



Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Horizontal Gradient, Euler Deconvolution and Second Vertical Derivative*. Studi Eksplorasi Panas Bumi Baturaden, Jawa Tengah

Edy Wijanarko, Djoko Sunarjanto, dan Dian Nur

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Artikel Info:

Naskah Diterima:
22 Januari 2021
Diterima setelah
perbaikan:
11 Maret 2021
Disetujui terbit:
30 April 2021

Kata Kunci:

gravitasi
panas bumi
baturaden

ABSTRAK

Studi pendahuluan eksplorasi geothermal untuk mencari potensi sumber energi panasbumi telah dilakukan di daerah Baturaden dan sekitarnya menggunakan metode *Horizontal Gradient (HG) Euler Deconvolution (ED)* dan *Second Vertical Derivative (SVD)*. Pengukuran alir bahang dan analisis data gravitasi atau gayaberat telah dilakukan untuk menggambarkan profil struktur geologinya seperti sesar, konfigurasi batuan dasar dan instruksi batuan beku. Keberadaan sistem panas bumi diidentifikasi dari keberadaan struktur geologi yang mengontrol daerah tersebut. Penentuan kontak batuan di bawah permukaan bumi dan perkiraan kedalaman anomali serta jenis struktur sesar telah dilakukan. Hasil studi menunjukkan puncak reservoir terdapat pada kedalaman mulai dari 400 m ke bawah. Kedalaman reservoir dangkal panasbumi yang teridentifikasi kurang dari 750 m terdapat di Baturaden, Limpakuwus, Gunung Cendana, Rempowah, yang merupakan daerah dengan nilai alir bahang tinggi ($> 12, 50$ HFU). Terdapat dua daerah prospek panasbumi yang terletak di wilayah Baturaden - Limpakuwus di bagian Utara dan wilayah Gunung Cendana dan di bagian Selatan daerah penelitian. Integrasi data gayaberat dengan model geologi daerah penelitian diharapkan dapat menghasilkan data dan informasi untuk eksplorasi dan pengembangan panasbumi daerah Baturaden - Gunung Cendana dan sekitarnya.

© LPMGB - 2021

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Lokakarya Energi 1980 merekomendasikan langkah-langkah penghematan penggunaan minyak bumi dan dikembangkan sumber-sumber lainnya seperti batubara, tenaga air, tenaga angin, tenaga panasbumi, tenaga nuklir (Komite Nasional Indonesia *World Energy Conference*, 1980). Sudah lebih dari empat puluh tahun sejak pencanangan tersebut, namun penyediaan sumber energi selain

migas masih belum terlihat peningkatan peranannya dalam memenuhi permintaan kebutuhan energi Indonesia.

Penyediaan Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti tenaga air, panasbumi, angin, biomassa, surya, samudera dan uranium menunjukkan bahwa potensi EBT di Indonesia cukup besar. Masing-masing potensi energi tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda dan hingga saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Potensi EBT itu banyak dipengaruhi oleh kondisi geologi suatu daerah seperti tenaga air, panasbumi, samudra, selain itu juga dipengaruhi oleh kandungan bahan galian

Korespondensi:

E-mail: edy.wijanarko@esdm.go.id (Edy Wijanarko)

atau mineral seperti uranium. Tabel 1 disajikan potensi sumberdaya panasbumi sebesar 28.900 MW.

Potensi energi yang besar seperti panasbumi akan maksimal penggunaannya jika eksplorasi dilakukan secara berkesinambungan dan konsisten. Eksplorasi awal ataupun lanjutan bisa dilakukan dengan berbagai metode geologi, geofisika dan geokimia. Metode geofisika yang bisa digunakan salah satunya adalah metode gravitasi dan alir bahang. Pada metode gravitasi bisa dilakukan berbagai pengolahan data lanjutan sehingga didapatkan parameter untuk interpretasi yang lebih baik. Pengolahan lanjutan dilakukan dengan analisis metode *Horizontal Gradient* dan *Second Vertical Derivative*. Kemudian metode alir bahang umumnya digunakan untuk mengetahui aliran panas, landaian suhu dan prediksi puncak reservoir pada daerah prospek geothermal.

