Pemodelan dapur magma gunungapi Ciremai berdasarkan data anomali gravitasi satelit

Esa Pallewi Hasby, Sehah*, Sugito
Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
**Email: sehah@unsoed.ac.id*

Abstrak – Pemodelan fisis bawah permukaan Gunungapi Ciremai telah dilakukan untuk mengetahui bentuk dan struktur dapur magma gunungapi sebagai bagian dari mitigasi awal. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data anomali medan gravitasi satelit yang didapatkan dari website http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get.cgi dengan posisi -6,6949° –7,0949° LS dan 108,2083°–108,6083° BT yang telah terkoreksi hingga koreksi udara bebas. Pengolahan data yang dilakukan meliputi koreksi bouguer dan koreksi terrain sehingga diperoleh nilai Anomali Bouguer Lengkap yang berkisar –117,7–67,5 mGal. Selanjutnya reduksi ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor dan pemisahan anomali regional – residual menggunakan metode polinomial dilakukan sehingga diperoleh nilai anomali residual dengan rentang –116,2–27,93 mGal. Peta kontur anomali residual menunjukkan nilai anomali rendah pada posisi 108.4017° LS dan –6.898° BT yang diperkirakan merupakan lokasi dapur magma Gunungapi Ciremai yang masih aktif. Sedangkan hasil pemodelan menunjukkan bahwa letak dapur magma Gunungapi Ciremai terletak pada posisi 108.3965° LS dan –6.8962° BT. Posisi tersebut tidak berada tepat di bawah kawah vulkanik, melainkan 511,37 m ke arah timur dari kawah vulkanik dengan volume relatif besar dengan kedalaman berkisar 2–8 km. Hasil pemodelan menunjukkan struktur bawah permukaan Gunungapi Ciremai tersusun atas batuan pada fase cair (1,50–1,88 g/cm3) yang diperkirakan merupakan dapur magma, batuan sedimen yang terdiri atas batupasir gampingan, batupasir tufan, konglomerat, dan breksi (1,91 – 2,65 g/cm^3), serta batuan lava andesit basalan (2,7–3,0 g/cm^3).

Kata Kunci: Metode Gravitasi, Gunungapi Ciremai, Struktur Geologi, Dapur Magma

Abstract – *Physical modeling of the subsurface of Ciremai Volcano has been carried out to determine the shape and structure of the volcano's magma chamber as part of pre-mitigation efforts. The data used in this research is satellite gravity field anomalies data obtained from the website http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get.cgi with positions of –6.6949°–7.0949° S and 108.2083 °–108.6083° E which have been corrected to free air correction. The data processing carried out includes Bouguer and terrain corrections to obtain a Complete Bouguer Anomaly value, ranging from –117.7–67.5 mGal. Next, reduction to a horizontal surface using the Taylor Series Approximation and separation of regional – residual anomalies using the Polynomial method are carried out to obtain residual anomalies data with a range of –116.2–27.93 mGal. The residual anomaly contour map shows low anomalous values at the position of 108.4017° S and –6.898° E which is estimated to be the location of the Ciremai Volcano magma chamber which is still active. While, the modeling results show that the position of the Ciremai Volcano magma chamber is located at 108.3965° S and –6.8962° E. This position is not directly below the volcanic crater, but 511.37 m to the east of the volcanic crater with a relatively large volume with a depth of around 2–8 km. The modeling results show that the subsurface structure of Ciremai Volcano is composed of rocks in the liquid phase (1.50-1.88 g/cm3) which are estimated to be magma chambers, sedimentary rocks including calcareous sandstone, tuffaceous sandstone, conglomerate and breccia (1.91–2.65 g/cm^3), as well as basalt andesite lava rock (2.7–3.0 g/cm^3).*

Key words: *Gravity Method, Ciremai Volcano, Geological Structure, Magma Chamber*

PENDAHULUAN

Aktifitas tektonik di Kepulauan Indonesia semakin tinggi dengan faktor pendukung berupa posisi negara kepulauan ini yang terletak di kawasan pertemuan antar lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Samudera Pasifik. Pertemuan antar lempeng besar tersebut ditandai dengan gerakan horizontal, vertikal ataupun keduanya. Hal tersebut mengakibatkan kondisi geografis di Indonesia membentuk zona pegunungan yang berlipat, jalur gunungapi dan sesar [1]. Kondisi demikian mengakibatkan Indonesia memiliki potensi besar terhadap bencana geologi seperti letusan gunungapi, gerakan tanah, gempa bumi dan tsunami [2].

Berdasarkan informasi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Indonesia memiliki 127 gunungapi aktif atau setara dengan 14% dari seluruh gunungapi di dunia [3]. Salah satu gunungapi aktif tersebut adalah Gunungapi Ciremai [4].

Gunungapi Ciremai (3078 mdpl) merupakan gunungapi tertinggi di Jawa Barat yang terletak pada koordinat 6° 53′ 30″ LS–108° 24′ 00″ BT dengan batas administratif di tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Cirebon, Kabupaten Majalengka dan Kabupaten Kuningan [4]. Gunungapi Ciremai berbentuk simetris-stratovolcano tipe A dengan kawah ganda dan sisi curam ke arah puncak yang terbentuk di tepi utara Kaldera Gegerhalang seluas 4,5 × 5 km^2 dan posisi kawah terbelah di bagian barat dengan radius 400 m dan timur dengan radius 600 m. Saat ini kondisi Gunungapi Ciremai sedang dalam masa tidur panjang setelah mengalami letusan freatik pada tahun 1938. Namun, hal tersebut tidak menutup kemungkinan Gunungapi Ciremai dapat meletus sewaktu-waktu [4].

