

PENDUGAAN LAPISAN RESERVOIR PANAS BUMI DI KAWASAN GUNUNGAPI SLAMET DENGAN MEMANFAATKAN DATA ANOMALI MEDAN GRAVITASI CITRA SATELIT

Ardhana Reswara P.A. dan Sebah*

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. dr. Suparno No. 61, Karangwangkal, Purwokerto

* Korespondensi Penulis, Email: sebahallasimy@yahoo.com

Abstract

Estimation of the subsurface geological structures of Slamet Volcano area, Central Java, has been done by utilizing gravity field anomaly data of image of Geodetic Satellite (Geosat) and European Remote Sensing-1 (ERS-1) satellite which has been corrected up to free air correction. This research aims to model the 2D profile of the subsurface geological structure which includes some layers of bedrocks, geothermal reservoir, magma chamber, and other geological structures. The procedure of data processing begins with bouguer and topographic corrections. The data obtained, then transformed to horizontal surface, filtered from the local anomalies effects, and corrected from the regional anomaly effect. The results obtained are in the form of residual gravity anomaly data. Modeling is done on the residual gravity anomaly data using 2 1/2-D Talwani method packaged in Grav2DC for Window software. The modeling results show the subsurface geological structure of Slamet Volcano region consists of andesite magma with density value of 2.45 gram/cm³, old lava rock with density value of 2.9 gram/cm³, andesite rock with density of 2.54 gram/cm³, and andesitic – basaltic rock with density of 2.67 gram/cm³. Based on the research area geological information, strongly estimated that the geothermal reservoirs layers are in the andesite rock by filling in it pores or it fissures in the rock.

Keywords: gravity field anomaly, modeling, geothermal reservoirs, Slamet Volcano.

Abstrak

Pendugaan struktur geologi bawah permukaan daerah Gunungapi Slamet Jawa Tengah telah dilakukan dengan memanfaatkan data anomali medan gravitasi citra Geodetic Satellite (GeoSat) dan European Remote Sensing-1 (ERS-1) Satellite yang telah terkoreksi hingga koreksi udara bebas. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan profil 2D struktur geologi bawah permukaan yang meliputi lapisan batuan dasar, reservoir panas bumi, kantong magma, dan struktur geologi lainnya. Prosedur pengolahan data dimulai dengan koreksi bouguer dan koreksi topografi. Data yang diperoleh, selanjutnya ditransformasi ke bidang datar, difilter dari efek anomali lokal, dan dikoreksi dari efek anomali regional. Hasil yang diperoleh berupa data anomali gravitasi residual. Pemodelan dilakukan terhadap data anomali gravitasi residual menggunakan metode Talwani 2 1/2-D yang dikemas dalam perangkat lunak Grav2DC for Window. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa struktur geologi bawah permukaan kawasan Gunungapi Slamet terdiri atas magma andesit dengan densitas 2,45 gram/cm³, batuan lava tua dengan densitas 2,9 gram/cm³, batuan andesit dengan densitas 2,54 gram/cm³, serta batuan andesit-basaltik dengan densitas 2,67 gram/cm³. Berdasarkan informasi geologi daerah penelitian diperkirakan kuat bahwa lapisan reservoir panas bumi terletak pada batuan andesit dengan cara mengisi pori-pori atau celah pada batuan tersebut.

Kata kunci: Anomali medan gravitasi, pemodelan, reservoir panas bumi, Gunungapi Slamet.

Pendahuluan

Survei Gravitasi (*Gravity Survey*) adalah salah satu metode survei Geofisika yang didasarkan terhadap pengukuran variasi medan gravitasi di permukaan bumi. Dalam eksplorasi sumberdaya alam, metode gravitasi umumnya digunakan untuk eksplorasi awal yang bertujuan untuk menggambarkan profil dua dimensi (2D) struktur geologi bawah permukaan. Berdasarkan profil 2D ini, dapat diinterpretasi jenis lapisan batuan bawah permukaan yang menjadi target penelitian [1], termasuk lapisan reservoir panas bumi. Secara umum variasi medan gravitasi di permukaan bumi dapat terjadi akibat perbedaan massa jenis batuan bawah permukaan. Meski variasi medan gravitasi di permukaan bumi sangat kecil, namun dengan peralatan yang baik dan memiliki ketelitian tinggi, nilai medan gravitasi tersebut dapat diukur dari satu titik ke titik yang lain di permukaan bumi, sehingga bisa dipetakan menjadi peta kontur [2].

