V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Distribusi Data Gayaberat

Daerah pengukuran gayaberat yang diambil mencakup wilayah Kabupaten Magelang, Semarang, Salatiga, Boyolali, Klaten dan Sleman,Yogyakarta. Dengan batas koordinat UTM X dari 415000 m sampai 455000 m, sedangkan untuk UTM Y dari 9140000 m sampai 9185000 m. Jumlah titik pengukuran sebanyak 366 titik dengan persebaran yang diperlihatkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Peta sebaran titik pengukuran gayaberat daerah penelitian.

5.2 Pengolahan Data Gayaberat

5.2.1 Topografi

Data topografi daerah penelitian didapat dari hasil GPS dengan kondisi topografi yang sangat bervariasi, dimulai dari topografi yang sangat landai yaitu 112.61 m MSL hingga titik tertinggi pada ketinggian 3119.64 m MSL. Kontur daerah penelitian dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 25.



Gambar 25. Kontur topografi daerah penelitian



Gambar 26. Peta 3D ketinggian daerah penelitian

Dari Gambar 26 terlihat bahwa daerah penelitian merupakan daerah pegunungan yang memiliki variasi ketinggian 112.61 m MSL hingga titik tertinggi pada ketinggian 3119.64 m MSL.

5.2.2 Gayaberat Observasi Daerah Penelitian

Gayaberat observasi adalah gayaberat yang terbaca pada suatu titik pengukuran yang telah dikoreksi pasang surut dan drift. Gayaberat observasi berbanding terbalik dengan topografi, yaitu apabila suatu titik pengukuran pada topografi yang tinggi maka nilai gayaberat observasinya akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin tinggi titik pengukuran maka akan semakin jauh jaraknya dengan inti bumi sebagai pusat gayaberat. Sesuai dengan Hukum Gravitasi Newton



yaitu gayaberat berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik dengan pusat inti bumi. Gayaberat observasi dapat dilihat pada Gambar 27.

Gambar 27. Peta gayaberat observasi daerah penelitian

5.2.3 Penentuan Densitas Batuan Permukaan Rata-rata.

Grafik penampang topografi dan anomali Bouguer lengkap dapat dilihat pada Gambar 28 dan Gambar 29, dengan nilai anomali terendah terdapat pada puncak puncak gunung Merbabu dan Merapi yang mengindikasikan adanya kantong magma di bawah puncak gunung tersebut. Sesuai yang kita ketahui bahwa semakin tinggi keadaan topografi daerah penelitian maka gayaberat obeservasi yang menghasilkan anomali Bouguer akan semakin kecil, karena semakin jauh jarak antara titik massa pengukuran dengan titik massa bumi.



Gambar 28. Grafik penampang topografi



Gambar 29. Grafik penampang anomali Bouguer lengkap

Untuk mengetahui nilai densitas batuan permukaan rata-rata dilakukan dengan metode *Nettleton* yang dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Grafik antara korelasi dan densitas

Pada Gambar 30 plot distribusi dengan menggunakan metode Nettleton, untuk mendapatkan nilai densitas yang dicari dengan melihat korelasi terkecil antara penampang topografi dengan penampang anomali Bouguer dengan memasukkan nilai densitas yang bervariasi. Dari Gambar 30 dapat diketahui bahwa korelasi terkecil atau yang mendekati nol terletak pada densitas dengan nilai 2.78 gr/cm³. Metode Nettleton sangat baik digunakan pada daerah dengan topografi yang sangat bervariasi. Harga densitas Nettleton ini digunakan sebagai densitas Bouguer dalam perhitungan koreksi Bouguer. Dalam penelitian ini digunakan 2,78 gr/cm³ sebagai densitas Bouguer. Sebagai faktor pengontrol dalam pembuatan model digunakan tabel densitas rata-rata batuan yang dapat dilihat pada lampiran penelitian, dimana nilai densitas rata-rata yang diketahui pada daerah penelitian merupakan batuan basalt-andesit. Maka, nilai densitas rata-rata yang didapat sesuai dengan keadaan geologi sekitar daerah Merbabu Merapi.