Sebagai langkah awal mitigasi (*pre-mitigation*) terhadap letusan Gunungapi Ciremai, penelitian Geofisika diperlukan untuk mengungkap struktur bawah permukaan gunungapi tersebut. Hal tersebut didukung dengan padatnya penduduk di sekitar kaki Gunungapi Ciremai serta aset-aset nasional berupa cagar budaya, lahan pertanian, perternakan dan sarana pendidikan. Struktur geologi bawah permukaan memegang peranan penting terhadap proses-proses yang terjadi terutama proses vulkanik Gunungapi Ciremai, sehingga penelitian ini sangat diperlukan. Penelitian dengan metode gravitasi citra satelit ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana bentuk struktur dapur magma Gunungapi Ciremai. Hasil-hasil yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai dasar instansi terkait seperti Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) untuk memetakan zona bahaya erupsi Gunungapi Ciremai di daerah sekitar. **Gambar 1** menunjukkan Gunungapi Ciremai dari wilayah Kecamatan Linggarjati, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat.



Gambar 1. Gunungapi Ciremai Kecamatan Linggarjati, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat.

Metode gravitasi citra satelit telah banyak diterapkan untuk eksplorasi berbagai sumberdaya alam seperti bauksit, zinc, batubara, dan bijih logam yang sulit dideteksi menggunakan metode geofisika lainnya akibat kendala alam yang luar biasa atau kondisi yang tidak memungkinan. Dengan menggunakan data gravitasi citra satelit, survei dapat menjangkau wilayah yang sangat luas dalam durasi waktu yang sangat singkat [5]. Pertimbangan lain pemanfaatan data anomali gravitasi citra satelit adalah biaya yang relatif murah daripada akuisisi data secara langsung, yang dapat menelan biaya puluhan hingga ratusan juta rupiah. Data anomali gravitasi citra satelit juga relatif baik digunakan untuk memodelkan struktur geologi gunungapi, reservoir panasbumi, dan berbagai sumberdaya alam lain [6]. Oleh sebab itu metode gravitasi citra satelit cocok diterapkan untuk tujuan penelitian ini, karena kondisi topografi Gunungapi Ciremai cukup ekstrim dan tidak semua bagian bisa dilalui oleh manusia.

LANDASAN TEORI

A. Metode Gravitasi

Konsep dasar metode gravitasi yang mendasari eksplorasi geofisika adalah hukum Newton tentang gaya tarik-menarik antara dua massa, dimana besar gaya antara dua buah massa m_1 dan m_2 yang terpisah dengan jarak r dan dapat dinyatakan sebagai [7]:

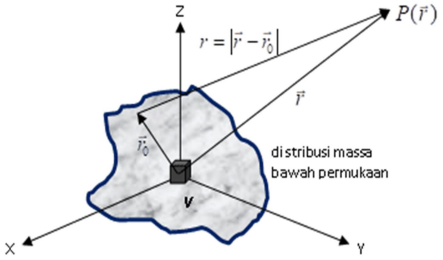
$$\vec{F}(\vec{r}) = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\hat{r} \qquad (1)$$

Di mana G adalah konstanta gravitasi universal ($6{,}67 \times 10^{-11}$ Nm^2/kg^2). Telford et.al. [7] telah menjabarkan Persamaan (1) untuk mendapatkan nilai potensial gravitasi pada suatu titik P di luar volume V seperti ditunjukkan pada **Gambar 2** yang dapat dinyatakan sebagai [7]:

$$U_P(\vec{r}) = -\int_V \frac{G}{\left|\vec{r}^{\,2} - \vec{r}_0^{\,2}\right|} dm = -G\int_V \frac{\rho(\vec{r}_0)}{\left|\vec{r}^{\,2} - \vec{r}_0^{\,2}\right|} d^3\vec{r}_0 \quad (2)$$

dengan

$$\left|\vec{r}^{\,2} - \vec{r}_0^{\,2}\right| = \sqrt{r^2 + r_0^{\,2} - 2r\,r_0\cos\gamma}$$



Gambar 2. Potensial gravitasi pada titik P di permukaan bumi akibat distribusi massa yang kontinu di bawah permukaan [7].

Jika integral volume Persamaan (2) diterapkan untuk seluruh volume bumi, maka dapat diperoleh potensial gravitasi pada permukaan bumi. Sedangkan kuat medan gravitasi diperoleh dengan cara mendeferensialkan potensial gravitasi tersebut hingga menjadi [7]:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \left|-\nabla U_P(\vec{r})\right| \quad (3)$$

Nilai medan gravitasi bumi sering disebut sebagai percepatan gravitasi bumi (g). Berdasarkan Persamaan (2) dan (3), nilai percepatan gravitasi bumi dinyatakan dengan persamaan [7]:

$$g(\vec{r}) = \left|-\vec{E}(\vec{r})\right| = \left|\nabla U_P(\vec{r})\right| \quad (4)$$

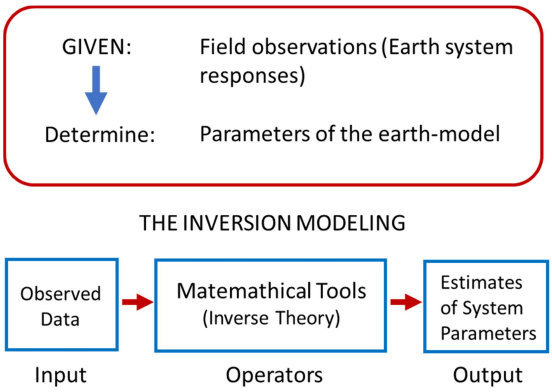
$$g(\vec{r}) = -G\int_V \frac{\rho(\vec{r}_0)(z_0 - z)\,d^3\vec{r}_0}{\left[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

Persamaan (4) ini menunjukkan bahwa nilai medan gravitasi pada permukaan bumi bervariasi. Variasi medan gravitasi bumi dipengaruhi oleh bujur, lintang, elevasi, dan distribusi massa bawah permukaan bumi yang dinyatakan sebagai fungsi rapat massa batuan bawah permukaan [7].