Penyelidikan panasbumi daerah Gunung Slamet, Jawa Tengah, dimulai sejak tahun 1990 – 1992 oleh Direktorat Vulkanologi. Beberapa kegiatan survei yang pernah dilakukan adalah pengukuran gayaberat dan geolistrik, penyelidikan geologi dan geokimia, pemboran dan pengukuran landaian suhu, dan pengujian sifat fisik dan kimia sumur landaian suhu di daerah panasbumi Guci (Kusnadi, dkk., 1991). Kegiatan lainnya Penelitian Alir Panas Daerah Baturaden Jawa Tengah oleh Siswoyo dkk., (1998).

Dengan banyak dijumpai ubahan hidrotermal, hasil gradien pada tiga pola yang relatif tinggi dapat merupakan pola gradien pada daerah indikasi panasbumi. Dengan referensi gradien termal yang ketiga dengan rentang 10.09–14.09°C/m, maka dapat diprediksi kedalaman dan temperatur reservoirnya berdasarkan metoda Na-K-Ca-Mg (Giggenbach, 1988) sebesar 208°C.

B. Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian untuk prospeksi panasbumi sebagai tahapan eksplorasi panasbumi. Bertujuan melakukan integrasi data gayaberat dengan model geologi guna menghasilkan data eksplorasi dan pengembangan panasbumi yang lebih rinci daerah penelitian. Selanjutnya capaian yang diinginkan adalah teridentifikasinya reservoir dangkal panas bumi Wilayah Baturaden, Jawa Tengah.

BAHAN DAN METODE

Metode penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1 tentang tahapan dan metode teknis yang digunakan.

Tabel 1
Potensi EBT di Indonesia

No.	Jenis EBT	Potensi Sumberdaya
1	Hidro	75.000 MW
2	Panasbumi	28.910 MW
3	Biomassa	32.654 MW
4	Surya	4,8 kWh/m ² /hari
5	Samudera	49 GW
6	Uranium	3.000 MW

Metode yang dipilih mampu mengetahui kontak *body* batuan di bawah permukaan bumi dengan masukan berupa peta kontur anomali gayaberat. Peta kontur yang dihasilkan digabungkan dengan hasil analisis metode *Euler Deconvolution* (ED) dan alir bahang untuk mendeteksi perkiraan kedalaman anomali tersebut.

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data gravitasi dan alir bahang. Data gaya berat didapatkan dari *topex* berupa anomali udara bebas (*free air anomaly*) sementara data alir bahang *heatflow* diperoleh dari pengukuran secara langsung. Data pendukung seperti informasi geologi atau data geokimia diperoleh dari kajian literatur.