5.3 Interpetasi Data Gayaberat

5.3.1 Interpretasi Kualitatif

5.3.1.1 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan perbedaan harga gayaberat bumi sebenarnya (gayaberat pengamatan di lapangan) dengan harga gayaberat model bumi homogen teoritis di suatu datum referensi tertentu. Untuk menghitung harga anomali Bouguer, diperlukan informasi rapat massa lapisan-lapisan dibawah permukaan di atas datum referensi. Informasi rapat massa dapat dihasilkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan berbagai metode yaitu metode metode Nettleton dengan nilai densitas rata-rata 2,78 gr/cm³.

5.3.1.2 Gayaberat Normal

Nilai gayaberat normal tergantung pada nilai latitude daerah penelitian. Untuk mendapatkan nilai gayaberat normal dilakukan koreksi lintang dengan persamaan sebagai berikut:

 $g(\{) = 9,78031846(1+0,005278895\sin^2\{+0,000023462\sin^4\{)\}$

dengan, { = sudut lintang,

 $g({) = gayaberat normal pada lintang { (mGal)}$

Nilai gayaberat normal pada daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 31 yang menunjukkan bahwa nilai gayaberat normal terendah berada pada bagian Utara, sedangkan nilai gayaberat normal tertinggi pada bagian Selatan.



Gambar 31. Peta gayaberat normal daerah penelitian

5.3.1.3 Koreksi Udara Bebas

Koreksi udara bebas dilakukan untun menghilangkan pengaruh ketinggian terhadap medan gayaberat bumi, dengan menggunakan persamaan :

Free air correction = 0.3086 mgal/m.(h)

atau

Free air correction = 0.09406 mgal/ft.(h)

Nilai koreksi udara bebas pada daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 32 dengan nilai koreksi udara bebas terendah pada bagian



Selatan dan nilai tertinggi pada bagian Utara tepatnya pada Gunung Merapi dan Merbabu.

Gambar 32. Peta koreksi udara bebas daerah penelitian

5.3.1.4 Koreksi Bouguer (Bouguer Correction)

atau

Bouguer Correction adalah harga gaya berat akibat massa di antara referensi antara bidang referensi muka air laut samapi titik pengukuran sehingga nilai gayaberat observasi bertambah. Setelah dilakukan koreksi-koreksi terhadap data percepatan gravitasi hasil pengukuran (koreksi latitude, elevasi, dan topografi) maka diperoleh anomali percepatan gayaberat (anomali *Bouguer* lengkap) yaitu : *Bouguer Correction* = 0.04185 . h (mgal/m)

59

Bouguer Correction = 0.01272 . h (mgal/ft)

Nilai *Bouguer Correction* pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 33 dengan nilai terendah pada 20 mGal hingga 320 mGal. Nilai *Bouguer Correction* tinggi terletak pada Gunung Merbabu dan Merapi.



Gambar 33. Peta Bouguer Correction daerah penelitian

5.3.1.5 Koreksi Medan (Terain Correction)

Koreksi medan dilakukan untuk menghilangkan pengaruh topografi yang relatif kasar dengan perbedaan elevasi yang besar. Yang menyebabkan koreksi medan adalah:

- Bagian lempeg datar dengan ketebalan yang sama dengan ketinggian titik ukur terhadap permukaan speroid. Tarikan massa ini disebut efek Bouguer.
- Bagian yang berada di atas atau bagian yang hilang di bawah permukaan lempeng. Tarikan ini dikatakan sebagai efek topografi (medan).

Nilai koreksi medan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 34, yang menunjukkan nilai koreksi terendah -1 mGal hingga nilai tertinggi pada 19 mGal.



