

IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH GUNUNG MERAPI, JAWA TENGAH BERDASARKAN DATA GAYABERAT

Fiska Andani¹, Muh Sarkowi², Rizka³

Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera

Teknik Geofisika Universitas Lampung

Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera

Email: andanifiska@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode Gayaberat di daerah Gunung Merapi, Jawa Tengah. Data yang digunakan merupakan data sekunder dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 172 titik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan dan posisi kantong magma Gunung Merapi berdasarkan peta anomali residual *moving average*, *second vertical derivative*, pemodelan ke depan dan pemodelan inversi dengan menggunakan nilai anomali bouguer. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dengan nilai -100 sampai 40 mGal. Hasil *moving average* berupa peta anomali bouguer regional dan residual. Peta anomali bouguer regional berkisar antara -30 sampai 35 mGal dan peta anomali bouguer residual berkisar antara -70 sampai 20 mGal. Hasil kontur *second vertical derivative* bernilai 0 mGal/km² yang mengindikasikan adanya struktur sesar pada daerah penelitian. Pemodelan ke depan menghasilkan model bawah permukaan Gunung Merapi yang terdiri dari 5 lapisan batuan yang terdiri dari *basement* (2.8 gr/cm³), tuff (2.44 gr/cm³), breksi gunungapi (2.54 gr/cm³), leleran lava (2.9 gr/cm³) dengan posisi magma terletak pada kedalaman 3500 m dari puncak Gunung Merapi. Pemodelan inversi memperlihatkan keberadaan model bawah permukaan Gunung Merapi ditunjukkan dengan persebaran nilai densitas rendah (0.8-2.58 gr/cm³), densitas menengah (2.58-2.75 gr/cm³) dan densitas tinggi (2.75-3.54 gr/cm³).

Kata kunci: Gayaberat, Gunung Merapi, *moving average*, *second vertical derivative*, pemodelan ke depan, pemodelan inversi

ABSTRACT

Gravity method research has been done in Mount Merapi area, Central Java. The data used are secondary data with 172 points. This study aims to identify the subsurface geological structure and position of the magma chamber in Mount Merapi based on anomaly residual of moving average, second vertical derivative, forward modeling and inversion modeling using bouguer anomaly values. The results obtained from this research are Complete Bouguer Anomaly (CBA) maps with values -100 to 40 mGal. The results of moving averages are regional and residual bouguer anomaly maps. Regional bouguer anomaly maps range from -30 to 35 mGal and residual bouguer anomaly maps range from -70 to 20 mGal. The result of the second vertical derivative is 0 mGal/km² which is indicating the existence of fault in the study area. Forward modeling produces subsurface models of Mount Merapi consisting of 5 layers, there are basement (2.8 gr/cm³), tuff (2.44 gr/cm³), volcanic breccia (2.54 gr/cm³), lava flow (2.9 gr/cm³) with the position of magma in 3500 m from the peak of Mount Merapi. The inversion modeling shows the subsurface model of Mount Merapi with low density (0.8-2.58 gr/cm³), medium density (2.58-2.75 gr/cm³) and high density (2.75-3.54 gr/cm³).

Keywords: gravity, Mount Merapi, Bouguer anomaly, moving average, second vertical derivative, forward modeling, inversion modeling

