

IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN LOKASI RESERVOAR PANASBUMI DAERAH GUNUNG CIREMAI BERDASARKAN ANALISIS DATA GRAVITY

Irma Nurliza Lumbantoruan¹, Muhammad Sarkowi¹, Bagus Sapto Mulyatno¹, Rahmat Catur Wibowo¹

¹Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
e-mail : rahmat.caturwibowo@eng.unila.ac.id

Abstrak. Penelitian pada Lapangan Panasbumi Gunung Ciremai, Provinsi Jawa Barat, bertujuan untuk memperoleh peta anomali *Bouguer* berdasarkan analisis data gravity *GGMPlus*. Kemudian pemisahan anomali regional dan residual dengan menggunakan filter *moving average*. Selanjutnya dilakukan analisis *Second Vertical Derivative (SVD)* untuk menganalisis patahan, dan pemodelan 3D untuk menggambarkan secara jelas penampang bawah permukaan dan melihat sebaran densitas bawah permukaan. Dari hasil pengolahan diperoleh densitas anomali *Bouguer* sebesar 22-50 mGal dengan densitas rata-rata 2,314 g/cc. Dari hasil analisis spektrum diperoleh kedalaman rata-rata anomali regional 4250 meter dan untuk kedalaman rata-rata residual 350 meter. Nilai nol pada analisis *SVD* menunjukkan batas karakteristik geologi yaitu adanya sesar dan perbedaan fisis dari densitas tinggi ke rendah pada densitas batuan. Struktur sesar yang teridentifikasi merupakan sesar mendatar yang berarah hampir NW-SE yang membedah Ciremai Muda produk vulkanik. Terdapat juga sesar berarah barat-timur sebagai kelurusan lama kaldera Ciremai yang menghasilkan prospek panasbumi Sangkanhurip dan Pejambon di bagian timur Gunung Ciremai. Berdasarkan peta geologi dapat dilihat bahwa struktur geologi Gunung Ciremai merupakan sesar aktif Cilacap-Kuningan yang berperan sebagai jalur manifestasi panasbumi Ciniru. Dari hasil pemodelan 3D ditemukan zona *reservoir* pada kedalaman 3-4 km dengan nilai densitas 2,2-2,3 g/cc dan zona *heat source* pada kedalaman 4-5 km dengan nilai densitas 2,6-2,7 g/cc dan untuk zona *caprock* pada kedalaman 1,5-3 km dengan nilai densitas 2,7-2,8 g/cc.

Kata kunci: *Ciremai; Gravity; Patahan; Panasbumi; Reservoir*

Abstract. Research on the Ciremai Mountain Geothermal Field, West Java Province, aims to obtain a Bouguer anomaly map based on *GGMPlus* gravity data analysis. Then separation of regional and residual anomalies using a moving average filter. Furthermore, a *Second Vertical Derivative (SVD)* analysis was carried out to analyze the fracture, and 3D modeling to clearly describe the subsurface cross-section and see the subsurface density distribution. From the processing results, the Bouguer anomaly density is 22-50 mGal with an average density of 2.314 g/cc. From the results of the spectrum analysis, the average depth of the regional anomaly is 4250 meters and the residual average depth is 350 meters. The zero value in the *SVD* analysis shows the boundary of geological characteristics, namely the presence of faults and physical differences from high to low density in rock density. The identified fault structure is a horizontal fault trending almost NW-SE, which dissects Ciremai Muda volcanic products. There is also a west-east trending fault as the old straight line of the Ciremai caldera, which produces the Sangkanhurip and Pejambon geothermal prospects in the eastern part of Ciremai Mountain. Based on the geological map, it can be seen that the geological structure of Mount Ciremai is an active Cilacap-Kuningan fault which acts as a pathway for Ciniru geothermal manifestations. From the results of 3D modeling, it is found that the reservoir zone is at a depth of 3-4 km with a density value of 2.2-2.3 g/cc and a heat source zone at a depth of 4-5 km with a density value of 2.6-2.7 g/cc and for the caprock zone at a depth of 1.5-3 km with a density value of 2.7-2.8 g/cc.

Keywords : *Ciremai; Gravity; Fault; Geothermal; Reservoir*

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di atas lempeng tektonik Eurasia-Australia-Pasifik yang melintasi Kepulauan Maluku, Pulau Sulawesi, Jawa, dan Pulau Sumatera. Lempeng tektonik tersebut mengalami pergerakan setiap tahunnya dengan kecepatan tertentu. Pergerakan tersebut mengakibatkan terjadinya tumbukan antara lempeng. Tumbukan yang terjadi antar lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya jalur vulkanik. Menurut Widarto dkk.

(2003), sebagian besar jalur vulkanik memiliki potensi untuk menghasilkan energi panasbumi yang signifikan. Suatu sistem panas bumi harus memperhatikan tiga hal yaitu keberadaan sumber panas (*heat source*), batuan *reservoir*, dan batuan penutup (*caprock*). Kemunculan mata air panas atau uap air disebabkan oleh arus konveksi yang melewati zona lemah atau zona rekahan pada batuan sehingga menyebabkan kemunculan manifestasi panasbumi di permukaan.

Salah satu gunungapi aktif di Pulau Jawa adalah gunungapi Ciremai. Gunungapi Ciremai juga menjadi salah satu daerah yang berpotensi menjadi wilayah prospek panas bumi. Dalam pengembangan wilayah yang berpotensi menjadi daerah prospek panasbumi, maka diperlukan eksplorasi yang baik. Dalam eksplorasi panasbumi tersebut terdapat beberapa metode yang bisa digunakan salah satunya adalah metode geofisika. Metode geofisika yang umumnya digunakan dalam eksplorasi panasbumi yaitu metode gravity, magnetik, geolistrik, dan magnetotellurik.