B. Pemodelan Inversi-3D

Secara umum, data geofisika hasil observasi di lapangan diharapkan memberikan informasi sebanyak mungkin, tidak hanya terkait sifat-sifat fisis batuan saja, tetapi juga kondisi geometri batuan bawah permukaan, posisi, dan kedalaman batuan itu. Informasi itu dapat diperoleh apabila relasi antara sifat-sifat fisis batuan dan data observasinya dapat diketahui. Relasi antara keduanya hampir selalu berbentuk persamaan matematika yang biasanya disebut sebagai model matematis. Berdasarkan model matematis tersebut, parameter-parameter fisis batuan dapat diekstrak dari data observasi [8]. Proses ini disebut pemodelan inversi (*inverse modelling*), seperti dapat dilihat pada **Gambar 3**. Oleh sebab itu permodelan inversi bisa digunakan untuk membuat model geologi dari pengaruh medan gravitasi daerah penelitian.

Adapun proses kebalikannya, dimana kita ingin mendapat data prediksi hasil observasi berdasarkan parameter fisis yang sudah diketahui disebut sebagai pemodelan maju (*forward modelling*) [8]. Permodelan maju digunakan untuk melihat respon gravitasi yang ditimbulkan dari model geologi yang dibuat. Dengan demikian pemodelan maju merupakan suatu pemodelan untuk menjabarkan data dari suatu permodelan dengan menghitung respon teoritis dan distribusi sifat dari sumber anomali. Kedua jenis pemodelan ini memiliki tujuan untuk memperkirakan model bawah permukaan berdasarkan data hasil observasi. Dalam penelitian ini pemodelan sumber anomali yang dilakukan adalah pemodelan inversi.



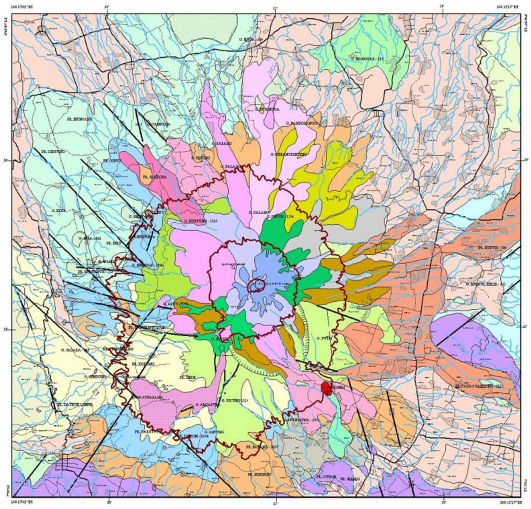
Gambar 3. Alur pemodelan data anomali gravitasi secara inversi (*inverse modeling*) [8].

C. Geologi Daerah Penelitian

Geologi Gunungapi Ciremai ditandai dengan lipatan dan sesar. Struktur lipatan ini berasal dari pola deformasi batuan Neogen (Miosen Tengah hingga Pliosen) yang membentuk himpunan antiklin dan sinklin dengan tren hampir mengarah barat–timur. Adapun struktur sesar berarah utara–selatan mengalihkan kedudukan lipatan kearah timur (sinistral) dan kanan (dekstral). Selain gerakan arah mendatar,

sesar-sesar tersebut bergerak dalam arah tegak yang dicirikan sebagai *Oblique Faults* [9]. Startigrafi batuan Gunungapi Ciremai termasuk dalam Zona Bogor. Zona Bogor merupakan zona cekungan laut dalam yang tersusun atas endapan batuan sedimen turbidit [10]. Menurut Djuri dkk. [11], stratigrafi Gunungapi Ciremai dapat diurutkan dari bawah ke atas:

1. Formasi Citalang (Pct) berupa endapan sungai teranyam (*braided stream deposits*) di lingkungan barat. Formasi ini tersusun atas batupasir tufan berwarna coklat muda, lempung tufan, konglomerat dan beberapa lensa batupasir gampingan yang keras. Formasi ini diperkirakan berumur Pliosen Atas [11].
2. Formasi Kalibiuk (Pka) tersusun atas batupasir tufan, konglomerat, batupasir gampingan, dan batulempung. Formasi batuan ini diestimasi berumur Pliosen. Formasi ini ditutupi secara tidak selaras oleh Formasi Gintung yang diestimsi berumur Pliosen Tengah dan menghasilkan Gunungapi Ciremai Muda yang berumur Holosen] [12].
3. Formasi Ciherang (Pch) berupa formasi yang berumur Pliosen dengan susunan batuan konglomerat. Fomrasi ini terbentuk akibat pengendapan yang terjadi di atas Formasi Kaliwangu ketika aktifitas Gunungapi Ciremai kembali aktif [13].
4. Formasi Kaliwangu (Pku) tersusun atas batulempung dengan sisipan batupasir tufan, konglomerat dan beberapa laipisan-lapisan batupasir gampingan dan batugamping [14]. Formasi Kaliwangu diperkirakan berumur Pliosen Akhir dan memiliki kaitan dengan Formasi Subang yaitu mengalami perubahan secara selaras serta terjadi secara perlahan [9].
5. Formasi Halang (Mha) tersusun atas batupasir andesit, konglomerat tufan dan napal yang bersisipan batupasir. Formasi ini diperkirakan berumur Miosen Akhir yang terdiri atas dua bagian, yaitu Anggota Atas dan Anggota Bawah dari Formasi Halang. Anggota Atas terdiri atas batupasir tufan, lempung, dan konglomerat dengan tebal hingga 800 meter [12]. Adapun Anggota Bawah tersusun atas Breksi vulkanik yang bersifat andesit basalan, tufan, lempung dan konglomerat [14].
6. Formasi Cinambo (Omci) tersusun atas perselingan antara batulempung dan batupasir. Formasi ini diduga berumur Miosen Tengah hingga Akhir. Berdasarkan ketebalannya, formasi ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu Bagian Atas, Bagian Tengah, dan Bagian Bawah dengan keseluruhan formasi memiliki ketebalan 1.500 – 1.800 m. Bagian Atas Formasi Cinambo didominasi batulempung gampingan dan batupasir tufan dengan butir berukuran sedang hingga kasar. Bagian Tengah formasi didominasi batupasir tufan tebal, sedangkan Bagian Bawah formasi didominasi oleh batulempung gampingan dan batupasir berukuran halus hingga sedang [9].
7. Instrusi Andesit (A) terdiri atas andesit augit-hipersten dan horenblenda dengan kaca sebagai massa dasar yang berbentuk keras dan retas. Andesit Horenblenda memiliki bentuk retas lempeng dengan ketebalan 20-30 m. Andesit Hipersten tersusun atas Hipersten dan Plagioklas yang berbentuk retas [14].