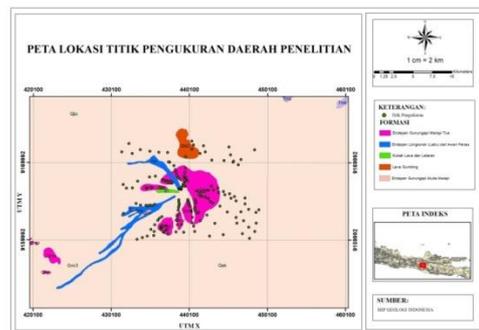
PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang mempunyai 129 gunungapi aktif (14% dari jumlah gunungapi di dunia, salah satu gunungapi yang sangat aktif di Indonesia adalah Gunung Merapi (Suyanto, 2011). Gunung Merapi terletak di perbatasan antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah, yang mencakup 4 Kabupaten yaitu Kabupaten Magelang, Kabupaten Sleman, Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali. Gunung Merapi terbentuk karena adanya aktivitas antara 2 lempeng benua yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia, menjadikan Gunung Merapi salah satu gunungapi paling aktif di dunia, dan memiliki sejarah erupsi yang mematikan dalam 100 tahun terakhir dengan intensitas erupsi yang terjadi setiap 3-5 tahun sekali. Hal ini terbukti, terjadi erupsi yang berbeda dari kebiasaan Gunung Merapi selama beberapa dekade terakhir (Permadi dkk, 2016). Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia rawan terjadi bencana geologi diantaranya letusan gunungapi yang menimbulkan banyak kerusakan serta korban dari bencana tersebut. Untuk mendukung usaha mitigasi bencana di sekitar area rawan Gunung Merapi dapat dilakukan berbagai macam cara, salah satunya dengan mengetahui kondisi bawah permukaan Gunung Merapi. Untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dapat digunakan salah satu dari metode geofisika yaitu metode Gayaberat. Metode Gayaberat merupakan salah satu metode penyelidikan dalam geofisika yang berlandaskan hukum Newton. Metode ini didasarkan pada adanya perbedaan kecil dari medan Gayaberat yang disebabkan oleh adanya distribusi massa yang tidak merata di lapisan bumi yang menyebabkan tidak meratanya distribusi massa jenis batuan. Adanya perbedaan massa jenis batuan ini akan menimbulkan medan gaya gravitasi yang tidak sama pula dan perbedaan inilah yang terukur di permukaan bumi (Iif, 2010). Pada penelitian Suyanto (2011), telah mengaplikasikan metode Gayaberat di Gunung Merapi dengan melakukan pemodelan 2D. Model bawah permukaan Gunung Merapi diinterpretasikan terdiri dari 5 lapisan batuan dengan densitas batuan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman, dengan 2 kantong magma yang terletak pada kedalaman 500 m dan 3200 m. Karena intensitas erupsi gunung merapi yang sangat tinggi, perlu dilakukan

penelitian secara terus menerus untuk mengetahui kondisi terkini bawah permukaan Gunung Merapi. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian mengenai keberadaan struktur geologi bawah permukaan daerah Gunung Merapi, Jawa Tengah berdasarkan pemodelan data Gayaberat anomali residual *moving average* dan *second vertical derivative*.

LOKASI DAN GEOLOGI REGIONAL

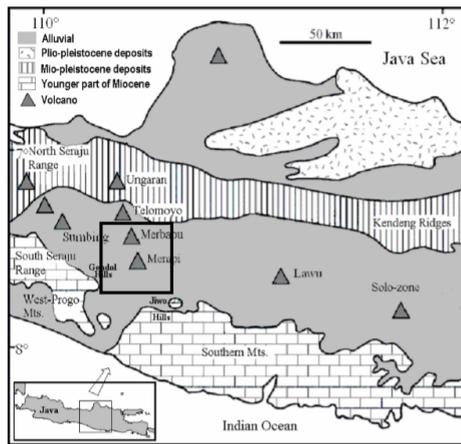
Data penelitian ini merupakan data sekunder, yang diperoleh dari penelitian di lapangan. Data yang diperoleh adalah data gravitasi hasil survei di daerah Gunung Merapi Jawa Tengah. Data yang digunakan terdiri dari 172 titik pengamatan yang dibatasi oleh $7,48^{\circ}$ LS - $7,59^{\circ}$ LS dan $110,38^{\circ}$ BT - $110,54^{\circ}$ BT dengan panjang lintasan 16 km (UTM X) dan 12 km (UTM Y) (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi titik pengukuran daerah penelitian

Gunung Merapi terbentuk pertama kali sekitar 60.000-80.000 tahun yang lalu. Gunung Merapi terletak pada busur magmatik yang dibentuk oleh gerakan lempeng Indo-Australia ke arah Utara menunjam ke bawah lempeng Eurasia. Gunung Merapi tumbuh di atas titik potong antara kelurusan vulkanik Ungaran-Telomoyo-Merbabu-Merapi dan kelurusan vulkanik Lawu-Merapi- Sumbing Sindoro-Slamet (Gambar 2). Kelurusan vulkanik Ungaran-Merapi tersebut merupakan sesar mendatar yang berbentuk konkaf hingga sampai ke Barat, dan berangsur-angsur berkembang kegiatannya 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 kuartar yaitu Sesar Semarang yang berorientasi Utara-Selatan dan Sesar Solo yang berorientasi Barat-Timur. Gunung Merapi merupakan gunungapi tipe basalt-andesitik dengan komposisi SiO_2 berkisar antara 50-58%. Beberapa lava yang bersifat lebih basa mempunyai SiO_2 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% (Suyanto, 2011).