Gambar 34. Peta koreksi medan daerah penelitian

Nilai anomali Bouguer lengkap dapat diperoleh dari nilai anomali Bouguer sederhana yang telah terkoreksi medan, pada penelitian nilai anomali Bouguer lengkap dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Anomali Bouguer Lengkap

Dapat dilihat dari peta anomali Bouguer lengkap memiliki nilai anomali Bouguer lengkap dari -30 mGal sampai 130 mGal. Dari Gambar 35 menunjukkan anomali paling rendah terdapat di wilayah Utara yang memperlihatkan sumber magma pada daerah Gunung Merbabu-Merapi. Sedangkan pada bagian Selatan memiliki nilai anomali Bouguer lengkap yang sangat tinggi, hal ini menujukkan adanya zona subduksi yang menyebabkan terjadinya Gunung Merbabu-Merapi.

5.3.1.7 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Untuk memisahkan anomali Regional dan Residual dari anomali Bouguer lengkap, dalam penelitian ini menggunakan *software Numeri* untuk mengetahui kedalaman *basement* kemudian dilanjutkan proses *filtering* dengan metode *Moving Avarage* dengan lebar jendela atau *window* 3m x 3m.

1. Penentuan Kedalaman Kantong Magma

Untuk menentukan kedalaman kantong magma dalam penelitian ini menggunakan *Numeri* dengan melakukan analisa spekrum. Analisa spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela dan mengestimasi kedalaman dari anomali gayaberat. Selain itu analisa spektrum juga dapat digunakan untuk membandingkan respon spektrum dari berbagai metode *filtering*. Analisa spektrum dilakukan dengan men-transformasi *Fourier* lintasan-lintasan yang telah ditentukan. Spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horisontal (Blakely, 1996).

Estimasi lebar jendela dilakukan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan untuk memisahkan data regional dan residual. Untuk mendapatkan estimasi lebar jendela yang optimal didapatkan dengan melogaritmakan spektrum amplitudo yang dihasilkan dari transformasi *Fourier* sehingga memberikan hasil persamaan garis lurus. Komponen k menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo. Setelah itu, melalui regresi linier diperoleh batas antara

orde satu (regional) dengan orde dua (residual), sehingga nilai *k* pada batas tersebut diambil sebagai penentu lebar jendela. Hubungan panjang gelombang () dengan *k* diperoleh dari persamaan (Blakely 1996).

Dari hasil penelitian didapatkan hasil grafik estimasi lebar jendela seperti pada Gambar 36.



Gambar 36. Grafik estimasi lebar jendela

Grafik estimasi lebar jendela didapatkan harga k dengan persamaan, $k = \frac{2f}{k}$ menunjukkan nilai k = 0.00015. Kemudian dicari harga dengan persamaan = n. x, dimana n adalah lebar jendela dan didapat nilai = 4188,8. *Windows* yang didapat pada grafik estimasi adalah 5, dengan nilai dibagi dengan spasi yang digunakan saat membuat *grid* data, spasi yang digunakan adalah 750. Pada grafik estimasi lebar jendela terdapat nilai gradien hasil regresi linier zona regional y = -6102, x + 7,937 yang menunjukkan kedalaman regional sekitar 6000 m di bawah MSL. Dan nilai hasil regresi linier zona residual y = -2164, x + 7,144 yang menunjukkan kedalaman residual sekitar 2000 m di bawah MSL.

2. Filtering

Pada penelitian ini untuk *filtering* menggunakan metode *Moving average*. Metode *Moving Average* dilakukan dengan cara merataratakan nilai anomalinya. Hasil dari metode *moving average* adalah anomali regional. Anomali residual diperoleh dari selisih anomali Bouguer dengan anomali regional.

3. Anomali Regional

Secara umum anomali regionala hampir serupa dengan anomali Bouguer dan terlihat lebih *smooth*. Anomali regional memiliki nilai -15 mGal sampai dengan 115 mGal. Dapat dilihat daerah yang memiliki anomali rendah (*low*) terdapat pada bagian Utara daerah penelitian yang menunjukkan adanya densitas rendah dengan kontras warna biru. Sedangkan daerah anomali tinggi (*high*) berada pada bagian Selatan yang memiliki densitas tinggi dengan kontras warna merah. Anomali regional dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 37. Anomali Bouguer Regional

4. Anomali Residual

Anomali residual didapatkan dengan melakukan pengurangan antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Dapat dilihat pada Gambar 38 anomali residual memiliki anomali yang rendah dengan nilai -35 mGal. Sedangkan anomali tertinggi memiliki anomali antara 5 mGal sampai 30 mGal.