Gambar 4. Peta geologi daerah Gunungapi Ciremai [12].

METODE PENELITIAN

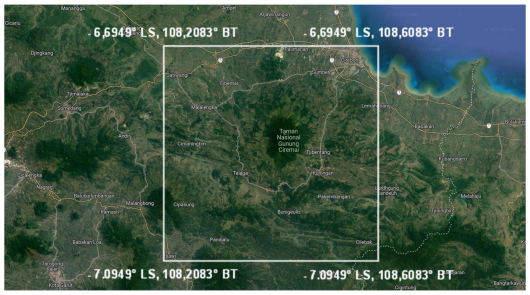
A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Elektronika, Instrumentasi dan Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data anomali gravitasi citra satelit dari TOPEX [15] untuk kawasan Gunungapi Ciremai dengan luas wilayah sekitar 5.186 km^2 dengan posisi -6,6949° - 7,0949° LS dan 108,2083° - 108,6083° BT seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**. Secara

administrasi, daerah penelitian meliputi Kabupaten Cirebon, Kabupaten Majalengka, dan Kabupaten Kuningan.

B. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian meliputi laptop dengan aplikasi Microsoft Excel 2019, Fortran 77, MatLab 6.1 untuk pengolahan data, Surfer 11 untuk pembuatan peta kontur serta Grablox 1.7 dan Bloxer 1.6e untuk pemodelan data anomali gravitasi secara inversi. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data anomali gravitasi citra satelit dari TOPEX yang telah diakses secara gratis melalui website http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get.cgi. Hasil akses data yang diperoleh berupa data posisi bujur, lintang, evelasi dan nilai anomali gravitasi yang telah terkoreksi hingga koreksi udara bebas (*free air anomaly*, FAA) [16].



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian

C. Pelaksaaan Penelitian

Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) diperoleh setelah koreksi bougeur dan koreksi terrain diterapkan terhadap data anomali gravitasi terkoreksi udara bebas (FAA). Data FAA yang diperoleh masih terdistribusi pada permukaan topografi atau dituliskan $\Delta g(\lambda,\vartheta,h)$. Untuk pengolahan menuju tahap berikutnya, data ini harus direduksi ke bidang datar. Metode yang digunakan untuk mereduksi data FAA dari topografi ke bidang datar adalah melalui pendekatan deret Taylor dengan persamaan [17]:

$$\Delta g(\lambda,\vartheta,h_0)^{[i+1]} = \Delta g(\lambda,\vartheta,h) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(h-h_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial h^n} \Delta g(\lambda,\vartheta,h_0)^{[i]} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (5), nilai $\Delta g(\lambda,\vartheta,h_0)$ yang tersebar pada bidang datar dapat diestimasi melalui pendekatan, yaitu nilai $\Delta g(\lambda,\vartheta,h_0)$ yang diperoleh dari proses iterasi ke-*i* dapat digunakan untuk mendapatkan nilai $\Delta g(\lambda,\vartheta,h_0)$ pada iterasi ke (i+1). Proses iterasi ini dilakukan secukupnya, sedemikian hingga nilai yang diperoleh menunjukkan konvergen [17].

Data ABL yang diperoleh dari persamaan (5) belum bersih dari efek anomali regional. Oleh karena itu data ABL tersebut harus dibersihkan dari efek regional. Data anomali regional dapat diperoleh melalui proses pengangkatan data (*upward continuation*) hingga ketinggian tertentu, sehingga perubahan data menunjukkan pola *closure* yang sangat halus. Persamaan *upward continuation* dapat dituliskan [17]:

$$\Delta g(\lambda,\vartheta,h_0-\Delta h) = \frac{\Delta h}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta g(\lambda',\vartheta',h_0)}{\sqrt{[(\lambda-\lambda')^2+(\vartheta-\vartheta')^2+\Delta h^2]^3}} d\lambda' d\vartheta' \quad (8)$$

Data yang diperoleh, selanjutnya dikoreksikan terhadap data ABLyang dihasilkan persamaan (5), sehingga diperoleh data anomali magnetik lokal dengan persamaan [18]:

$$\Delta g_{res}(\lambda,\vartheta,h_0) = \Delta g(\lambda,\vartheta,h_0) - \Delta g(\lambda,\vartheta,h_0-\Delta h) \quad (9)$$