Gambar 2. Geologi regional Jawa Tengah dan Jawa Timur (Suyanto, 2011)

METODE PENELITIAN

Metode gayaberat adalah salah satu metode dalam geofisika yang didasarkan pada pengukuran medan gravitasi. Pengukuran ini dapat dilakukan di permukaan bumi, kapal maupun di udara. Dalam metode ini yang dipelajari adalah variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan medan gravitasi dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. Metode gayaberat umumnya digunakan dalam eksplorasi jebakan minyak (*oil trap*), mineral dan lainnya (Kearey dan Brooks, 1991).

Struktur bawah permukaan (struktur geologi) adalah suatu struktur atau kondisi geologi yang ada di suatu daerah sebagai akibat dari terjadinya perubahan-perubahan pada batuan oleh proses tektonik atau proses lainnya. Terjadinya proses tektonik menyebabkan batuan (batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf) maupun kerak bumi akan berubah susunan dari keadaan semula. Keberadaan struktur di satu

sisi bisa bernilai ekonomis yang tinggi dan di sisi lain bisa mendatangkan kerugian. Penelitian untuk mengetahui zona struktur dilakukan dengan metode Gayaberat dengan alasan sensitivitas respon, murah secara ekonomi maupun teknik lapangan (Chumairoh dkk, 2014).

Pada dasarnya Gayaberat adalah gaya tarik menarik antara dua buah benda yang memiliki rapat massa yang berbeda, hal ini dapat diekspresikan oleh rumus hukum Newton sederhana seperti berikut:

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

dengan: F = gaya tarik menarik

antara dua benda (N)

G = konstanta Gayaberat
($6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$)

m_1, m_2 = massa dua benda
berbeda (kg)

r = jarak antar pusat massa
(m)

\hat{r} = arah vektor

Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat dan menekankan pada perubahan besar nilai gravitasi karena variasi densitas di bawah permukaan. Namun pada kenyataannya besar nilai gravitasi bergantung pada lima faktor yaitu lintang, elevasi topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi, dan variasi densitas di bawah permukaan. Sehingga dilakukan koreksi untuk mengghilangkan pengaruh selain variasi densitas, yaitu koreksi tinggi alat, koreksi pasang surut, koreksi apungan, koreksi lintang, udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi medan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

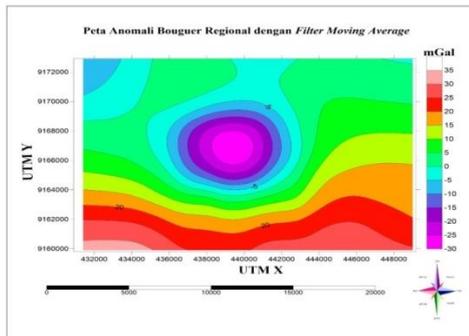
Complete Bouguer Anomaly (CBA)

Complete Bouguer Anomaly (CBA) merupakan hasil pengolahan data Gayaberat di daerah Gunung Merapi Jawa Tengah yang dipetakan ke dalam peta kontur dengan menggunakan perangkat lunak *surfer*. Hasil *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* daerah penelitian memiliki nilai -100 mGal sampai dengan 40 mGal yang ditunjukkan pada Gambar 3.