Saat ini telah dikembangkan pengukuran data medan gravitasi dari satelit, misalnya *Geodetic Satellite* (GeoSat) dan *European Remote Sensing-1 (ERS-1) Satellite*. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk memetakan anomali medan gravitasi global di permukaan bumi, misalnya di atas permukaan laut [3]. Berbagai sumberdaya alam bawah permukaan seperti batubara, bauksit, zinc, dan beberapa mineral logam lain yang sulit dideteksi menggunakan survei di permukaan bumi, dapat dengan mudah dideteksi menggunakan metode gravitasi citra satelit. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah biayanya lebih murah daripada pengukuran langsung di lapangan. Selain itu hasil pengukuran data anomali medan gravitasi citra satelit relatif cukup akurat digunakan untuk menduga struktur geologi dan lapisan batuan bawah permukaan.

Gunungapi Slamet (3.432 meter) merupakan gunungapi yang terdapat di Jawa Tengah. Gunungapi ini berada di perbatasan empat wilayah Kabupaten,

yaitu Purbalingga, Banyumas, Tegal, dan Pemalang. Gunungapi Slamet merupakan gunungapi tertinggi di Jawa Tengah dan kedua tertinggi di Jawa, yang memiliki empat buah kawah di puncaknya dan seluruhnya aktif. Di daerah Gunungapi Slamet terdapat struktur sesar (*fault*) dan kaldera (*caldera*) sebagai akibat letusan gunungapi maupun aktifitas tektonik [4]. Keberadaan struktur geologi ini tidak hanya membuka rongga antar butiran batuan, tetapi juga membuka zona rekahan (*fracture zone*) yang cukup lebar dan panjang hingga hampir vertikal. Pada zona ini, air tanah leluasa menerobos turun ke lapisan batuan yang lebih dalam hingga berjumpa dengan batuan panas (*hot rock*) di sekitar kantong magma. Air tersebut tidak turun lagi ke bawah, tetapi mencari jalan ke arah horizontal menuju celah dan pori-pori pada lapisan batuan yang masih dapat diisi air [5]. Seiring dengan waktu, air tanah tersebut terus terakumulasi dan terpanaskan di sekitar batuan panas tersebut hingga membentuk reservoir panas bumi.

Perbedaan densitas lapisan batuan bawah permukaan dan aktivitas fluida panas di dalam reservoir geotermal yang berakibat terjadinya perbedaan densitas batuan di sekitarnya, mengakibatkan variasi nilai medan gravitasi yang terukur di permukaan bumi. Perbedaan medan gravitasi di antara satu titik terhadap titik lainnya di permukaan bumi disebut sebagai anomali medan gravitasi. Oleh karena itu pendugaan terhadap struktur geologi bawah permukaan di kawasan Gunungapi Slamet dapat dilakukan dengan memanfaatkan data anomali medan gravitasi [6]. Data anomali medan gravitasi diproses melalui beberapa tahapan sesuai prosedur baku pengolahan data dalam survei gravitasi. Data hasil pengolahan ini, selanjutnya dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Grav2DC for Window* hingga diperoleh profil 2D lapisan batuan bawah permukaan daerah penelitian. Hasil interpretasi tersebut memberikan

suatu gambaran kondisi struktur geologi bawah permukaan yang dapat digunakan untuk menafsirkan posisi lapisan reservoir panas bumi dan struktur geologi lainnya yang berkembang di kawasan Gunungapi Slamet.