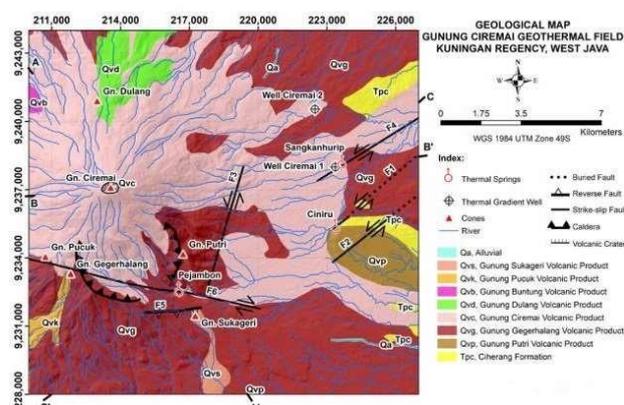
Dalam penelitian ini digunakan data gravity GGMPlus (*Global Gravity Model Plus*) 2013. Data ini merupakan salah satu jenis data yang sering digunakan dalam penelitian gravity. Data satelit ini memiliki resolusi spasial yang rapat dimana jarak resolusi spasialnya sekitar 200 meter, sehingga data ini baik digunakan dalam pemetaan awal suatu daerah.

Secara administratif Gunung Ciremai terletak diantara dua kabupaten, yaitu Kabupaten Kuningan dan Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat. Posisi geografis puncaknya terletak pada 6°50'30" LS dan 108° 24' 00" BT, dengan ketinggian 3,078 mdpl. Gunung tersebut merupakan gunung tertinggi di Jawa Barat.

Gunung Ciremai termasuk gunungapi aktif bertipe strato dengan ketinggian 3,078 mdpl. Secara morfologi terbagi atas morfologi puncak yang ditempati oleh produk vulkanik muda dengan kemiringan lereng 25° – 40°, morfologi lereng yang ditunjukkan oleh pusat erupsi adventif di bagian utara dan tenggara dengan kemiringan 10°–25°, dan lereng kaki dengan kemiringan 5°-10°, elevasi antara 100 – 300 mdpl diendapkan terutama produk aliran piroklastik.

Aktivitas vulkanik Gunung Ciremai tua di kawasan tersebut pada awalnya adalah Kuarter Tua yang terdiri dari produk vulkanik aliran piroklastik dan lava intrusi sedimen klastik Oligosen-Miosen. Sisa ledakan kaldera vulkanik tua berarah ke utara Gunung Ciremai yang sebagian besar terdiri dari aliran piroklastik dan lava. Struktur geologi utama di Gunung Ciremai adalah, patahan yang membedah depresi di mana gunung berapi Ciremai muda muncul. Namun, terdapat juga sesar barat timur sebagai kelurusan kaldera Ciremai lama sehingga menghasilkan prospek panasbumi Sangkanhurip dan Pejambon di bagian timur.

Gunung Ciremai menjulang di atas formasi batuan Tersier yang sebagian besar terlihat di barat laut dan utara. Formasi tersebut terdiri dari Formasi Halang (Miosen; batupasir, batupasir dan breksi), Formasi Cinambo (Oligo-Miosen; batupasir serpih dan breksi), Formasi Ciherang (Oliosen Atas; breksi bergantian dan batupasir), Formasi Kaliwangu (Pliosen; batulempung), Formasi Citalang (Pliosen Atas; konglomerat, breksi, batupasir dan batugamping), Formasi Kalibiuk (Pliosen Atas; batupasir tufan, batugamping, dan lensa batugamping) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 (Situmorang, 1984).



Gambar 1. Peta Geologi Gunung Ciremai (sumber: P3TEBTEK)

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data satelit GGMPlus. Dimana pada prinsipnya data ini diambil dengan menggunakan sistem satelit luar angkasa. Medan gravitasi bumi diukur secara pasif oleh satelit gravitasi GRACE dan GOCE. Melalui penggunaan teknik *Satellite to Satellite Tracking* (SST) dalam kaitannya dengan bumi, pengukuran pasif memanfaatkan respons alami sumber. Untuk menentukan lokasi satelit saat mengukur medan gravitasi bumi, teknik SST memanfaatkan dua satelit, yaitu satelit gravitasi dan satelit *Global Positioning System* (GPS) (Hinze dkk., 2012).

Salah satu teknik untuk memvisualisasikan pemetaan bawah permukaan bumi adalah dengan metode gravitasi. Dasar pencitraan bawah permukaan adalah validasi kerapatan massa batuan (Sarkowi dkk., 2023). Metode gravitasi menurut Sarkowi (2014) adalah metode geofisika yang didasarkan pada pengamatan perubahan medan gravitasi bumi. Variasi kerapatan batuan dasar, jenis batuan bawah permukaan, variasi jarak dari inti bumi, dan variasi medan di permukaan bumi

semuanya dapat mempengaruhi gravitasi permukaan bumi.

METODOLOGI

Data gravity yang digunakan pada penelitian ini merupakan data satelit *GGMPlus* yang diperoleh dalam bentuk data *gravity acceleration*, dan data DEM. Sehingga dalam pengolahannya perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai Anomali *Bouguer* Lengkap (ABL) di mana dalam perhitungannya dilakukan dengan menggunakan *Software Geosoft 8.3.4*. Koreksi yang digunakan adalah koreksi lintang, *Free Air Correction* (FAC), *Free Air Anomaly* (FAA), koreksi *Bouguer* dan koreksi medan atau *terrain corection*.

Selanjutnya dilakukan analisis spektrum untuk memperkirakan kedalaman regional dan residual serta penentuan lebar jendela, yang nantinya digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Pemisahan anomali ini digunakan dengan menggunakan filter *moving average*.

Menurut Diyanti (2014), pendekatan *Moving Average* bertujuan untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual. *Moving average* adalah rata-rata data anomali gravity; dimana anomali residual diperoleh dengan mengurangi anomali *Bouguer* dari anomali regionalnya. Proses pemisahan anomali diawali dengan memasukkan data anomali *Bouguer* ke dalam *software Surfer*, kemudian nilai lebar jendela ideal yang dihasilkan selama proses analisis spektral dimasukkan sebagai nilai masukan pemisahan.

Pada intinya, metode pemisahan digunakan untuk mengkategorikan anomali berdasarkan frekuensi yang terhubung dengan kedalaman sumber anomali. Sementara anomali residual terkait dengan frekuensi tinggi, anomali regional terkait dengan frekuensi rendah. Dengan penggunaan metode pemisahan ini, dapat diperoleh data anomali regional dan residual yang secara akurat mencerminkan kondisi bawah permukaan (Sari, 2012).