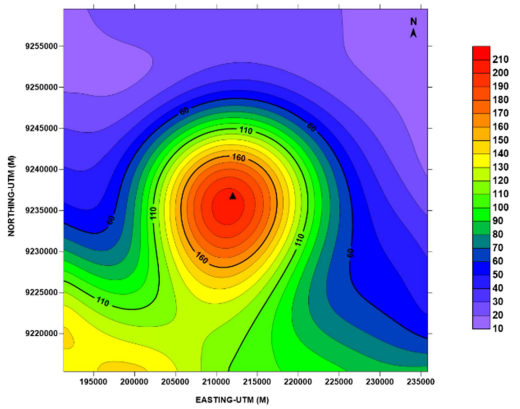
Data anomali gravitasi residual merupakan data anomali medan gravitasi lokal yang telah bersih dari berbagai efek sumber anomali lain yang tidak menjadi target penelitian dan diasumsikan hanya berasosiasi dengan sumber anomali lokal yang menjadi target pada penelitian. Data anomali gravitasi residual yang diperoleh dapat langsung dimodelkan. Namun apabila masih terdapat pengaruh dari sumber-sumber densitas lokal yang kuat yang bersumber dari permukaan topografi, maka dilakukan proses pemfilteran lagi untuk menghilangkan noise-noise tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

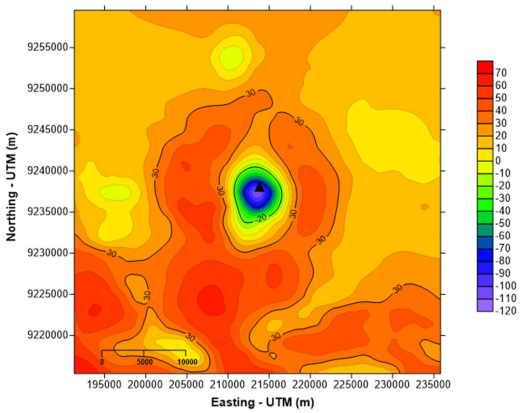
A. Hasil Pengolahan Data

Data anomali gravitasi satelit yang diakses melalui website topex terdiri dari 625 titik berupa data posisi bujur, lintang, evelasi dan nilai anomali gravitasi yang telah terkoreksi udara bebas (FAA). Nilai anomali gravitasi terkoreksi udara bebas berkisar antara 10,4 – 206,1 mGal dan nilai topografi berkisar antara -9 – 2801 m. **Gambar 6** menunjukkan peta kontur data anomali gravitasi terkoreksi udara bebas kawasan Gunungapi Ciremai. Selanjutnya pengolahan data FAA dimulai dengan koreksi bouguer dan koreksi medan untuk mendapatkan nilai anomali bougeur lengkap (ABL). Koreksi bouguer bertujuan untuk mereduksi efek tarikan dari masa batuan yang ada pada bidang *datum* dengan asumsi memiliki jari-jari tak tertingga dengan ketebalan h (meter) dan densitas ρ (gr/cc). Koreksi medan bertujuan untuk

mengurangi efek massa topografi di permukaan yang relatif kasar akibat perbedaan elevasi yang besar, misalnya antara bukit dan lembah [19]. Nilai ABL yang dihasilkan berkisar -117,7 – 67,5 mGal, dengan peta kontur ditunjukkan pada **Gambar 7**.

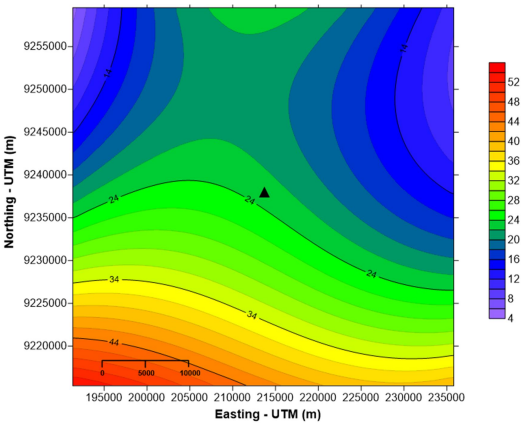


Gambar 6. Peta kontur anomali gravitasi terkoreksi udara bebas (FAA) kawasan Gunungapi Ciremai.

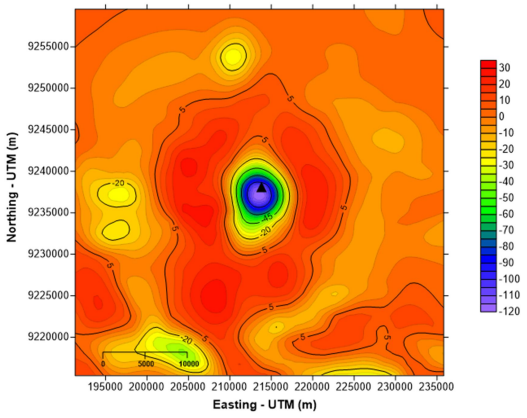


Gambar 7. Peta kontur anomali bouguer lengkap (ABL) kawasan G ınungaɼ i Ciremai.

