendapatkan grafik antara bilangan gelombang dan amplitudo dari anomali bouguer. Dari grafik ini didapat batas k yang merupakan batas regional dan residual sebagai dasar dalam menentukan lebar jendela *moving average*. Hasil filtering dengan metode *moving average* dengan window (10 x 10 km) ini diperoleh anomali Bouguer regional (Gambar 4) dan anomali Bouguer residual (Gambar 5).

Peta anomali regional daerah penelitian menunjukkan bahwa penyebab anomali lebih disebabkan oleh pengaruh dari subduksi yang terjadi di selatan Jawa yang menembus ke bawah pulau Jawa sampai di daerah penelitian. Sedangkan peta anomali Bouguer residual menunjukkan adanya beberapa pola anomali yang menarik, yaitu :

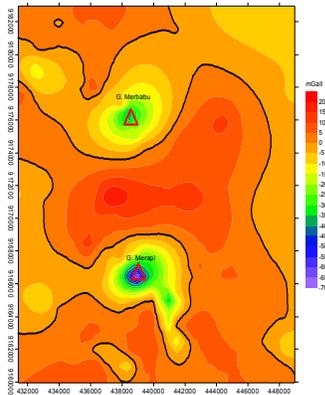
a. Adanya pola anomali Bouguer rendah (negatif) di daerah sekitar puncak gunung Merbabu dan Merapi. Anomali negatif ini kemungkinan disebabkan oleh keberadaan kantung magma di daerah tersebut. Anomali di daerah puncak gunung Merapi relatif lebih rendah bisa dibandingkan dengan di gunung Merbabu, hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan dimensi kantung magma gunung Merapi lebih besar dan lebih dangkal dibandingkan gunung Merbabu.

b. Pola anomali tinggi di daerah antar gunung Merapi dan Merbabu yang

kemungkinan disebabkan oleh material hasil erupsi magma dari gunung Merapi dan Merbabu yang memiliki densitas tinggi.



Gambar 4. Peta anomali Bouguer regional hasil filtering dengan teknik moving average



Gambar 5. Peta anomali Bouguer lokal hasil filtering dengan teknik moving average

Pemodelan Inversi 3D dan Interpretasi anomali Bouguer Lokal gunung Merapi - Merbabu.

Untuk mendapatkan pola struktur bawah permukaan dari data gayaberat, maka anomali Bouguer hasil pengukuran dan perhitungan harus dilakukan pemodelan baik dengan metode foward modelling atau inversion modelling sehingga akan diketahui distribusi densitas dan struktur di daerah penelitian. Selanjutnya berdasarkan distribusi densitas tersebut dilakukan interpretasi dengan menggabungkan

data-data geologi yang ada didaerah tersebut sehingga akan diperoleh struktur bawah permukaan di daerah tersebut.

Pada penelitian ini pemodelan data anomali Bouguer dilakukan dengan metode inversi, dengan model benda didekati dengan benda berbentuk susunan prisma tegak dengan spasi Δx dan Δy . Dari susunan prisma tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan respon gayaberatnya. Untuk menghitung respon gayaberatnya digunakan metode perumusan yang dilakukan oleh Plouf (1976):

$$g = G\gamma\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{jk} + y_j) - y_j \log(R_{ik} + x_i) \right]$$

dimana : $R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$

$$\mu_{ijk} = (-1)^i (-1)^j (-1)^k$$

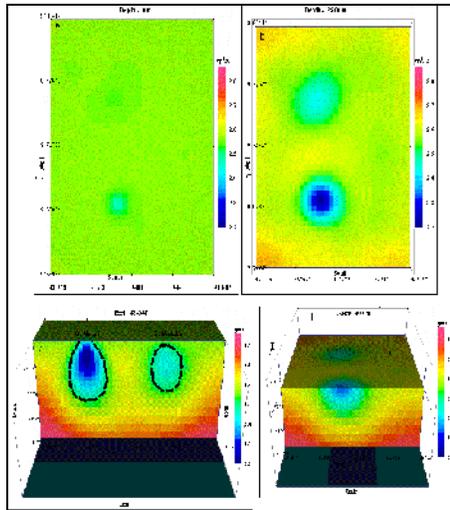
Pada penelitian ini inversi 3D anomali Bouguer digunakan program Grav 3D. Hasil inversi 3D ditunjukkan pada Gambar 6.

- a. Model distribusi densitas bawah permukaan pada kedalaman 0 meter
- b. Model distribusi densitas bawah permukaan pada kedalaman 2500 meter
- c. Model distribusi densitas bawah permukaan arah S-N. Tampak adanya anomali berbentuk cembung pada kedalaman 500 – 6000 meter dari MSL untuk gunung Merapi dan 1000 – 4000 meter dari MSL untuk gunung Merbabu
- d. Model distribusi densitas bawah permukaan yang menunjukkan bahwa kantong magma gunung Merapi lebih besar dibandingkan kantong magma di gunung Merbabu.