Dari filter *moving average* didapatkan anomali residual dan anomali regional yang kemudian dapat memperlihatkan adanya kontras rapat massa batuan yang rendah ke tinggi. *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) merupakan analisis *derivative* yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil dari analisis *derivative* digunakan untuk data pendukung analisis

struktur bawah permukaan untuk mengetahui sebaran patahan daerah penelitian.

Saat mencari sumber anomali dangkal atau lokal, metode SVD dapat digunakan. Menurut Saibi dkk. (2006), pendekatan ini sangat baik untuk menentukan diskontinuitas struktur bawah permukaan, khususnya keberadaan sesar di wilayah survei.

Dalam analisis SVD digunakan filter *Second Vertical Derivative* (SVD) menggunakan operator Elkins yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Operator Elkins pada filter SVD (Sarkowi, 2010)

SVD Tipe Elkins (1951)				
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0334	-1.0668	-0.0334	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00

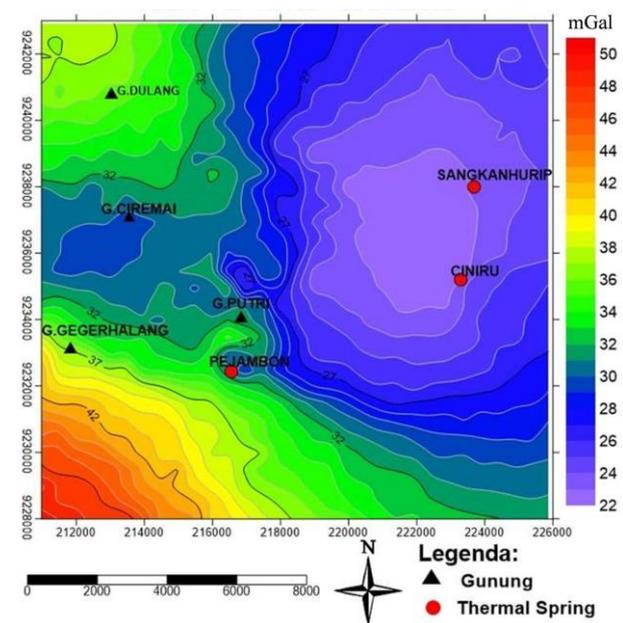
Selanjutnya dilakukan *inverse modeling* pemodelan 3D menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj* dan *software grablox* untuk memodelkan bawah permukaan daerah penelitian. Model awal pada *inverse modeling* dibuat menggunakan *software Grablox 1.7* yang dibagi menjadi 20 blok sumbu X, 20 blok sumbu Y dan 10 blok sumbu Z sehingga menghasilkan sebanyak 4000 blok. Model daerah penelitian dimodelkan ke arah sumbu X sejauh 14 km dan ke arah sumbu Y sejauh 16 km dengan kedalaman model adalah 4 km ke arah vertikal (sumbu Z). Pemodelan ini di dasarkan pada suatu model langsung yang dihasilkan dari data yang dilakukan dengan memadukan informasi geologi seperti struktur geologi, geologi permukaan, dan stratigrafi pada daerah penelitian. Tetapi jika banyak model sesuai dengan datanya, ini disebut sebagai *non-uniqueness* (Supriyanto, 2007).

Anomali residual dan regional dari filter *moving average*, menunjukkan bahwa nilai anomali yang rendah mengindikasikan adanya batuan dengan kontras densitas massa batuan yang lebih rendah (batuan sedimen), sedangkan anomali yang tinggi mengindikasikan adanya batuan dengan kontras densitas massa yang lebih besar (batuan beku). Densitas tinggi akan berhubungan dengan keberadaan *heatsource* atau batuan intrusi di daerah tersebut. Densitas rendah kemungkinan

disebabkan oleh keberadaan batuan *reservoir* yang pada umumnya mempunyai porositas tinggi dan densitas rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali *Bouguer* Lengkap (ABL) merupakan anomali gravitasi yang menggambarkan bentuk penyebaran densitas yang dimiliki batuan di bawah permukaan dan hasil superposisi dari sumber anomali dalam (regional) dan sumber anomali dangkal (residual) yang terjadi karena adanya pengaruh massa yang terdapat di daerah sekeliling bawah permukaan daerah pengukuran. Peta anomali *Bouguer* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

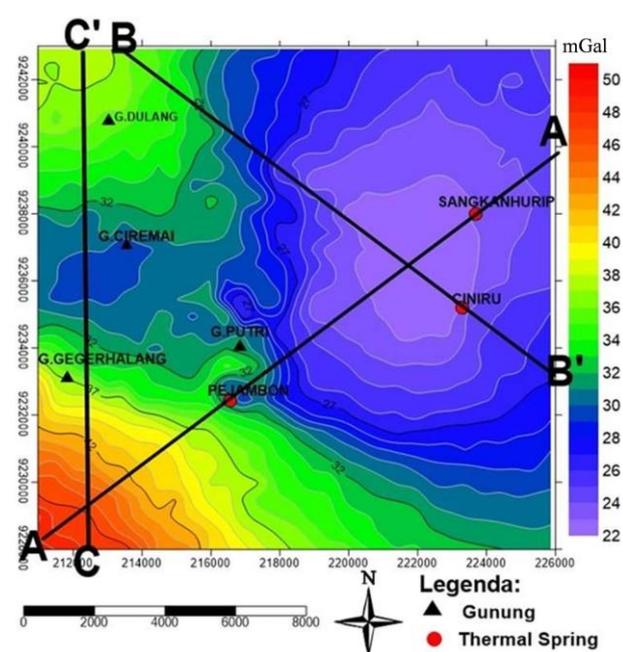


Gambar 2. Peta Anomali *Bouguer* Lengkap daerah panasbumi Gunung Ciremai Jawa Barat

Dari peta kontur ABL, maka diperoleh nilai densitas pada peta anomali *Bouguer* daerah Gunung Ciremai bervariasi antara 22 mGal sampai 50 mGal. Rentang nilai anomali dibedakan menjadi 3 daerah yaitu daerah anomali rendah, daerah anomali sedang dan daerah anomali tinggi. Daerah dengan anomali rendah memiliki rentang nilai densitas antara 22 mGal sampai 32 mGal yang ditunjukkan dengan warna ungu sampai biru tua yang tersebar pada timur, barat, dan timurlaut. Densitas rendah tersebut tersebar di daerah Sangkanhurip, Ciniru, Pejambon, dan Gunung Ciremai. Daerah yang memiliki anomali sedang ditandai oleh warna hijau muda sampai kuning dengan nilai densitas antara 32 mGal sampai 40 mGal yang tersebar pada timur, tenggara, barat,

utara, dan barat laut. Sebaran densitas tersebut tersebar pada daerah Gunung Putri, Gegerhalang, dan Gunung Dulang. Daerah dengan anomali tinggi memiliki nilai densitas antara 40 mGal sampai 50 mGal yang ditandai oleh warna oranye sampai merah yang tersebar pada baratdaya. Anomali *Bouguer* yang tinggi, kemungkinan berhubungan dengan *heat source* dari sistem panasbumi di daerah penelitian.