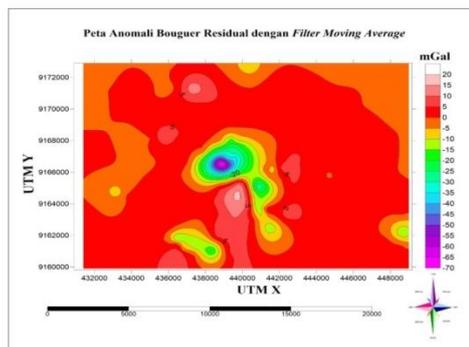
Moving average

Hasil dari *filter moving average* diperoleh peta regional dan residual, peta anomali regional memiliki anomali dalam yang

menggambarkan nilai kedalaman yang lebih dalam, dan memiliki frekuensi rendah. Peta anomali bouguer regional berkisar antara -30 sampai 35 mGal dan peta anomali bouguer residual berkisar antara -70 sampai 20 mGal. Sedangkan peta anomali residual memiliki anomali dangkal yang menggambarkan nilai kedalaman yang lebih dangkal, dan memiliki frekuensi tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



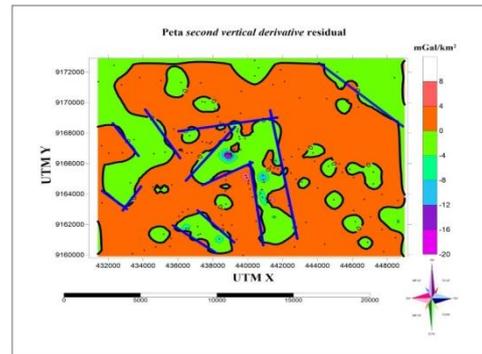
Gambar 4. Peta anomali bouguer regional dengan *filter moving average*



Gambar 5. Peta anomali bouguer residual dengan *filter moving average*

Second Vertical Derivative

Hasil dari *second vertical derivative* residual daerah penelitian memperlihatkan nilai negatif atau anomali rendah sebagian besar dan terdapat nilai anomali tinggi yang terdapat pada bagian sekitar daerah penelitian. Hasil kontur *second vertical derivative* bernilai 0 mGal/km² yang mengindikasikan adanya struktur sesar dangkal atau patahan pada daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta *second vertical derivative*

Pemodelan Ke Depan

Pemodelan ke depan dilakukan dengan 2 lintasan, yaitu lintasan A – A' dan B – B'. Hasil dari pemodelan ke depan diperoleh 5 lapisan batuan bawah permukaan Gunung Merapi dengan penyusun utama daerah penelitian didominasi oleh batuan sedimen baik dari aktivitas Gunung Merapi Tua dan Gunung Merapi Muda yang terdiri dari *basement* (2.8 gr/cm³), tuff (2.44 gr/cm³), breksi gunungapi (2.54 gr/cm³), leleran lava (2.9 gr/cm³) dengan posisi kantong magma diidentifikasi berada pada kedalaman sekitar 3500 m di bawah puncak Gunung Merapi dengan nilai densitas 2.92 gr/cm³ yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Pemodelan Inversi

Hasil dari pemodelan inversi memperlihatkan keberadaan model bawah permukaan Gunung Merapi ditunjukkan dengan pesebaran nilai densitas dari densitas rendah ke tinggi. Nilai densitas tinggi terdapat pada kedalaman 200 m sampai dengan 2 km yang diinterpretasikan sebagai batuan beku dan juga terdapat kantong magma, sedangkan untuk nilai densitas rendah terdapat pada kedalaman sampai dengan 200 m yang diinterpretasikan dengan batuan piroklastik (breksi gunungapi, tuff) yang ditunjukkan pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) daerah penelitian memiliki nilai -100 mGal sampai dengan 40 mGal. Pada metode *moving average* diperoleh 2 peta anomali yaitu: peta anomali regional dan residual, peta anomali regional memiliki anomali dalam yang menggambarkan nilai kedalaman yang lebih dalam, dan memiliki frekuensi

rendah. Peta anomali bouguer regional berkisar antara -30 sampai 35 mGal dan peta anomali bouguer residual berkisar antara -70 sampai 20 mGal. Sedangkan peta anomali residual memiliki anomali dangkal yang menggambarkan nilai kedalaman yang lebih dangkal, dan memiliki frekuensi tinggi. Pada peta *second vertical derivative* residual daerah penelitian memperlihatkan nilai negatif atau anomali rendah sebagian besar dan terdapat nilai anomali tinggi yang terdapat pada bagian sekitar daerah penelitian. Hasil kontur *second vertical derivative* bernilai 0 mGal/km² yang mengindikasikan adanya struktur sesar dangkal atau patahan pada daerah penelitian.