Teori yang mendasari survei gravitasi adalah hukum Newton tentang gaya tarik-menarik antara dua buah titik massa, dimana besarnya gaya antara dua titik massa m_1 dan m_2 yang terpisah dengan jarak r adalah [7]:

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

dengan F adalah gaya (Newton), r adalah jarak antara dua massa benda (meter), m_1 dan m_2 adalah massa masing-masing benda (kg), dan G adalah konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$). Selanjutnya gaya per satuan massa dari partikel m_1 yang mempunyai jarak r dari m_2 disebut sebagai medan gravitasi dari partikel m_1 , yang dapat dinyatakan sebagai [7]:

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

Karena medan gravitasi bersifat konservatif, maka medan gravitasi dapat ditulis dalam bentuk gradien suatu fungsi potensial skalar $U(\vec{r})$, sehingga persamaan (2) dapat dituliskan menjadi:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \quad \dots (3)$$

dengan $U(\vec{r}) = -G \frac{m_1}{r}$ adalah potensial gravitasi dari massa m_1 .

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan yaitu Maret – Juni 2011. Data anomali medan gravitasi citra satelit serta data posisi geografis masing-masing titik diakses langsung dari http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi, yang disediakan oleh *The Scripps Institution of Oceanography University of California San Diego USA*. Data anomali gravitasi dan data posisi geografis yang diperoleh telah tergrid secara teratur dalam format

ASCII – XYZ. Resolusi spasial posisi lintang dan bujur sebesar 1 menit/grid, ketelitian data anomali medan gravitasi sebesar 0,1 mGal dan ketelitian data ketinggian sebesar 1 m [3,8].

Data anomali medan gravitasi lengkap dengan data posisi geografis yang telah diperoleh selanjutnya diolah secara numerik. Pengolahan data dimulai dengan koreksi-koreksi yang meliputi koreksi topografi dan koreksi *bougeur*. Koreksi topografi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Gravity 900* yang bertujuan untuk mereduksi efek massa topografi di atas permukaan bumi yang relatif kasar dengan perbedaan elevasi yang besar seperti bukit dan lembah di sekitar titik-titik pengukuran. Sedangkan koreksi *Bougeur* dilakukan dengan tujuan untuk mereduksi efek bongkahan massa batuan pada kerak bumi yang berada di antara bidang sferoida dan titik pengukuran. Pengolahan data berikutnya adalah reduksi data anomali medan gravitasi ke bidang datar (*reduction to horizontal surface*) yang bertujuan untuk mentransformasikan data anomali dari permukaan topografi ke bidang datar. Selanjutnya dilakukan pengangkatan ke atas (*upward continuation*) yang bertujuan untuk mengangkat data anomali dari suatu level ketinggian ke level di atasnya. Kegunaannya adalah sebagai filter tapis rendah yaitu untuk mereduksi efek anomali lokal (*noise*) di atas topografi [7,9].

Meskipun data anomali gravitasi telah dikoreksi dan direduksi sebagaimana tahap pengolahan di atas, tetapi data tersebut masih bersuperposisi dengan anomali regional. Oleh karena itu efek anomali regional harus dibersihkan, karena target anomali yang ingin diinterpretasi relatif bersifat lokal dan tidak terlalu dalam. Data anomali medan gravitasi regional diperoleh melalui pengangkatan ke atas hingga ketinggian yang cukup besar. Batasan penentuan data anomali regional adalah jika pola kontur anomali hasil

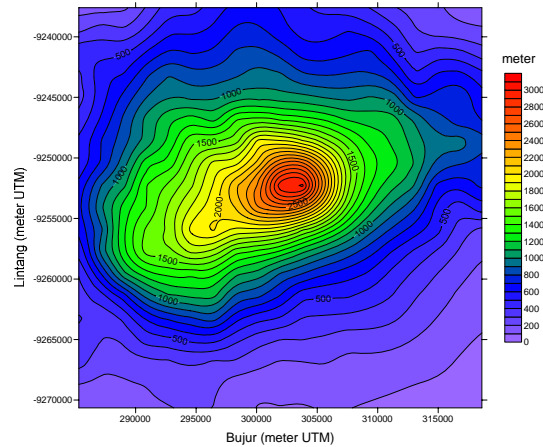
pengangkatan telah menunjukkan pola yang sangat halus dengan interval anomali yang sangat kecil. Data anomali regional yang diperoleh, selanjutnya dikoreksikan terhadap data anomali medan gravitasi sehingga diperoleh data anomali medan gravitasi residual [10].