Selanjutnya akan dilakukan analisis spektrum untuk menentukan lebar jendela yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam pemisahan anomali regional dan anomali residual. Dalam penelitian ini digunakan tiga lintasan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Garis lintasan pada kontur anomali *Bouguer*

Berdasarkan analisis spektrum dari masing-masing lintasan didapatkan kedalaman regional dan kedalaman residual. Karena pada perhitungan analisa spektrum ini menggunakan tiga lintasan maka perlu untuk dilakukan perhitungan rata-rata dari ketiga nilai yang diperoleh. Sehingga untuk hasil perhitungan rata-rata nya dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Kedalaman anomali *bouguer* regional dan residual

Line	Kedalaman	
	Regional	Residual
Line A	4625.5	503.18
Line B	4598.8	376.06
Line C	3498.8	230.19

Rata-rata 4241.033 369.81

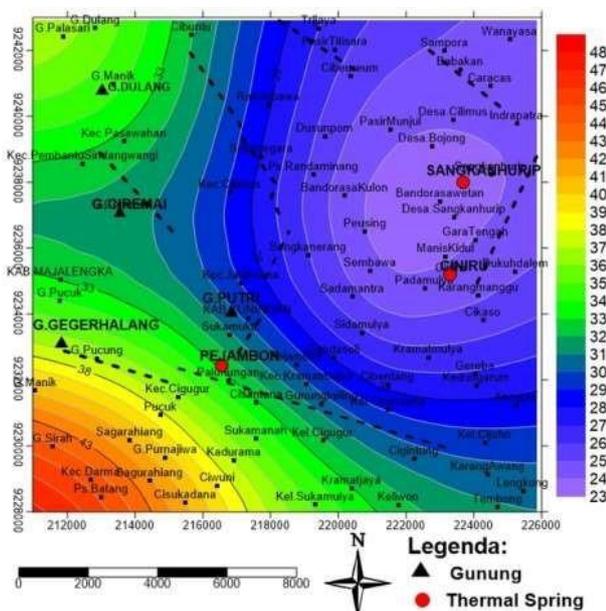
Dari hasil perhitungan rata-rata analisa spektrum maka diperoleh nilai rata-rata untuk kedalaman regional yaitu 4250 m dan untuk kedalaman residual yaitu 350 m, Berdasarkan analisa spektrum dari masing-masing lintasan di dapatkan nilai bilangan gelombang (k) dan nilai lebar jendela (N). Untuk mendapatkan nilai akhir untuk nilai bilangan gelombang (k) dan nilai lebar jendela (N) dicari nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Bilangan gelombang (k) dan lebar jendela

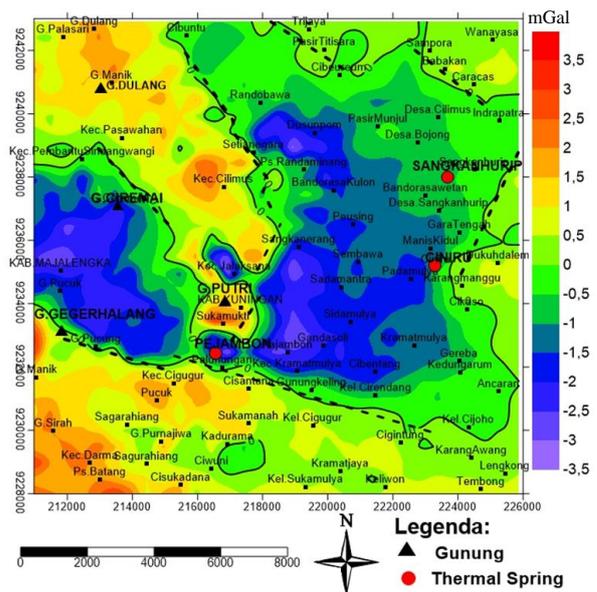
Line	Batas Regional Residual		Lebar Jendela
	X(K)	Lamda (N)	
Line A	0.000684663	9177.048	18.5021
Line B	0.000819373	7668.283	15.4602
Line C	0.001164165	5397.162	10.8814
Rata-rata	0.0008894	7414.164	14.9479

Berdasarkan tabel analisa spektrum, nilai estimasi lebar jendela yang didapat dari hasil perhitungan nilai rata-rata $K cut off$ yaitu 0.0008894 dan menunjukkan nilai N rata-rata sebesar 14,95. Dengan pembulatan ke ganjil terdekat maka nilai N yang digunakan untuk memisahkan anomali regional dan residual dengan menggunakan filter *Moving Average* (MA) adalah 15.

Hasil yang diperoleh yaitu anomali regional pada Gambar 4 dan anomali residual pada Gambar 5.



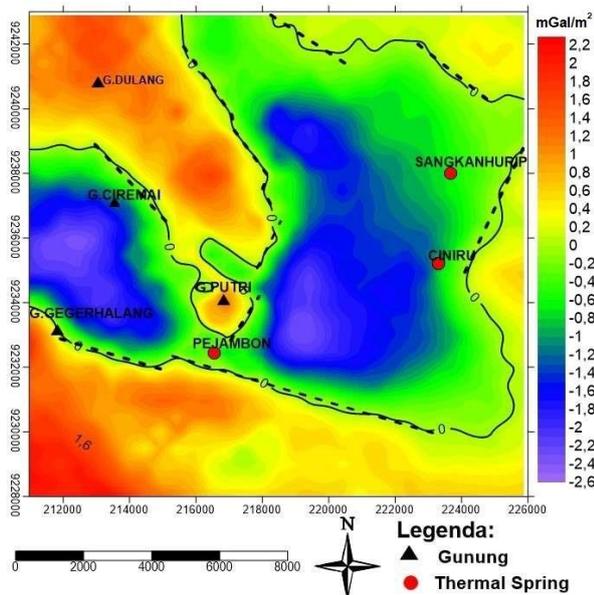
Gambar 4. Peta anomali regional daerah panasbumi Gunung Ciremai, Jawa Barat



Gambar 5. Peta anomali residual daerah panasbumi Gunung Ciremai, Jawa Barat

Peta anomali residual yang ditunjukkan oleh Gambar 5 mempunyai nilai dari 3.5 mGal sampai -3.5 mGal. Anomali rendah berada di daerah barat dan timur daerah penelitian, sedangkan anomali tinggi berada di daerah baratdaya dan barat laut daerah penelitian.