Hasil pemodelan 3D anomaly Bouguer lokal mendapatkan beberapa hal yang menarik, yaitu :

- a. Distribusi densitas bawah permukaan di daerah gunung Merapi – Merbabu dan sekitarnya sampai kedalaman 10 km mempunyai nilai antara 2.2 – 2.9 gr/cc

b. Pada kedalaman 0 meter (MSL) tampak bahwa di daerah puncak gunung Merapi terdapat daerah dengan anomali rendah (2.4 gr/cc) berbentuk silinder yang diinterpretasikan sebagai jalur keluarnya magma. Sedangkan di daerah sekitar gunung Merbabu pada kedalaman ini tidak dijumpai.



Gambar 6. Model distribusi densitas bawah permukaan hasil inversi 3D anomali Bouguer

c. Pada kedalaman 2500 meter (dari MSL) tampak adanya distribusi densitas rendah baik di daerah gunung Merapi maupun gunung Merbabu. Densitas rendah ini berbentuk ellip (tidak bulat) yang ditafsirkan sebagai kantong magma, dimana di daerah puncak gunung Merapi mempunyai densitas yang lebih rendah dibandingkan densitas dibawah puncak gunung Merbabu. Densitas kantong magma di bawah gunung Merpai yang lebih rendah mungkin disebabkan oleh sifat magma yang berupa cair dan mengisi rongga-rongga yang ada pada kantong magma gunung Merapi, tidak semua rongga pada kantong magma terisi oleh magma. Sedangkan di bahwa gunung Merbabu kemungkinan kantong magma dan rongga-rongganya terisi oleh magma yang telah membeku.

d. Kantong magma gunung Merapi berbentuk cembung pada bagian tengahnya (seperti guci) dengan kedalaman dari 500 – 6000 meter dari MSL, sedangkan kantong magma gunung Merbabu berbentuk cembung (seperti guci) pada kedalaman 1000 – 4000 meter dari MSL tetapi bentuknya lebih kecil dengan densitas yang lebih besar dibandingkan kantong magma gunung Merapi. Posisi kantong magma gunung Merapi dan Merabu ini relative sejajar dengan arah Utara – Selatan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian gayaberat gunung Merapi – Merbabu dan sekitarnya dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

a. Daerah di sekitar puncak gunung Merapi dan gunung Merbabu mempunyai anomali Bouguer negatif (rendah)

b. Anomali Bouguer regional daerah penelitian mempunyai pola tinggi dibagian Selatan dan terus menurun ke arah Utara. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur regional yang mengontrol daerah penelitian adalah struktur subduksi di Selatan yang menembus pulau Jawa.

c. Kantong magma gunung Merapi mempunyai bentuk cembung pada bagian tengahnya (seperti guci) dengan kedalaman dari 500 – 6000 meter dari MSL, sedangkan kantong magma gunung Merbabu berbentuk cembung (seperti guci) pada kedalaman 1000 – 4000 meter dari MSL tetapi bentuknya lebih kecil dibandingkan kantong magma gunung Merapi. Posisi kantong magma gunung Merapi dan Merabu ini relative sejajar dengan arah Utara – Selatan. Kantong magma gunung Merapi tersisi oleh magma yang bersifat cair mengisi rongga-rongga yang ada, sedangkan kantong magma di gunung Merbabu terisi oleh magma yang telah membeku. Hal ini didukung oleh nilai

densitas kantong magma gunung Merapi yang lebih rendah dibandingkan gunung Merabu.

d. Aliran magma di dalam gunung Merapi masih kelihatan sampai kedalaman 0 meter dari MSL sedangkan di gunung Merbabu aliran magma di dalam gunung Merbabu tidak kelihatan dan yang kelihatan hanya kantong magmanya saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, *General Geology*, The Haque, Amsterdam.
- [2]. La Fehr, T.R., 1991, *Standardization in Gravity Reduction*, *Geophysics*, vol. 56, No.8
- [3]. Van Padang M, Neuman. 1933. De Uitbarsting van den Merapi (Midden Java) in de jaren 1930-1931. *Vulkanol Seismol Meded* 12:1-116.
- [4]. Mac Donald, G. A. 1972. *Volcanoes*. New York: Prentice Hall.
- [5]. Mc. Birney, A.R., 1971, *Oceanic Volcanism : A Riview, Riview of Geophysics and Space Physics*, V.9. P. 523-556
- [6]. Plouff, D. (1976) : Gravity and magnetic field of polygonal prisms and aplication to magnetic terrain corrections, *Geophysics*, **41**, 727-741.
- [7]. Sarkowi M., Kadir WGA., Santoso D., dan Supriyadi, (2006) : Pemantauan penurunan muka air tanah di daerah Semarang dengan metode gayaberat-mikro antar waktu, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-31, Semarang Nopember 2006*.
- [8]. Van Bemmelen, R. W. 1970. *The Geology of Indonesia 2nd Edition*. The Hague: Martinus
- [9]. Verbeek, R. D. M. 1896. *The Merbaboe, Java en Madoera (terjemahan)*. Bandung: Arsip Direktorat Vulkanologi.
- [10]. Yokoyama, I., I. Surjo, dan B. Nazhar, 1969, *Volcanological Survey of Indonesia*, bag. 4, *Gravity Survey in Central Java. Bulletin of the Earthquake Research Institute*, vol. 48, hal. 303-315.