Gambar 38. Anomali Residual

5.3.2 Interpretasi Kuantitatif

Anomali Bouguer lengkap merupakan superposisi dari anomali bouguer dan regional yang secara umum menggambarkan permukaan daerah penelitian. Pada penelitian ini, interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan 3D menggunakan *software* GRAV3D *version* 2.0. Data kontrol yang digunakan adalah data geologi daerah penelitian dan tabel kontras densitas sehingga dalam penelitian tidak menghabiskan biaya dan waktu yang lama. Pemodelan 3D pada topografi merupakan proses pembuatan model distribusi densitas bawah permukaan dengan menampilkan *surface* topografinya, sehingga tampilan model lebih mendekati keadaan yang sebenarnya. Data input *file mesh* (*.txt) dengan ukuran 100 x 100 dan kedalaman mencapai 20.000 m dibawah MSL. Hasil inversi 3D berupa model distribusi densitas bawah permukaan. Harga distribusi densitas bawah permukaan ditunjukkan dengan kontras warna. Harga densitas rendah sampai densitas tinggi ditunjukkan dengan kontras warna ungu sampai merah. Sehinggaa kontras densitas pada model 3D berdasarkan Anomali Bouguer Lengkap dengan rentang nilai yang berbeda-beda. Harga densitas sebenarnya dapat diketahui dengan melakukan penjumlahan antara angka pada kontras densitas densitas densitas rata-rata Netletton (2,78 gr/cm³).

5.3.2.1 Model 3D distribusi densitas hasil inversi 3D anomali Bouguer Lengkap pada Topografi



Gambar 39. Model 3D distribusi densitas hasil inversi 3D anomali Bouguer Lengkap pada topografi tampak Timur

Pada Gambar 39, dapat dilihat model distribusi densitas hasil inversi 3D anomali Bouguer lengkap memiliki nilai densitas tertinggi lebih dari 2,95 gr/cc pada daerah Selatan dengan kontras warna merah yang mengindikasikan adanya zona subduksi yang menunjam Pulau Jawa. Sedangkan untuk anomali rendah terdapat pada bagian Utara dengan densitas sekitar 2,6 gr/cc yang memiliki kontras warna biru, hal ini menunjukkan adanya sumber aliran magma dari Gunung Merbabu dan Gunung Merapi.

Untuk melihat bentuk dan keberadaan kantong magma pada Gunung Merbabu dan Merapi lebih jelas maka model distribusi densitas hasil inversi 3D dipotong dari tengah pada X 439805, dapat dilihat pada Gambar 40.



Gambar 40. Model 3D distribusi densitas hasil inversi 3D anomali Bouguer dipotong dari tengah

Pada Gambar 40 memperlihatkan model 3D distribusi densitas yang dipotong dari arah Timur sampai tengah terlihat adanya anomali berbentuk seperti kendi ditafsirkan merupakan kantong magma pada gunung Merapi lebih besar dibandingkan kantong magma pada gunung Merbabu.

Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh sifat magma yang berupa cair dan mengisi rongga-rongga pada kantong magma gunung Merapi. Sedangkan pada gunung Merbabu kemungkinan kantong magma dan rongga-rongganya terisi oleh magma yang telah membeku (Sarkowi, 2010).

Magma gunung Merbabu dan Merapi merupakan jenis magma oceanic (Budiyatna, 1997) dan pada bagian Gunung Merbabu dan Merapi memiliki densitas rendah dengan nilai sekitar 2,6 gr/cm³. Jenis batuan yang tersebar pada daerah Merbabu Merapi memiliki densitas antara 2,7 gr/cm³ sampai 2,8 gr/cm³ yang merupakan batuan basalt,andesit dapat dilihat pada halaman lampiran tabel densitas rata-rata. Magma basalt memiliki kandungan silika yang sama banyaknya dengan batuan basalt, yaitu kurang dari 50%. Magma basalt berasal dari lelehan batuan yang berada pada mantel bumi bagian luar. Lelehan batuan tersebut bergerak ke permukaan bumi dan sedikit bereaksi dengan lempeng benua atau sedimen. Kandungan silika yang rendah menyebabkan viskositas magma menjadi rendah. Gas terlarut yang berada di dalam magma basalt dapat keluar dengan mudah.Sedangkan Magma andesit memiliki kandungan silika yang sama banyaknya dengan batuan andesit, yaitu antara 50-60%.