Selanjutnya dilakukan analisis SVD. Metode SVD untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal atau lokal dalam peta anomali residual. Metode SVD cukup efektif untuk mengetahui diskontinuitas dari struktur bawah permukaan khususnya untuk mengetahui adanya patahan pada suatu area penelitian. Pada metode SVD anomali yang disebabkan oleh struktur geologi akan memiliki nilai mutlak maksimum dan nilai mutlak minimum serta dibatasi dengan nilai nol atau mendekati nilai nol sebagai batas karakteristik geologi. Pada penelitian ini analisis dengan menggunakan metode SVD dilakukan pada *software Surfer* menggunakan operator matriks Elkins 5 x 5 dengan input anomali residual untuk memunculkan efek-efek anomali dangkal.



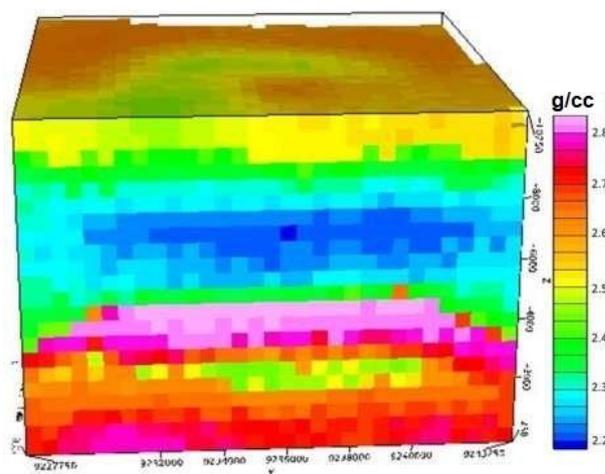
Gambar 6. Peta *Second Vertical Derivative* (SVD) anomali residual daerah panasbumi Gunung Ciremai Jawa Barat

Pada Gambar 6 menunjukkan rentang nilai anomali pada peta SVD mulai dari -2,6 mGal hingga 2,2 mGal. Dimana nilai anomali 0 diduga dapat mengindikasikan adanya perbedaan densitas lapisan yang disebabkan oleh adanya patahan atau intrusi batuan. Nilai anomali 0 pada peta SVD mempunyai pola yang hampir sama dengan pola yang terdapat pada peta residual hal ini menjelaskan bahwa filter yang digunakan dalam analisis SVD sudah tepat. Nilai anomali pada peta SVD dengan nilai 0 ditunjukkan antara warna kuning dan warna hijau yang dapat mengindikasikan adanya sesar atau patahan pada daerah penelitian.

Jika diperhatikan nilai nol pada peta SVD yang diidentifikasi sebagai keterdapatannya adanya sesar atau patahan berada di sebelah timur dari daerah penelitian dan juga di sebelah barat dari daerah penelitian. Sehingga untuk membuktikannya harus dibandingkan dengan peta geologi dari daerah penelitian. Dan jika di perhatikan bahwa pada peta geologi daerah penelitian pada sebelah timur terdapat *strike-slip fault* yang diduga sebagai jalan keluarnya manifestasi panasbumi Sangkanhurip dan Ciniru. Selain itu ditemukan juga adanya *burried fault* di sepanjang patahan di sebelah timur daerah penelitian yang merupakan sesar aktif yang dapat menyebabkan terjadinya gempa. Sedangkan di sebelah barat dari daerah penelitian terdapat *strike-slip fault* atau patahan sebagai jalur keluarnya manifestasi panasbumi Pejambon. Pada

peta geologi juga dapat dilihat pada bagian barat daerah penelitian terdapat *reverse fault*. Sehingga berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa analisis SVD pada penelitian ini sudah sesuai karena berkorelasi dengan peta geologi dari daerah penelitian.

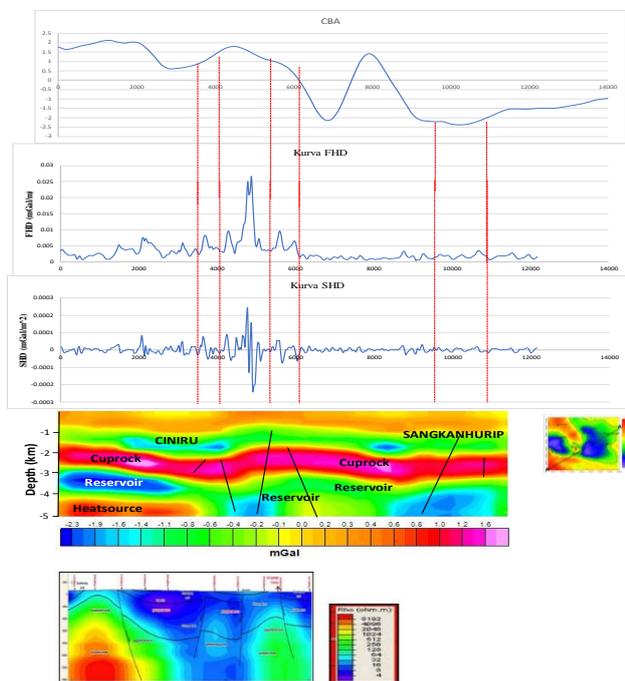
Kemudian dibuat modelan 3D untuk melihat sebaran densitas di bawah permukaan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Pemodelan 3D gravity, dibuat dengan menggunakan *software Grablox 1.7* yang dibagi menjadi 20 blok sumbu X dan Y, dan 10 blok untuk sumbu Z sehingga total blok yang dihasilkan yaitu sebanyak 4000 blok. Model daerah penelitian dimodelkan 14 km ke arah timur (sumbu X), 14 km ke arah utara (sumbu Y) dengan target kedalaman model 3D adalah 5 km ke arah vertikal (sumbu Z).