Tahap akhir pengolahan data adalah pemodelan dan interpretasi. Pemodelan dilakukan dengan menyusun model struktur geologi atau benda anomali bawah permukaan dengan parameter tertentu yang bisa dianggap sebagai sumber anomali medan gravitasi di permukaan bumi. Hasil pemodelan yang diperoleh berbentuk *profile* 2D struktur geologi atau benda anomali bawah permukaan. Selanjutnya model anomali tersebut diinterpretasi dengan mempertimbangkan data-data geologi daerah setempat. Dengan demikian apabila target interpretasi adalah lapisan reservoir panas bumi dan struktur geologi bawah permukaan lainnya di kawasan Gunungapi Slamet, maka parameter-parameter model benda anomali disesuaikan dengan kondisi umum geologi yang berkembang di daerah penelitian tersebut [11].

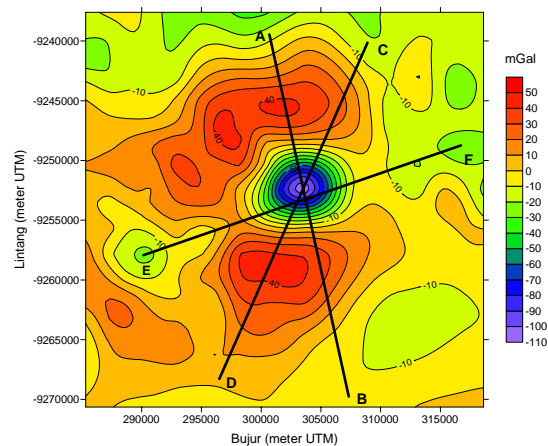
Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengaksesan data diperoleh 361 buah data yang terdistribusi pada posisi $109,058^{\circ} - 109,358^{\circ}$ BT dan $7,107^{\circ} - 7,404^{\circ}$ LS. Tinggi rata-rata topografi adalah 766,41 meter di atas permukaan laut (*dpl*) dengan interval 47 – 3.017 meter *dpl*. Hasil pemetaan kontur topografi daerah penelitian bisa dilihat pada Gambar 1. Nilai anomali medan gravitasi rata-rata daerah penelitian adalah 139,51 mGal, dengan interval 53,5 – 303,2 mGal. Data-data tersebut merupakan nilai anomali medan gravitasi yang belum terkoreksi efek topografi dan efek *bougeur*. Setelah dilakukan pengolahan data secara lengkap, maka diperoleh data anomali medan gravitasi residual. Pemodelan numerik dilakukan di atas sayatan yang dibuat pada peta kontur anomali gravitasi residual. Sayatan pemodelan dibuat melalui pusat anomali

yang diperkirakan sebagai kantong magma Gunungapi Slamet. Hal ini sesuai informasi geologi bahwa letak reservoir panas bumi kawasan Gunungapi Slamet diperkirakan berada di sekitar tubuh magma (*batholite* dan *stock*) yang berdimensi besar di bawah kawah utama [12]. Kedudukan sayatan pemodelan pada peta kontur anomali medan gravitasi residual ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kontur 2D topografi daerah penelitian; kawasan Gunungapi Slamet.



Gambar 2. Peta kontur anomali medan gravitasi residual citra satelit daerah penelitian lengkap dengan posisi sayatan pemodelan.