A. Prinsip Dasar Metode Gayaberat

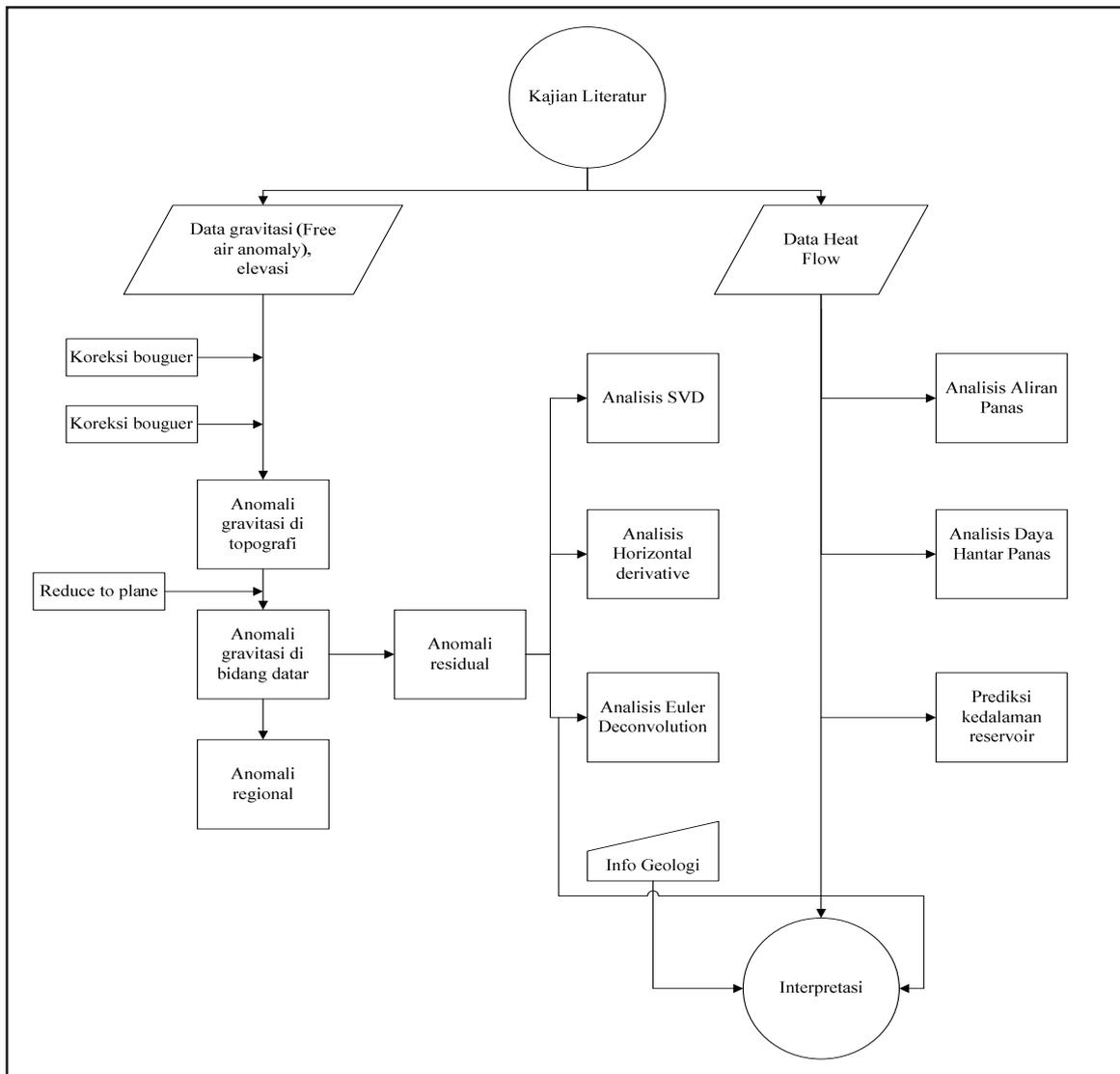
Menurut Telford, dkk (1990) prinsip dasar metode gayaberat merupakan aplikasi dari hukum Newton. Dua buah benda dengan massa tertentu (m) yang dipisahkan oleh jarak tertentu, maka akan terjadi gaya tarik menarik (F) antara kedua benda tersebut. Besar gaya tarik menarik suatu benda terhadap bumi dengan jarak tertentu (r) dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Dengan merupakan gaya tarik-menarik (N), G konstanta gayaberat universal= 6.67×10^{-11} (Nm²/kg²), massa benda satu (kg), massa benda dua (kg), r jarak di antara kedua pusat massa benda (m) dan merupakan vektor unit yang berarah dari m_2 menuju m_1 .

B. *Horizontal Gradient/Derivative* (HG)

Horizontal Gradient (HG) merupakan perubahan nilai gravitasi antara satu titik amat ke titik amat



Gambar 1
Diagram alir metode penelitian.

lainnya secara horizontal. Metode HG dapat digunakan untuk mencari batas kontras densitas dari data gravitasi. Gradien horizontal dari anomali gravitasi yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari bodinya tersebut. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak kontras densitas horizontal dari data gravitasi (Cordell, 1979).

Metode HG memiliki suatu keunggulan dari metode lainnya, yaitu tidak rentan terhadap *noise*. Hal ini dikarenakan bahwa metode ini hanya memerlukan perhitungan turunan Horizontal pertama yang dikuadratkan dari suatu data (Salem, 2005). Metode ini juga baik untuk mendelineasi sumber anomali dangkal dan dalam, jika dibandingkan dengan metode gradien vertikal yang biasanya hanya