Setelah membuat model 3D distribusi densitas hasil inversi 3D berdasarkan luas wilayah pengukuran, lalu dilakukan pencuplikan pada bagian Gunung Merbabu dan Gunung Merapi saja. Hal ini dilakukan untuk lebih jelas mengetahui pola aliran magma dari kedua gunung tersebut dapat dilihat pada Gambar 41.



Gambar 41. Model 3D distribusi densitas hasil inversi 3D anomali Bouguer fokus pada gunung Merbabu dan Merapi di potong dari tengah

Gambar 41 memperlihatkan bentuk kantong magma Gunung Merbabu dan Merapi lebih jelas beserta pola aliran magmanya. Aliran magma Gunung Merbabu dan Merapi berasal dari arah Timurlaut daerah penelitian, magma naik kepermukaan menerobos celah-celah. Namun pada bagian tengah antara Gunung Merbabu dan Merapi menunjukkan densitas tinggi dengan kontras warna merah, hal ini kemungkinan disebabkan oleh magma yang naik ke atas melalui celah-celah membeku didalam dan juga diakibatkan dari hasil erupsi Gunung Merbabu terdahulu yang menghasilkan lava kemudian membeku. Kantong magma Gunung Merbabu dan Merapi terlihat menyatu pada kedalaman sekitar 7.600 m di bawah MSL.

Kantong magma gunung Merapi diperkirakan terletak pada kedalaman 1.900 m di bawah MSL . Sedangkan kantong magma pada gunung Merbabu diperkirakan terletak pada kedalaman 1.800 m di bawah MSL (Gambar 42). Dan pada kedalaman 6.100 m di bawah MSL letak kantong magma Gunung Merbabu dan Merapi terlihat semaki menipis (Gambar 43).



Gambar 42. Letak kantong magma Gunung Merbabu dan Merapi pada kedalaman 1.900 m di bawah MSL.



Gambar 43. Letak kantong magma Gunung Merbabu dan Merapi pada kedalaman 6.100 m di bawah MSL

Dari gambar pemodelan diatas, terlihat dengan jelas bahwa letak kantong magma Gunung Merapi lebih dekat dengan permukaan dibandingkan dengan letak kantong magma Gunung Merbabu yang relatif lebih dalam. Secara teori keberadaan kantong magma pada suatu gunungapi akan mempengaruhi jenis letusan dari gunungpi tersebut. Pada penelitian ini, karena letak kantong magma Gunung Merbabu dan Gunung Merapi berada dekat dengan permukaan maka jenis letusannya bersifat meleleh.

Untuk melihat lebih jelas keberadaan kantong magma pada gunung Merbabu dan Merapi maka dilakukan *sortir* data pada koordinat X 439805.9 dan melakukan *grid* data Y,Z dan yang didapat dari hasil



distribusi *inversi 3D* pada *Surfer 9.0* yang dapat dilihat pada Gambar 44.

Gambar 44. Distribusi densitas rata-rata pada koordinat X 439805.9 dengan kedalaman 3.000 di atas MSL sampai 20.000 di bawah MSL

Gambar 44 memperlihatkan distribusi densitas rata-rata pada penampang axis sumbu X 439805.9 dimana terdapat pola yang unik pada daerah Gunung Merbabu dan Merapi. Tepat dibawah Gunung Merbabu terdapat densitas rendah kemudian di sebelah Selatan terdapat densitas tinggi, namun pada bagian Gunung Merapi densitas kembali rendah bahkan densitas rata-rata lebih rendah dari Gunung Merbabu. Hal ini dikarenakan kantong magma Gunung Merapi masih terisi magma yang cair sedangkan kantong magma Gunung Merbabu telah membeku. Maka densitas kantong magma Gunung Merbabu lebih tinggi dari kantong magma Gunung Merapi. Di sebelah Selatan Merapi terdapat densitas yang tinggi, bila dilihat polanya hampir sama dengan sebelah Selatan Merbabu. Dari hasil distribusi densitas penampang axis ini kita dapat mewaspadai adanya kemunggkinan timbul gunungapi baru setelah merapi di bagian Selatan Pulau Jawa, karena adanya indikasi densitas rendah pada wilayah tersebut.