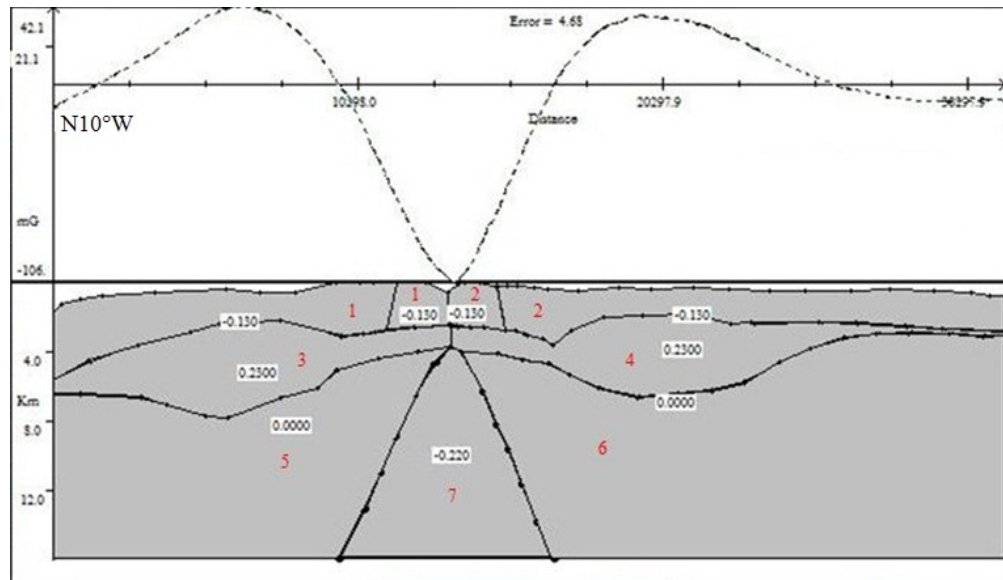
Pemodelan anomali medan gravitasi residual dilakukan terhadap data-data anomali pada sayatan AB, CD, dan EF yang diperkirakan memotong zona kantong magma Gunungapi Slamet. Pemodelan ini bertujuan untuk

memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan, khususnya reservoir panas bumi di kawasan Gunungapi Slamet, Jawa Tengah. Pemodelan menggunakan metode Talwani 2½D yang dikemas dalam perangkat lunak Grav2DC for Window [13]. Hasil pemodelan pada setiap sayatan adalah sebagai berikut :

A. Sayatan AB

Sayatan AB dengan densitas rata-rata kerak bumi 2,67 g/cm³ berarah dari U10°B ke S10°T dengan panjang sayatan 31.207,3 meter. Pada sayatan AB terlihat bahwa struktur batuan bawah permukaan mempunyai kontras

densitas (rapat massa) yang bervariasi yaitu 0,00 g/cm³, -0,13 g/cm³, -0,22 g/cm³, dan 0,23 g/cm³, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pemodelan memiliki kedalaman 0 – 16 km dari bidang datar. Bidang datar tersebut merupakan garis lurus horizontal yang berada di atas benda anomali, yang terletak 1,5 kilometer di bawah puncak Gunungapi Slamet. Nilai error merupakan perbedaan antara nilai anomali hasil pemodelan dengan nilai anomali observasi (anomali residual). Error pemodelan pada sayatan AB sebesar 4,68%. Adapun hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelan pada sayatan AB dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3. Hasil pemodelan struktur geologi dan benda anomali bawah permukaan pada sayatan AB menggunakan perangkat lunak Grav2DC for Window.