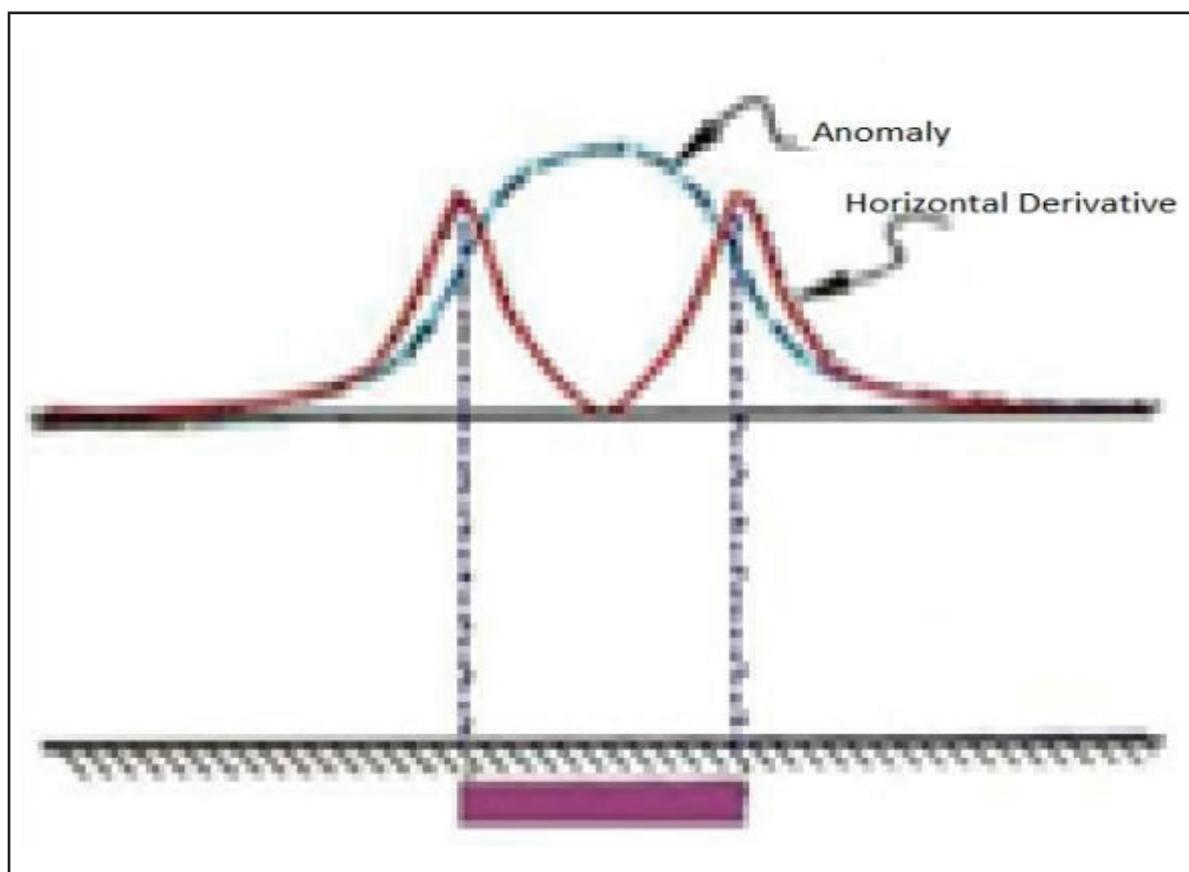
mengidentifikasi struktur yang dangkal. Amplitudo dari HG dapat ditunjukkan dari persamaan berikut (2) (Cordell & Grauch, 1985):

$$HG = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

Dengan HG nilai *Horizontal Gradient*, $\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$ ialah turunan nilai gravitasi terhadap sumbu x, dan $\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$ merupakan turunan nilai gravitasi terhadap sumbu y.

C. *Second Vertical Derivative (SVD)*

Metode SVD dapat diterapkan pada anomali gravitasi yang bebas *noise* untuk menentukan jenis sesar. Dalam menggunakan SVD, langkah awal yang dilakukan adalah dengan menarik garis lurus



Gambar 2
 Nilai gradien horizontal pada suatu model tabular (Blakely, 1996).

yang tegak lurus terhadap garis sesar yang telah diinterpretasikan oleh metode HG dan ED. Secara teoritis metode SVD diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gravitasi di permukaan, yang dituliskan dalam persamaan (3):

$$\nabla^2 g = \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

Persamaan gradien vertikal dapat dirumuskan seperti pada persamaan (4):

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \quad (4)$$

Nilai SVD dari suatu anomali gravitasi sama dengan negatif dari nilai *Second Horizontal Derivative* (SHD). Anomali yang disebabkan oleh struktur sesar naik mempunyai nilai harga mutlak minimal SVD yang selalu lebih besar dari pada harga maksimal. Sedangkan anomali yang disebabkan struktur sesar turun akan mempunyai nilai harga

maksimal lebih besar dibandingkan dengan harga mutlak minimal.