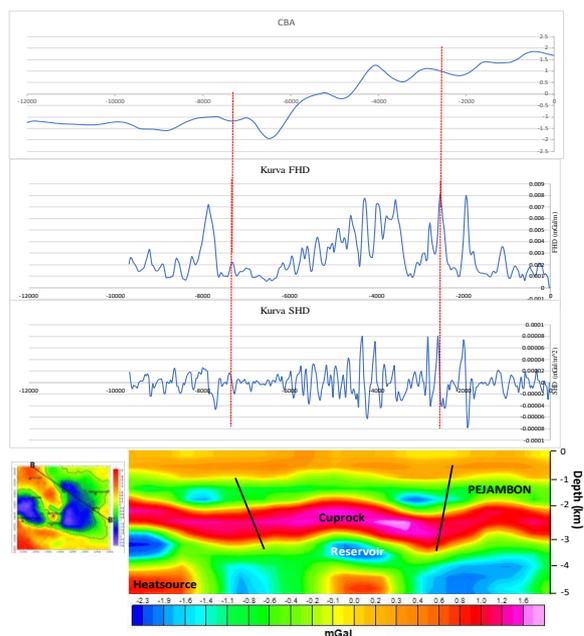
Gambar 7. Model distribusi densitas bawah permukaan hasil inversi 3D anomali Residual

Dari Gambar 7 di atas dapat dilihat nilai densitas batuan dari model daerah penelitian. Batuan dengan densitas rendah ditunjukkan oleh warna biru dengan nilai densitas 2,2 g/cc sampai 2,3 g/cc. Densitas rendah tersebar pada kedalaman 0,5 km hingga kedalaman 3 km di bawah permukaan. Batuan dengan densitas tinggi memiliki densitas 2,6 g/cc sampai 2,8 g/cc. Batuan dengan densitas tinggi diperkirakan sebagai zona *heat source* pada sistem panasbumi karena dapat diinterpretasikan sebagai batuan vulkanik produk hasil dari Gunung Ciremai, Gunung Putri, dan Gunung Gegerhalang. Adanya manifestasi di daerah penelitian ini memiliki nilai densitas batuan yang rendah. Kemunculan manifestasi di daerah penelitian ini dikontrol oleh struktur geologi daerah penelitian seperti sesar dan patahan.

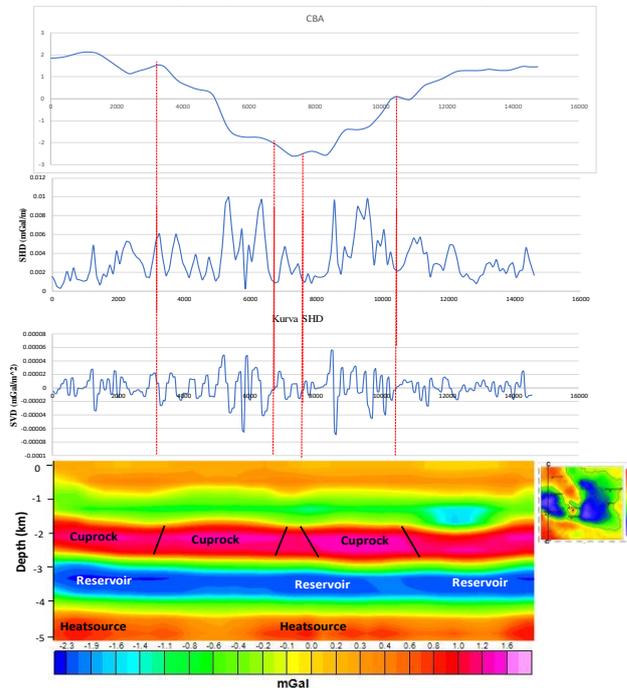
Untuk melihat struktur bawah permukaan dari daerah penelitian, maka di lakukan *slicing* untuk setiap lintasannya. Proses *slicing* dilakukan untuk mendapatkan profil penampang lintasan yang terdapat sesar maupun patahan serta area yang berpotensi terdapat *reservoir* panasbumi.



Gambar 8. Profil penampang FHD dan SVD pada lintasan A-A', Penampang model distribusi densitas hasil *slicing* 3D inversi model, hasil interpretasi keberadaan patahan dan prospek *reservoir* di daerah penelitian dan model penampang MT 2-D



Gambar 9. Profil penampang FHD dan SVD pada lintasan B-B', Penampang model distribusi densitas hasil *slicing* 3D inversi model dan hasil interpretasi keberadaan patahan dan prospek *reservoir* di daerah penelitian



Gambar 10. Profil penampang FHD dan SVD pada lintasan C-C', Penampang model distribusi densitas hasil *slicing* 3D inversi model dan hasil interpretasi keberadaan patahan dan prospek *reservoir* di daerah penelitian

Berdasarkan *slicing* lintasan A-A' yang ditunjukkan oleh Gambar 8 diperoleh kurva FHD dan SVD yang dapat digunakan sebagai acuan

dalam melakukan interpretasi patahan atau sesar. Dalam analisis ini maka yang perlu diperhatikan adalah untuk nilai FHD minimum atau maksimum dan nilai SVD = 0 maka di daerah tersebut dapat diinterpretasikan adanya sesar atau patahan. Pada sayatan penampang *slicing* A-A' melintasi daerah manifestasi, produk vulkanik, dan satuan lava vulkanik. Dari hasil *slicing* pada lintasan A-A' diperoleh korelasi antara kurva FHD dan kurva SVD.