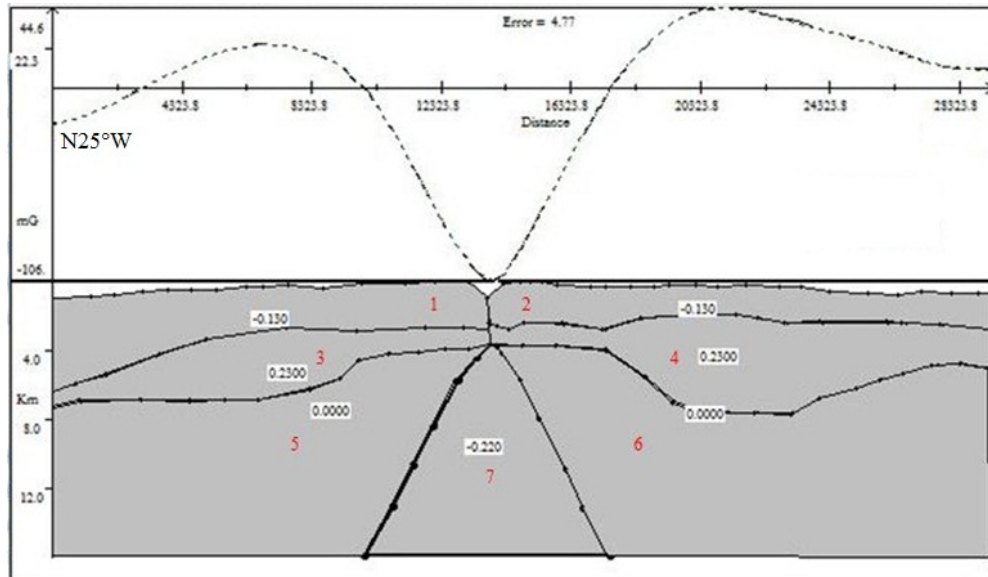
Tabel 2. Hasil interpretasi pada sayatan AB

No. Blok	Kedalaman (km)	Kontras Densitas (g/cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Interpretasi Litologi
1 & 2	0 – 5,6	-0,13	2,54	Batuan Andesit
3 & 4	1,7 – 6,7	0,23	2,90	Lava Tua
5 & 6	4 – 16	0	2,67	Andesit Basaltik
7	3,5 – 16	-0,22	2,45	Magma Andesit

B. Sayatan CD

Secara umum hasil pemodelan data pada sayatan CD hampir sama dengan sayatan AB. Kesamaan sayatan AB dan CD adalah densitas batuan lingkungan dan variasi kontras densitas batuan bawah permukaan. Sayatan CD berarah dari U25°T ke S25°B, memiliki panjang sayatan 28.983,7 meter. Model

struktur geologi dan benda anomali bawah permukaan pada sayatan CD ditunjukkan pada Gambar 4, dengan kedalaman 0 – 16 kilometer di bawah bidang datar. Hasil pemodelan pada sayatan CD memiliki nilai *error* 4,77% dengan hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelannya dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 4. Hasil pemodelan struktur geologi dan benda anomali bawah permukaan pada sayatan CD menggunakan perangkat lunak *Grav2DC for Window*.

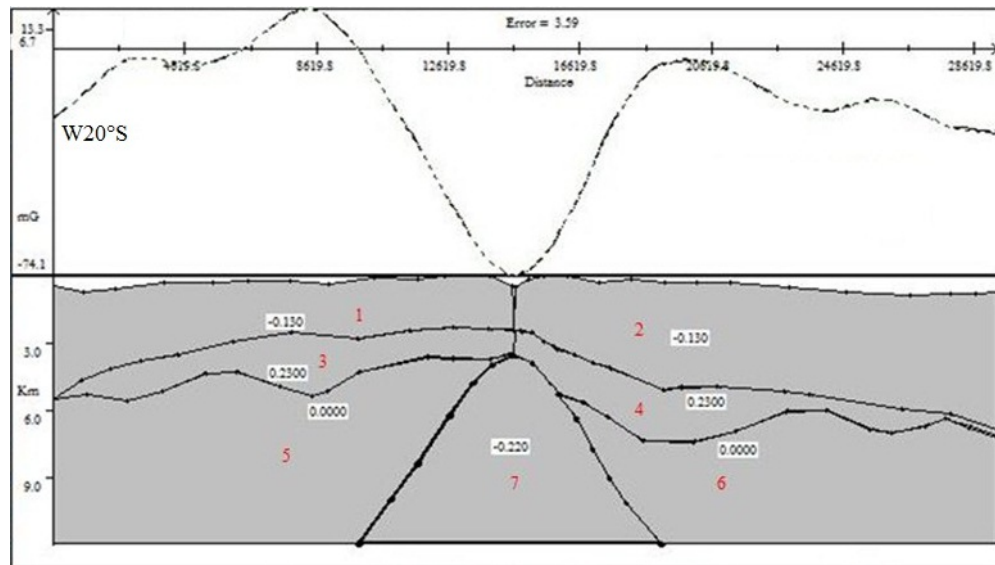
Tabel 3. Hasil interpretasi pada sayatan CD