5.4 Sejarah Gunung Merbabu dan Merapi

5.4.1 Tektonik Pulau Jawa

Pulau Jawa merupakan pulau yang terbentuk diatas zona subduksi dengan sejarah geodinamika yang aktif. Apabila kita urutkan dari perkembangannya dapat dikelompokkan menjadi beberapa fase tektonik dimulai dari fase Kapur Akhir hingga sekarang.

Fase tektonik pulau Jawa pada awalnya terjadi pada Mesoizoikum, ketika pergerakan Lempeng Indo-Australia ke arah Timut Laut menghasilkan subduksi di bawah Sunda *Micropalte* sepanjang Karangsambung-Meratus, dan diikuti oleh fase regangan selama Paleogen dengan membentuk serangkaian *horst* (tinggian) dan *graben* (rendahan)(Anonymous, 2012).



Gambar 45. Struktur tektonik pulau Jawa (Anonymous, 2012)



Gambar 46. Struktur bawah permukaan gunung Merbabu dan Merapi

Gambar 46 merupakan hasil invesi 3D distribusi densitas anomali Bouguer dapat memperlihatkan struktur bawah permukaan gunung Merbabu dan Merapi yang menyerupai ilustrasi tektonik pulau Jawa.

Bila dirunut keberadaan gunungapi dari Ungaran, Telomoyo, Merbabu hingga Merapi merupakan satu kesatuan hasil dari pergerakan subduksi antara kerak samudra dan kerak benua dari arah Selatan ke Utara. Sehingga kantong-kantong magma yang terbentuk merupakan hasil dari *partial melting*, dimana ketika zona subduksi bergerak secara aktif maka material- material yang masuk ke dalam bumi makin lama semakin maju menuju kerak benua. Dan karena adanya konduksi termal dari dalam bumi maka terjadi *partial melting* yang menghasilkan magma dan magma tersebut naik ke atas permukaan melalui celah-celah sehingga terjadilah gunung api.

5.4.2 Gunung Api

Pada daerah penelitian Gunung Merbabu termasuk gunungapi yang sudah tidak aktif lagi, karena pada sebuah fase gunungapi tidak selamanya hidup atau aktif. Ketika zona subduksi itu sangat aktif maka material-material yang masuk kedalam bumi makin lama semakin maju menuju kerak benua. Bisa saja sudut penunjamannya semakin melandai dan akhirnya lokasi jalur penunjaman berubah seolah bergerak kearah kanan (www.dongenggeologi.com). Maka akibat proses tersebut timbul gunungapi muda yaitu Gunung Merapi di sebelah Selatan Gunung Merbabu.

Gunung Merbabu sudah tidak aktif kemungkinan kemungkinan kantong magma dan rongga-rongganya terisi oleh magma yang telah membeku sehingga magma cair yang berasal dari *partial melting* tidak dapat naik ke permukaan. Namun perlu diwaspadai oleh kita, apabila terjadi banyak getaran atau gempa di sekitar wilayah Merbabu maka tidak menutup kemungkinan rongga-rongga yang telah membeku tersebut akan retak dan kembali menghasilkan celahcelah baru dimana tempat keluarnya magma ke permukaan, hal tersebutlah yang menyebabkan beberapa gunungapi mati di Indonesia kembali aktif seperti Gunung Gamalama, Gunung Bromo dan lain-lain.

Secara mudah penjelasan diatas dapat digambarkan seperti ilustrasi di bawah ini.



Gambar 47. Ilustrasi Mekanisme gunungapi mati (www.dongenggeologi.com)