2. Hasil pemodelan ke depan diperoleh 5 lapisan batuan bawah permukaan Gunung Merapi dengan penyusun utama daerah penelitian didominasi oleh batuan sedimen baik dari aktivitas Gunung Merapi Tua dan Gunung Merapi Muda yang terdiri dari *basement* (2.8 gr/cm³), tuff (2.44 gr/cm³), breksi gunungapi (2.54 gr/cm³), leleran lava (2.9 gr/cm³) dengan posisi kantong magma diidentifikasi berada pada kedalaman sekitar 3500 m di bawah puncak Gunung Merapi dengan nilai densitas 2.92 gr/cm³.
3. Hasil dari pemodelan inversi memperlihatkan keberadaan model bawah permukaan Gunung Merapi ditunjukkan dengan persebaran nilai densitas dari densitas rendah ke tinggi. Nilai densitas tinggi terdapat pada kedalaman 200 m sampai dengan 2 km yang diinterpretasikan sebagai batuan beku dan juga terdapat kantong magma, sedangkan untuk nilai densitas rendah terdapat pada kedalaman sampai dengan 200 m yang diinterpretasikan dengan batuan piroklastik (breksi gunungapi, tuff).

SARAN

Adapun saran dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian selanjutnya membutuhkan data Gayaberat terbaru untuk mengetahui kondisi terkini bawah permukaan Gunung Merapi.
2. Penelitian selanjutnya menggunakan jenis *filter* lainnya supaya terdapat

adanya perbedaan dengan penelitian yang sebelumnya.

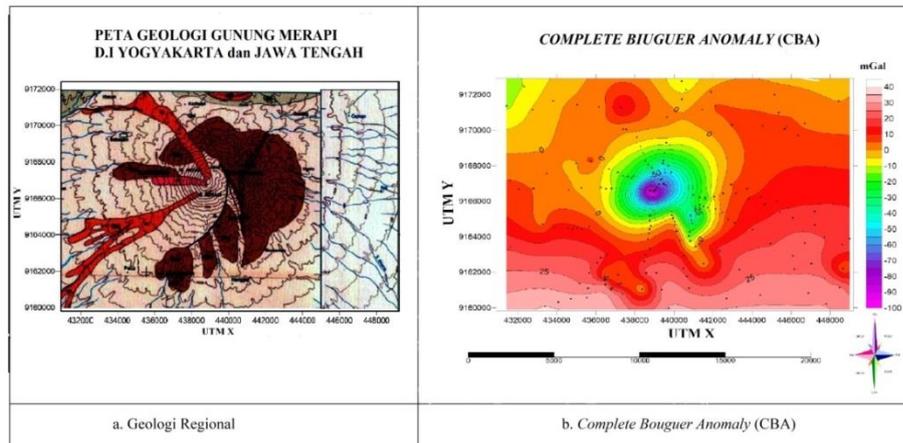
UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si. dan Ibu Rizka, S.T., M.T. sebagai pembimbing 1 dan 2 yang telah memberi arahan dan bimbingannya kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