No. Blok	Kedalaman (km)	Kontras Densitas (g/cm^3)	Densitas (g/cm^3)	Interpretasi Litologi
1 & 2	0 – 6,8	-0,13	2,54	Batuan Andesit
3 & 4	2,2 – 7,6	0,23	2,90	Lava Tua
5 & 6	3,6 – 16	0	2,67	Andesit-Basaltik
7	3,5 – 16	-0,22	2,45	Magma Andesit

C. Sayatan EF

Secara umum hasil pemodelan pada sayatan EF juga hampir sama dengan dua sayatan sebelumnya. Sayatan EF berarah dari B20°S ke T20°U dan memiliki panjang sayatan 28.694 meter. Model struktur geologi dan benda anomali bawah permukaan

hasil pemodelan pada sayatan EF ditunjukkan pada Gambar 5 dengan nilai kedalaman 0 – 12 kilometer dari bidang datar. Nilai *error* hasil pemodelan adalah 3,59%. Adapun hasil interpretasi terhadap hasil pemodelannya dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 5. Hasil pemodelan struktur geologi dan benda anomali bawah permukaan pada sayatan EF menggunakan perangkat lunak Grav2DC for Window.

Tabel 4. Hasil interpretasi pada sayatan EF

No. Blok	Kedalaman (km)	Kontras Densitas (g/cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Interpretasi Litologi
1 & 2	0 – 6,9	-0,13	2,54	Batuan Andesit
3 & 4	2,2 – 7,4	0,23	2,90	Lava Tua
5 & 6	3,5 – 12	0	2,67	Andesit-Basaltik
7	3,5 – 12	-0,22	2,45	Magma Andesit

Berdasarkan Tabel 2 hingga Tabel 4, terdapat keserupaan hasil pemodelan struktur geologi atau benda anomali bawah permukaan pada sayatan AB, CD, dan EF. Masing-masing sayatan pemodelan terdapat 7 lapisan batuan penyusun yang berbeda. Lapisan 1 dan 2 dapat diinterpretasi sebagai lapisan batuan Andesit yang berperan sebagai lapisan reservoir panas bumi. Lapisan batuan 1 pada sayatan AB terdapat patahan yang memungkinkan terjadinya manifestasi panas bumi ke permukaan bagian utara Gunungapi Slamet, yaitu di kawasan Guci Kabupaten Tegal. Sedangkan lapisan 2 juga terdapat patahan untuk memungkinkan terjadinya manifestasi panas bumi di bagian selatan, yaitu di kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas. Hal ini sesuai dengan Peta Geologi Lembar Purwokerto-Tegal [14].

Selanjutnya lapisan 3 dan 4 diinterpretasi sebagai lapisan batuan Lava Tua yang memiliki sifat *impermeable* atau tidak dapat ditembus oleh air. Lapisan 5 dan 6 diinterpretasi sebagai batuan Andesit-Basaltik. Sedangkan lapisan 7 diinterpretasi sebagai kantong magma andesit yang menjadi sumber panas. Blok batuan berwarna putih merupakan batuan lingkungan yang dominan di kawasan Gunungapi Slamet yaitu Andesit-Basaltik dengan nilai densitas 2,67 g/cm³.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa struktur geologi batuan bawah permukaan di kawasan Gunungapi Slamet Jawa Tengah terdiri atas batuan Andesit dengan densitas 2,54 g/cm³, batuan Andesit-Basaltik

dengan densitas $2,67 \text{ g/cm}^3$, batuan Lava Tua dengan densitas $2,90 \text{ g/cm}^3$, dan kantong magma Andesit dengan densitas $2,45 \text{ g/cm}^3$. Selain itu diketahui bahwa batuan bawah permukaan daerah penelitian yang paling dominan (batuan lingkungan) diinterpretasi sebagai batuan Andesit-Basaltik, yang juga berperan sebagai batuan dasar (*basement*). Dari hasil interpretasi di seluruh sayatan pemodelan, lapisan reservoir panas bumi diduga terdapat di dalam batuan andesit yang memiliki ketebalan 4,5 km, dengan cara mengisi pori-pori dan celah batuan tersebut. Pada sayatan AB terdapat beberapa patahan (*fault*) yang diperkirakan mengakibatkan kemunculan manifestasi panas bumi dalam bentuk sumber air panas di kawasan Guci Kabupaten Tegal dan di kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas.