Data ABL yang dihasilkan mengikuti posisi titik amat pada topografi. Untuk memudahkan proses pemodelan, maka perlu dilakukan reduksi ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor. Data ABL direduksi atau ditransformasikan ke suatu bidang datar pada ketinggian rata-rata topografi daerah penelitian, yaitu 441,23 m sesuai saran Blakely [17]. Nilai ABL yang telah direduksi pada bidang datar berkisar -92,7 – 67,3 mGal. Data ABL tersebut merupakan superposisi antara data anomali regional dan anomali residual. Kedua anomali tersebut memiliki sifat yang berbeda dimana anomali regional bersifat halus dan bersumber atas batuan-batuan yang sangat dalam, adapun anomali residual bersifat kasar dan bersumber dari batuan-batuan yang dangkal. Pemisahan kedua data perlu dilakukan agar mendapatkan hasil yang optimal. Pemisahan anomali regional-residual dilakukan menggunakan metode polinomial, dimana proses pemisahan data anomali berada pada orde-3. Setelah proses pemisahan data anomali regional-residual selesai, maka diperoleh nilai anomali regional yang berkisar 5,3 – 53,9 mGal. Sedangkan nilai anomali residual berkisar antara -116,23 – 27,93 mGal. Peta kontur anomali regional dan anomali residual yang dihasilkan ditunjukkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Peta kontur ABL regional kawasan Gunungapi Ciremai.

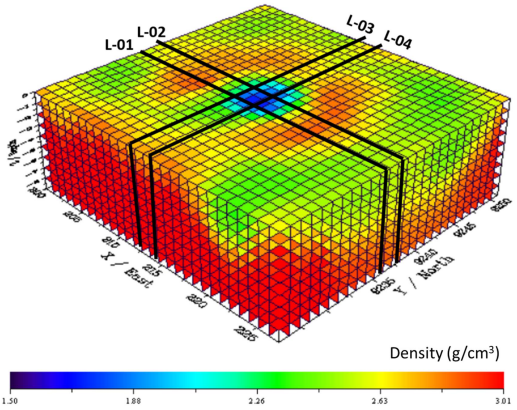


Gambar 9. Peta kontur ABL residual kawasan Gunungapi Ciremai.

B. Hasil Pemodelan dan Interpretasi Data

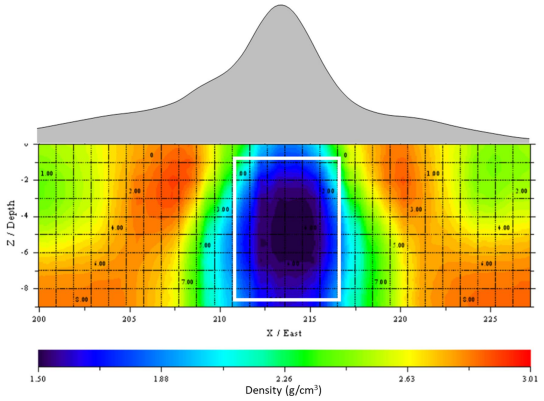
Pemodelan struktur geologi bawah permukaan Gunungapi Ciremai telah dilakukan menggunakan metode pemodelan inversi dengan bentuk blok mayor dengan susunan 28 × 26 × 9 blok. Luas wilayah pemodelan berkisar 27,258

km × 25,654 km dengan kedalaman 9000 m. Pemodelan bertujuan untuk mendapatkan gambaran struktur geologi bawah permukaan Gunungapi Ciremai dan model dapur magmanya. Pemodelan dilakukan dengan cara membagi sumbu-x menjadi 28 blok, sumbu-y menjadi 26 blok, dan sumbu-z menjadi 9 blok. Oleh sebab itu, jumlah blok penyusun model adalah 6.552 blok. Dimensi sebuah blok minor adalah 1 km × 1 km × 1 km. Data anomali residual yang dimodelkan, selanjutnya diinversikan terhadap model awal. Inversi ini dilakukan melalui beberapa tahapan optimasi, seperti: optimasi dasar (*base*) dan optimasi densitas (*density*). Proses inversi telah menghasilkan model 3D seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**, dengan nilai densitas berkisar 1,50 – 3,01 g/cm^3**.**

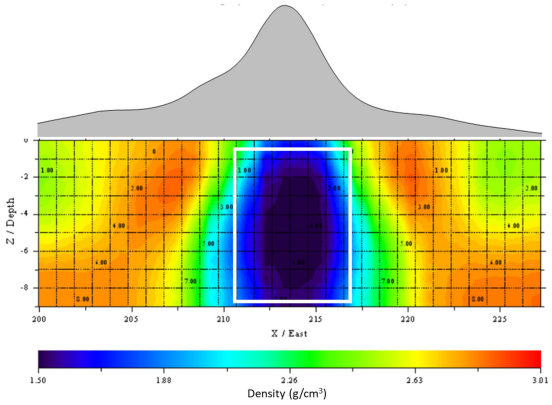


Gambar 10. Model distribusi densitas batuan bawah permukaan di kawasan Gunungapi Ciremai.

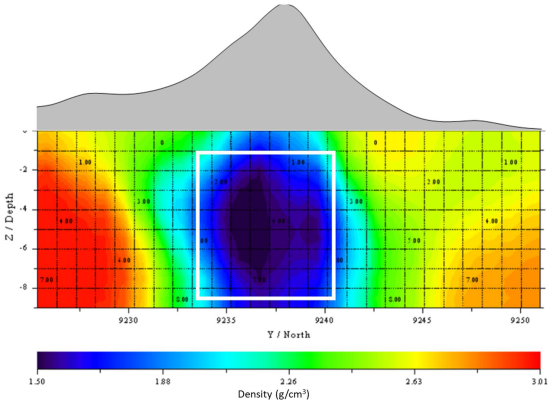
Untuk memperjelas model 3D struktur bawah permukaan, maka dilakukan pengirisan model hingga membentuk sayatan sesuai dengan lintasan-lintasan pada **Gambar 9**, yaitu L-01, L-02, L-03 dan L-04. Lintasan L-01 dan L-02 merupakan sayatan dari arah barat ke timur, sedangkan lintasan L-03 dan L-04 merupakan sayatan dari arah utara ke selatan. Seluruh lintasan melewati pusat *closure* anomali yang diperkirakan sebagai dapur magma Gunungapi Ciremai seperti terlihat pada **Gambar 10** hingga **Gambar 13**. Blok batuan dengan nilai densitas paling rendah (warna biru tua) diinterpretasi sebagai dapur magma Gunungapi Ciremai yang masih aktif.