Struktur geologi pada *slicing* A-A' menunjukkan adanya *reverse fault* dan sesar mendatar pada bagian barat Gunung Ciremai. Jika dilihat berdasarkan peta geologi maka arah utama struktur geologi di Gunung Ciremai hampir NW-SE yang membedah Ciremai Muda produk vulkanik. Selain itu, ada juga sesar berarah barat-timur sebagai kelurusan lama Kaldera Ciremai yang menghasilkan prospek panasbumi Sangkanhurip dan Pejambon di bagian timur Gunung Ciremai. Selain itu sebaran densitas tinggi diduga berperan sebagai *heat source*. Pada hasil *slicing* A-A' juga terlihat bahwa terdapat batuan penudung atau *caprock* yang terpatahkan sehingga memungkinkan munculnya *reservoir* dangkal pada daerah penelitian. Pada kedalaman 3 km dan 5 km terdapat densitas rendah dengan nilai densitas 2,2 g/cc sampai 2,3 g/cc, yang diduga merupakan *reservoir* panasbumi yang berperan sebagai munculnya manifestasi panasbumi Pejambon dan manifestasi panasbumi Sangkanhurip. Pada hasil *slicing* A-A' juga terdapat sebaran densitas tinggi berkisar antara 2,6 g/cc sampai 2,7 g/cc pada kedalaman 4,9-5 km yang diduga sebagai *heat source*. Selain itu, terdapat sebaran densitas yang sangat tinggi sekitar 2,7 g/cc sampai 2,8 g/cc pada kedalaman 1,7-2,8 km yang diduga sebagai *caprock* di daerah penelitian.

Dari model penampang pada pemodelan 3D gravity pada lintasan A-A' ditemukan juga adanya zona *reservoir* dalam dan *reservoir* dangkal. Dapat diamati bahwa zona *reservoir* dalam berada pada kedalaman 3 km dan merupakan daerah yang dekat dengan zona *heat source*. Kemunculan *reservoir* dalam dan *reservoir* dangkal ini disebabkan oleh aktivitas gunungapi Ciremai yang melewati 4 periode. Sehingga memungkinkan adanya timbunan produk vulkanik yang semakin lama membentuk zona *caprock*. Kemudian terpanaskan dan terpatahkan sehingga membentuk jalur lewatnya panas dari dalam gunungapi Ciremai. Sehingga hal tersebut memungkinkan munculnya

reservoir dangkal yang ditemukan pada kedalaman 1 km.

Model penampang konseptual panasbumi Gunung Ciremai, menunjukkan adanya lapisan batuan yang bersumber dari erupsi Gunung Putri dan Gunung Gegerhalang. Satuan batuan terdiri dari leleran lava andesit, aliran piroklastik. Dan juga terdiri dari endapan hasil erupsi yang berasosiasi dengan pembentukan Kaldera Ciremai, dengan produk erupsi yang pada umumnya terdiri dari batuapung. Keberadaan fluida yang terkandung dalam *reservoir* panasbumi mempunyai porositas yang tinggi sehingga batuan yang ada memiliki densitas rendah. Pada Gambar 8 menunjukkan adanya korelasi antara model penampang lintasan A-A' dan model penampang MT2-D. Pada model penampang MT2-D terlihat adanya zona vulkanik yang berperan sebagai *heat source* dan adanya zona prospek.

Sayatan penampang *slicing* B-B' yang ditunjukkan oleh Gambar 9 melintasi produk vulkanik berupa batuan vulkanik, satuan lava vulkanik, dan manifestasi. Pada hasil *slicing* terdapat densitas bawah permukaan yang diduga sebagai *reservoir* dalam dengan kedalaman sekitar 3,5 km sampai 4 km yang ditandai dengan warna biru dengan densitas 2,2 g/cc sampai 2,3 g/cc. Densitas rendah tersebut diduga sebagai *reservoir* panasbumi yang berperan sebagai munculnya manifestasi panasbumi Ciniru. Keberadaan fluida yang terkandung dalam *reservoir* panasbumi mempunyai porositas yang tinggi sehingga batuan yang ada memiliki densitas rendah. Pada hasil *slicing* B-B' juga terdapat sebaran densitas tinggi berkisar antara 2,6 g/cc sampai 2,7 g/cc pada kedalaman 4,5-5 km yang diduga sebagai *heat source*. Dan juga terdapat sebaran densitas yang sangat tinggi sekitar 2,7 g/cc sampai 2,8 g/cc pada kedalaman 2-3 km yang diduga sebagai *caprock* di daerah penelitian.

Berdasarkan model penampang pada pemodelan 3D gravity pada lintasan B-B' Gambar 9 ditemukan juga adanya zona *reservoir* dalam dan *reservoir* dangkal. Dapat diamati bahwa zona *reservoir* dalam berada pada kedalaman 3-4 km dan merupakan daerah yang dekat dengan zona *heat source*. Kemunculan *reservoir* dalam dan *reservoir* dangkal ini disebabkan oleh aktivitas gunungapi Ciremai yang melewati 4 periode. Sehingga memungkinkan adanya timbunan produk vulkanik yang semakin lama membentuk zona *caprock*.

Kemudian terpanaskan dan terpatahkan sehingga membentuk jalur lewatnya panas dari dalam gunungapi Ciremai. Sehingga hal tersebut memungkinkan munculnya *reservoir* dangkal yang ditemukan pada kedalaman 1,5 km.

Model penampang konseptual panasbumi di Gunung Ciremai, menunjukkan adanya lapisan batuan yang berumur Miosen Tengah hingga Plistosen yaitu formasi Ciherang, produk Gunung Ciremai dan produk Gunung Gegerhalang berupa leleran lava, aliran piroklastik, dan jatuhnya piroklastik. Keberadaan fluida yang terkandung dalam *reservoir* panasbumi mempunyai porositas yang tinggi sehingga batuan yang ada memiliki densitas rendah.

Berdasarkan model penampang 3D pada *slicing* C-C' Gambar 10 terdapat korelasi FHD dan SVD dengan model distribusi densitas bawah permukaan ditemukan hasil yang sesuai, dimana nilai FHD maksimum atau minimum dengan nilai SVD = 0 dan juga terdapat distribusi densitas rendah dan tinggi. Struktur geologi pada *slicing* lintasan C-C' menunjukkan adanya sesar naik pada bagian barat *slicing*. Pada *slicing* lintasan C-C' terdapat distribusi densitas rendah yang diduga sebagai *reservoir* yang berfungsi sebagai pemunculan manifestasi panasbumi Pejambon.