Ucapan Terima Kasih

Terima kepada Rektor Universitas Jenderal Soedirman dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UNSOED atas dana penelitian yang disediakan. Terima kasih juga disampaikan kepada kepala dan teknisi Laboratorium Fisika Eksperimen UNSOED atas peralatan yang disediakan, serta kepada dosen Teknik Geologi UNSOED yang telah memberikan saran dan masukan tentang interpretasi jenis batuan.

Daftar Pustaka

- [1] Panjaitan S. 2010. *Aplikasi Metode Gaya Berat untuk Identifikasi Potensi Hidrokarbon dalam Cekungan Jakarta dan Sekitarnya*. Pusat Survei Geologi (PSG). Badan Geologi. Kementerian ESDM. Bandung.
- [2] Handayani L., Gaol K.L., Wardana D.D., Sudrajat Y., Rahayu D., Kamtono, 2010. Studi Geologi Bawah Permukaan dengan Pendekatan Metode Gayaberat dan AMT dalam Kaitannya dengan Eksplorasi Sumberdaya Geologi: Wilayah Studi Cekungan Jawa Barat Utara Bagian Selatan – Cekungan Bogor dan Bandung – Cekungan Garut. Pusat Penelitian Geoteknologi. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta.
- [3] Sandwell, D. T., and Smith W. H. F., 2009. Global Marine Gravity From Retracked Geosat And ERS-1 Altimetry: Ridge Segmentation Versus Spreading Rate. *Journal of Geophysic. Res.* 114 B01411.
- [4] Pusat Penelitian Biologi – LIPI bekerjasama dengan Universitas Jenderal Soedirman, 2012. *Ekologi Gunung Slamet; Geologi, Klimatologi, Biodiversitas, dan Dinamika Sosial*. LIPI Press. Jakarta.
- [5] Saptadji. N.M., 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Makalah Training Advanced Geothermal Reservoir Engineering 6 – 17 Juli 2009. Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung.
- [6] Djudjun A. 2011. *Penyelidikan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Sipoholon-Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Propinsi Sumatera Utara*. Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral. Kementerian ESDM. Jakarta.
- [7] Telford, W.M., Gedaart, L.P., Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge. New York.
- [8] Smith W. H. F., and Sandwell, D. T., 1997. Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry And Ship Depth Soundings. *Science*. Volume: 277, page: 1957-1962. 26 September 1997.
- [9] Blakely R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. USA.
- [10] Hartono, Sebah, dan Sugito. 2004. Interpretasi Bentuk Kantong Magma Gunungapi Slamet Jawa Tengah Berdasarkan Data Anomali Bouguer. *Laporan Penelitian*.

- Program Sarjana MIPA. UNSOED. Purwokerto.
- [11] Andreasen G.E., Grantz A., Zietz I., and Barnes D.F., 1964. Geologic Interpretation of Magnetic and Gravity Data in The Copper River Basin, Alaska. Geophysical Field Investigations. *Geological Survey Professional Paper 316-H*. US Government Printing Office. Washington.
- [12] Warta Daerah Central Java, 2009. *Potensi Sumber Panas Bumi Kabupaten Brebes*. DINHUBKOMINFO. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Diakses pada bulan Januari 2011. Sumber: <http://www.jatengprov.go.id>.
- [13] Talwani M., Worzel J.L., Landisman M., 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysics Research*. 64:49-59.
- [14] Djuri M, Samodra H., Amin T.C., dan Gafoer S., 1996. *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G). Bandung.