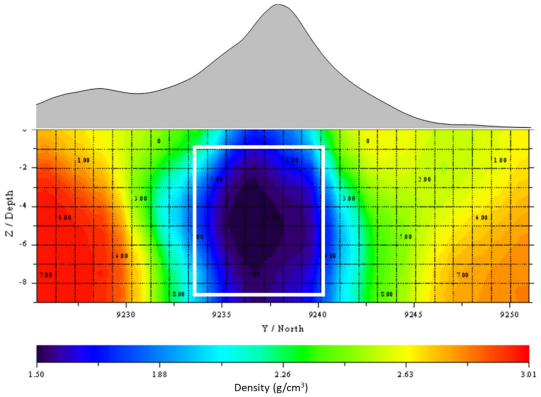
Gambar 11. Model sayatan densitas batuan bawah permukaan kawasan Gunungapi Ciremai di sepanjang lintasan L-01 pada garis bujur 9.236,69 km UTM



Gambar 12. Model sayatan densitas batuan bawah permukaan kawasan Gunungapi Ciremai di sepanjang lintasan L-02 pada garis bujur 9.238,17 km UTM



Gambar 13. Model sayatan densitas batuan bawah permukaan kawasan Gunungapi Ciremai di sepanjang lintasan L-03 pada garis lintang 212,11 km UTM



Gambar 14. Model sayatan densitas batuan bawah permukaan kawasan Gunungapi Ciremai di sepanjang lintasan L-03 pada garis lintang 213,09 km UTM

Hasil pemodelan terhadap data ABL residual menunjukkan bahwa batuan bawah permukaan daerah Gunungapi Ciremai terbagi atas tiga bagian. Area berwarna biru tua hingga biru muda dengan nilai densitas 1,50 – 1,88 g/cm^3 diinterpretasi sebagai dapur magma; area berwarna hijau hingga kuning dengan nilai densitas 1,91 – 2,65 g/cm^3 diinterpretasi sebagai batupasir, batulempung, konglomerat, dan breksi; serta area berwarna orange hingga merah dengan nilai densitas 2,70 – 3,00 g/cm^3 diinterpretasi sebagai lava andesit basalan. Hasil pemodelan ini juga menunjukkan bahwa model dapur magma Gunungapi Ciremai paling jelas teramati pada posisi 213,574 km-UTM dan 9.238,167 km UTM atau 108.4082° BT dan 6.8851° LS dengan kedalaman berkisar 2 – 8 km di bawah ketinggian topografi rata-rata. Posisi dapur magma tersebut tidak vertikal sempurna di bawah kawah vulkanik gunungapi, namun agak bergeser. Hal tersebut dibuktikan bahwa puncak Gunungapi Ciremai terletak pada posisi 213,583 km-UTM dan 9.237,456 km UTM atau 108.4083° BT dan 6.8916° LS. Apabila hasil pemodelan pada L-01 dan L-02 dikorelasikan, dapur magma Gunungapi Slamet memiliki diameter lebih dari 2,45 km dengan arah barat-timur. Sedangkan jika hasil pemodelan pada L-03 dan L-04 dikorelasikan, diameter dapur magma lebih dari 2,60 km dengan arah utara-selatan.

C. Pembahasan

Berdasarkan peta kontur ABL residual, lokasi Gunungapi Ciremai tua diperkirakan terletak di bagian barat laut menuju selatan. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai anomali tinggi yang menginterpretasikan sturktur batuan lava andesit padat bertekstur porfiritik di bagian sisi timur, selatan, dan barat daya Gunungapi Ciremai akibat erupsi Gunung Putri [20]. Sebagian struktur batuan Gunungapi Ciremai tua tertutup oleh struktur batuan lava yang ditunjukkan oleh nilai anomali sedang hingga rendah di bagian sisi selatan, barat, barat daya, dan barat laut Gunungapi Ciremai Muda. Gunungapi muda ini tersusun oleh endapan aliran piroklastik dan lava andesit profir dari Gunung Gegerhalang yang erupsi. Struktur batuan yang mendominasi adalah batuapung, pasir vulkanik, andesit basalan dari lava Gunungapi Ciremai akibat erupsi samping (*flank eruption*) [20].

Hasil pemodelan data ABL seperti terlihat pada **Gambar 11** hingga **Gambar 14** menunjukkan kondisi aliran magma Gunungapi Ciremai dari kerak bumi menuju ke permukaan. Pada umumnya, aliran magma Gunungapi Ciremai mengikuti pola rekahan yang terdapat di bagian puncak. Sebaran aliran magma pun relatif tidak jauh dari kawah berkisar 5 – 8 km dari pusat erupsi dan berangsur melambat sehingga ancaman bahaya yang dihasilkan lebih kecil daripada ancaman bahaya letusan gunungapi lainnya [20]. Berdasarkan data dari Badan Geologi Republik Indonesia, karakteristik letusan Gunungapi Ciremai berupa erupsi yang sangat kuat akibat naiknya kolom magma akibat intrusi diapirik sehingga menghasilkan depresi berbentuk lingkaran dengan kaldera di rendah [20]. Secara umum, tipe erupsi tersebut menunjukkan bahwa posisi dapur magma Gunungapi Ciremai tergolong dalam.