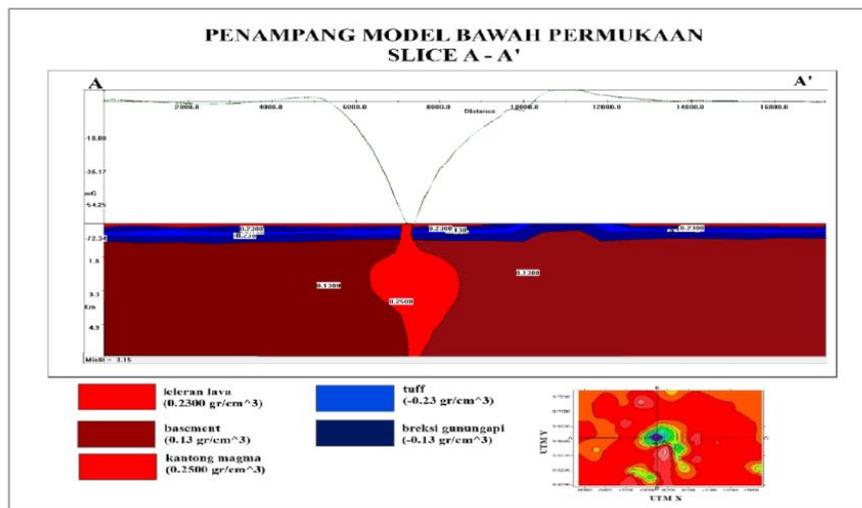
REFERENSI

- Chumairoh, D., Susilo, A., & Wardhana, D. (2014). *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Gayaberat Di Daerah Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat*. 2–6.
- Iif, L. (2010). Penentuan Anomali Bouguer dan Densitas Rata-Rata Batuan Berdasarkan Data Gravitasi di Daerah Semarang. *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- Kearey, P., & Brooks, M. (1991). An Introduction to Geophysical Exploration. 2nd Edition. In *Blackwell Science*.
- Permadi, W. A., Setyawan, A., & Nurdien, I. (2016). Interpretasi Bawah Permukaan Gunung Merapi dengan Analisa Gradient dan Pemodelan 2D Data Gayaberat. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 433–439.
- Suyanto, I. (2011). Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi dan Merbabu Berdasarkan Analisis Data Gravitasi. *Universitas Gajah Mada*.

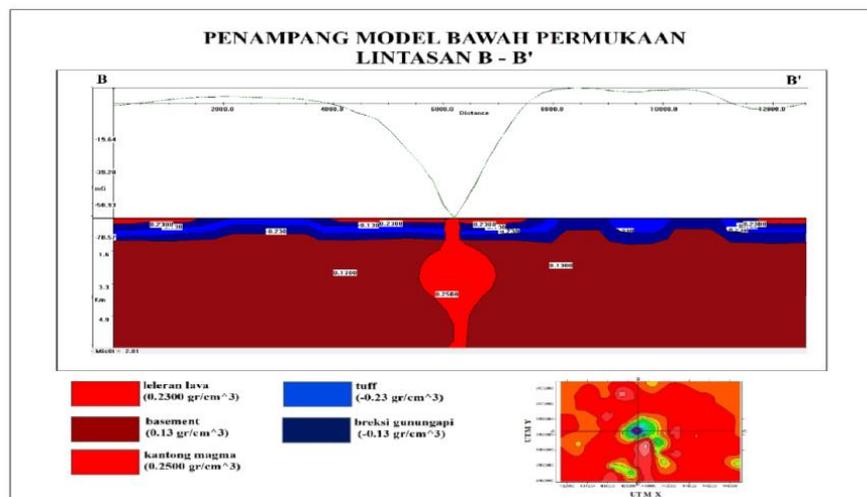
LAMPIRAN



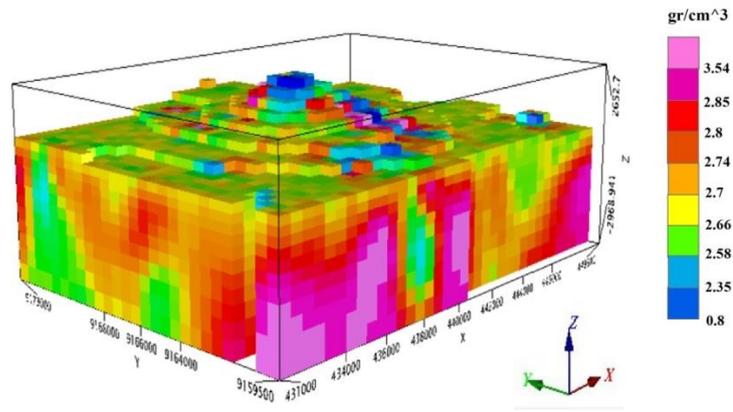
Gambar 3. Peta geologi regional dan *Complete Bouguer Anomaly* (CBA)



Gambar 7. Pemodelan ke depan dengan *slice* horizontal (A-A')



Gambar 8. Pemodelan ke depan dengan *slice* vertikal (B-B')



Gambar 9. Hasil pemodelan inversi anomali bouguer residual daerah penelitian