Pada *slicing* lintasan C-C' yang ditunjukkan oleh Gambar 10, terdapat distribusi densitas rendah pada kedalaman 3-4 km yang diduga sebagai zona *reservoir* yang ditandai dengan warna biru dengan nilai densitas yaitu 2,2 g/cc sampai 2,3 g/cc. Selain sebaran densitas rendah juga terdapat sebaran densitas yang sangat tinggi sekitar 2,7 g/cc sampai 2,8 g/cc yang diduga sebagai *caprock* pada kedalaman 1,5-2,5 km dan pada kedalaman 4-5 km dijumpai distribusi densitas tinggi sekitar 2,6 g/cc sampai 2,7 g/cc yang diduga berperan sebagai *heat source* di daerah penelitian. Terdapat lapisan batuan yang berasal dari produk vulkanik Gunung Gegerhalang berupa, aliran piroklastik, leleran lava dan jatuhnya piroklastik. Terdapat juga produk vulkanik dari Gunung Ciremai berupa batuan apung, endapan aliran piroklastik, endapan jatuhnya piroklastik, lava Ciremai, endapan jatuhnya Ciremai, endapan lahar Ciremai. Pada bagian utara *slicing* juga terdapat produk vulkanik dari Gunung Dulang berupa basal, porfiritik, dengan fenokris plagioklas dan piroksen yang tertanam dalam massa dasar yang terdiri dari mikrolit feldspar. Lelehan lava ini

berstruktur bongkah, menyebar ke arah utara, dan tersingkap baik di sekitar Gunung Dulang. Keberadaan fluida yang terkandung dalam *reservoir* panasbumi mempunyai porositas yang tinggi sehingga batuan yang ada memiliki densitas rendah.

Berdasarkan model penampang pada pemodelan 3D gravity pada lintasan C-C' didominasi oleh zona *reservoir* dalam. Dapat diamati bahwa zona *reservoir* dalam berada pada kedalaman 3-4 km dan merupakan daerah yang dekat dengan zona *heat source*. Namun pada kedalaman 1 km ditemukan adanya densitas rendah yang dibatasi oleh densitas tinggi, dimana densitas tinggi tersebut diduga sebagai *caprock*. Kemunculan *reservoir* dalam kemungkinan disebabkan oleh aktivitas gunungapi Ciremai yang melewati 4 periode. Sehingga memungkinkan adanya timbunan produk vulkanik yang semakin lama membentuk zona *caprock*. Kemudian terpanaskan dan terpatahkan sehingga membentuk jalur lewatnya panas dari dalam gunungapi Ciremai. Sehingga hal tersebut memungkinkan munculnya densitas rendah yang diduga sebagai *reservoir* dangkal yang ditemukan pada kedalaman 1 km.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Anomali *Bouguer* daerah Gunung Ciremai mempunyai rentang nilai 22-50 mGal dan densitas rata-rata permukaan 2,314 g/cc, sebaran anomali tinggi ditemukan di baratdaya dan barat laut yaitu di sekitar Gunung Gegerhalang dan Gunung Dulang dan anomali rendah ditemukan dibagian timur, barat, dan timurlaut dari Gunung Ciremai. Sebaran anomali rendah mendominasi daerah manifestasi Sangkanhurip, Ciniru, dan Pejambon. Berdasarkan hasil analisis spektrum pada daerah penelitian maka diperoleh kedalaman rata-rata anomali regional di daerah Gunung Ciremai adalah 4250 meter dan untuk kedalaman residual sebesar 350 meter. Hasil analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) menunjukkan nilai nol sebagai batas karakteristik geologi yaitu adanya sesar serta perbedaan sifat fisis dari densitas batuan. Struktur sesar yang teridentifikasi merupakan sesar mendatar yang berarah pada bagian barat Gunung Ciremai dan sesar normal yang berarah barat laut-tenggara. Berdasarkan korelasi dengan peta geologi, struktur geologi tersebut merupakan sesar aktif Cilacap-

Kuningan serta manifestasi yang dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar normal pada daerah penelitian berupa mata air panas yang terdapat pada mata air panas Ciniru. Berdasarkan pemodelan 3D ditemukan zona prospek *reservoir* dalam dan dangkal di daerah panasbumi Gunung Ciremai. Zona *reservoir* dalam terdapat pada kedalaman 3-4 km hingga dengan densitas 2,2-2,3 g/cc dan *reservoir* dangkal pada kedalaman 1-1,5 km, zona *heat source* berada pada kedalaman 4-5 km dengan densitas 2,6-2,7 g/cc, sedangkan untuk zona *caprock* terdapat pada kedalaman 1,5-3 km dengan nilai densitas 2,7-2,8 g/cc. Dari hasil pengolahan maka manifestasi panasbumi Gunung Ciremai terdapat pada tiga titik yaitu manifestasi Pejambon, Ciniru, dan Sangkanhurip.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *GGMPlus* dan DEMNAS yang telah mendukung ketersediaan data yang dapat digunakan dalam penelitian ini. Juga kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi bimbingan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Diyanti, 2014, Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat. (*Skripsi*) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
- Hinze, W.J., von Freses, R.R.B., and Saad, A.H. 2012. *Gravity and Magnetic Exploration*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- Saibi, H., Nishijima, J., Ehara, S., dan Aboud, E., 2006. Integrated Gradient Interpretation Techniques for 2D and 3D Gravity Data Interpretation, *Earth Planets Space*, 58, 815-821
- Sari, I.P. 2012. Study Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Regional dan Residual Dari Data Anomali Bouguer. (*Skripsi*) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Indonesia. Depok.
- Sarkowi, M., 2010, Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer, *Jurnal Sains MIPA*, Vol. 16, No.2, Hal.; 111-118
- Sarkowi, M., 2014, Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer, *Jurnal Sains MIPA*, Vol. 16, No.2, Hal.:111-118.
- Sarkowi, M., Yusuf, M., dan Minardi, S., 2023, Identifikasi Struktur Iliran High Sumatera Selatan Berdasarkan Analisa Anomali Gravity, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol 09, No.2, hal. 150-160.
- Situmorang, T., Hadisantono, R.D., & Asmoro, P. 1984. *Peta Geologi Gunungapi Ciremai, Jawa Barat*. Direktorat Vulkanologi
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Widarto, D.S., Indarto, S., dan Gaffar, E.Z. 2003. "Hasil Awal Geotermometri Kimia Air Panas Lapangan Panasbumi Gedongsongo di Lereng Selatan Gunung Ungaran, Jawa Tengah", *Buletin Geologi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
-