KESIMPULAN

Pemodelan struktur geologi bawah permukaan Gunungapi Ciremai telah dilakukan berdasarkan data satelit gravimetri dari Topex dengan hasil sebagai berikut:

1. Batuan bawah permukaan kawasan Gunungapi Ciremai terbagi atas tiga bagian, yaitu batuan dengan nilai densitas berkisar 1,50–1,88 g/cm^3 diinterpretasi sebagai dapur magma; batuan dengan nilai densitas berkisar 1,91–2,65 g/cm^3 diinterpretasi sebagai batulempung, konglomerat, batupasir, dan breksi; serta batuan dengan nilai densitas berkisar 2,70–3,00 g/cm^3 diinterpretasi sebagai batuan lava andesit basalan.

2. Hasil-hasil pemodelan inversi terhadap data ABL residual menunjukkan bahwa dapur magma Gunungapi Ciremai berada pada posisi 108.4082° BT dan 6.8851° LS. Posisi dapur magma tersebut tidak berada tepat di bawah kawah vulkanik, tetapi 511,37 m relatif ke timur dengan volume relatif besar dan kedalaman berkisar 2–8 km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman atas fasilitas ruangan untuk kegiatan penelitian. Terimakasih juga disampaikan kepada Saudari Aina Zahra Ikhwana, S.Si. yang berkenan membantu memberikan tutorial pemodelan inversi 3D

DAFTAR PUSTAKA

[1] R.S. Atmadja, R.C. Mauri, H. Bellon, H. Pringgoprawiro, M. Polve, B. Priade, "Tertiaty Magmatic Belts in Java", *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, vol. 09, no. 1-2, pp. 13-27, 1994.

[2] B. Sucipto, Y. Mulyati, "Manajemen Resiko Bencana Geologi", *Kajian & Riset Manajemen Profesional*, vol. 11, no. 02, pp. 14-26 , 2020.

[3] --, "Magma Indonesia, Tipe Gunungapi di Indonesia (A, B, dan C)", *Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral RI*, 2021. https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/tipe-gunung-api-di-indonesia-a-b-dan-c [diakses: 1 Januari 2024].

[4] P. Indro, "Kegiatan Gunungapi Ciremai Jawa Barat dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan di Sekitarnya", *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 04, no. 05, pp. 261-278, 2008.

[5] Sehah, U.N. Prabowo, S.A. Raharjo, L. Ariska, "Utilization of Gravimetric Satellite Data for Delineating of Subsurface Model of the Purwokerto-Purbalingga Ground-water Basin", *Indonesian Journal of Geography*, vol. 54, no. 3, pp. 428-436, 2022.

[6] D.I. Oktavia, A. Azwar, Z. Zufian, "Anomali Gravitasi Daerah Manifestasi Panas Bumi Bitung Berdasarkan Data Satelit GeoSat dan ERS-1", *Prisma Fisika*, vol. 07, no. 02, pp. 51-54, 2019.

[7] W.M. Telford, L.P. Gedaart & R.E. Sheriff, "Applied Geophysics", New York: Cambridge University Press, 1990.

[8] Supriyanto, "Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi", Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, 2007.

[9] H. Samodra, "Geologi Batuan Dasar Gunung Ciremai Jawa Barat", *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 02, no. 05, pp. 279-287, 2008.

[10] R. P. Koesoemadinata, dan S. Martodjojo, "Penelitian Turbidit di Pulau Jawa", Laporan Penelitian No. 1295/74. Bandung: Badan Penelitian Institut Teknologi Bandung, 1974.

[11] Djuri, "eta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa Barat", Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1995.

[12] S. Hidayat, H. Mulyana, H. Moechtar, S. Subiyanto, "Sedimentologi dan Stratigrafi Aluvium Bawah Permukaan di Pesisir Cirebon dan Sekitarnya', *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol. 19, no. 04, pp. 251-260, 2009.

[13] D. Purnama, B. Yoseph, R.M.G. Gani, I. Haryanto, "Geologi Daerah Jembarwangi dan Sekitarnya, Kecamatan Tomo, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat", *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol. 04, no. 01, ppl. 25-34, 2020.

[14] R. F. Fauzan, "Sesar di Indonesia, Resume", Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2019.

[15] D.T. Sandwell dan H.F. Smith, "Global Marine Gravity from Retracked GEOSAT and ERS-1 Altimetry: Ridge Segmentation versus Spreading Rate", *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, no. B1, pp. 1-18, 2009.

[16] R.D. Indriana, "Estimation of Sediment Thickness and Depth of Mohorovicic Discontinuity in East Java with Power Spectrum Analysis of Gravity Anomaly

Data", *Berkala Fisika*, vol. 11, no. 02, pp. 67-74, 2008.

[17] R.J. Blakely, "Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications", Cambridge University Press. New York, USA, 1995.

[18] Sehah, U. N, Prabowo, S. A. Raharjo, R. Kurniati, "Utilization of Satellite Gravity Anomaly Data for Two-Dimensional Modeling of Subsurface Structure of Slamet Volcano, Central Java, Indonesia", *Malaysian Journal of Geosciences (MJG)*, vol. 07, no. 01, pp. 01-07, 2023.

[19] A.D. Maulana, and D.A. Prasetyo, "Mathematical Analysis on Bouguer Correction and Field Correction on Topex Satellite Gravity Data and Application in Geohazard; A Case Study of the Palu Koro Fault, Central Sulawesi", *Jurnal Geosaintek*, vol. 05, no. 03, pp. 91-100, 2019.

[20] I. Pratomo, "Kegiatan Gunungapi Ciremai Jawa Barat dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan di Sekitarnya", *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 04, no. 05, pp. 261-278, 2008.