D. Euler Deconvolution (ED)

ED adalah suatu metode untuk menghasilkan suatu peta yang menampilkan lokasi dan kedalaman sumber anomali dari sebuah medan potensial. Prinsip dari pengolahan data ini berdasarkan persamaan (5) sebagai berikut (Reid, dkk., 1990):

$$(x - x_0) \left(\frac{\partial G}{\partial x} \right) + (y - y_0) \left(\frac{\partial G}{\partial y} \right) + (z - z_0) \left(\frac{\partial G}{\partial z} \right) = N (B - G) \quad (5)$$

Sumber Anomali x_0, y_0, z_0 dan B dapat dihitung dengan menyelesaikan persamaan linier yang dihasilkan. Dengan (x_0, y_0, z_0) merupakan posisi sumber medan gravitasi yang terdeteksi pada posisi (x, y, z) , N struktur indeks (SI), B nilai anomali medan potensial dan G merupakan nilai gravitasi observasi. Persamaan (5) dibuat dalam matrik (persamaan (6)) untuk memudahkan perhitungan.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x_1} & \frac{\partial G}{\partial y_1} & \frac{\partial G}{\partial z_1} & N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial G}{\partial x_n} & \frac{\partial G}{\partial y_n} & \frac{\partial G}{\partial z_n} & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x_1} + \frac{\partial G}{\partial y_1} + \frac{\partial G}{\partial z_1} + NG \\ \vdots \\ \frac{\partial G}{\partial x_n} + \frac{\partial G}{\partial y_n} + \frac{\partial G}{\partial z_n} + NG \end{bmatrix} \quad (6)$$

Persamaan (6) disederhanakan menjadi:

$$d = Gm \quad (7)$$

$$G^T d = GG^T m \quad (8)$$

$$m = (G^T G)^{-1} G^T d$$

dengan

$$d = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x_1} + \frac{\partial G}{\partial y_1} + \frac{\partial G}{\partial z_1} + NG \\ \vdots \\ \frac{\partial G}{\partial x_n} + \frac{\partial G}{\partial y_n} + \frac{\partial G}{\partial z_n} + NG \end{bmatrix}, \quad m = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ B \end{bmatrix} \quad \text{dan}$$

$$g = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x_1} & \frac{\partial G}{\partial y_1} & \frac{\partial G}{\partial z_1} & N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial G}{\partial x_n} & \frac{\partial G}{\partial y_n} & \frac{\partial G}{\partial z_n} & N \end{bmatrix}$$

Pertama harus diperhatikan struktur apa yang akan dicari. Hal ini terkait dengan jenis sumber dan indeks struktural yang akan digunakan dalam perhitungan. Tabel 2 merangkum indeks struktural untuk model sederhana pada medan magnet dan medan gravitasi.

E. Geothermal Heat flow

Perambatan panas secara konduksi disebut alir bahang. Bumi pada bagian dalamnya merupakan benda panas sedangkan permukaan bumi terbungkus oleh lapisan atmosfer yang relatif lebih dingin, pengukuran panas dilakukan di permukaan bumi. Panas merambat melalui kerak bumi yang berupa lempeng batuan dengan cara konduksi. Pakar *Heat flow* antara lain Birch (1954) dan Smith (1973) menyatakan bahwa nilai alir bahang rata-rata di muka bumi adalah $1,5 \pm 0,5$ HFU (*Heat Flow Unit*) atau mempunyai kisaran umum antara 1 sampai 2 HFU. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata landaian suhu kerak bumi yaitu $30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ dan konduktivitas batuan 5 HCU (*Heat Conductivity Unit*). Variasi nilai alir bahang lebih banyak disebabkan oleh landaian suhu daripada konduktivitas batuan yang relatif konstan. Nilai landaian suhu sangat terpengaruh oleh ketebalan kerak bumi. Pada daerah kerak bumi tipis akan memberikan nilai landaian suhu yang

Tabel 2
Indeks struktur untuk model magnetik dan model gravitasi (Whitehead, 2005)

SI	Magnetic Field	Gravity Field
0	Contact	Sill/Dyke/Step
0.5	Thick Step	Ribbon
1	Sill/Dyke	Pipe
2	Pipe	Sphere
3	Sphere	

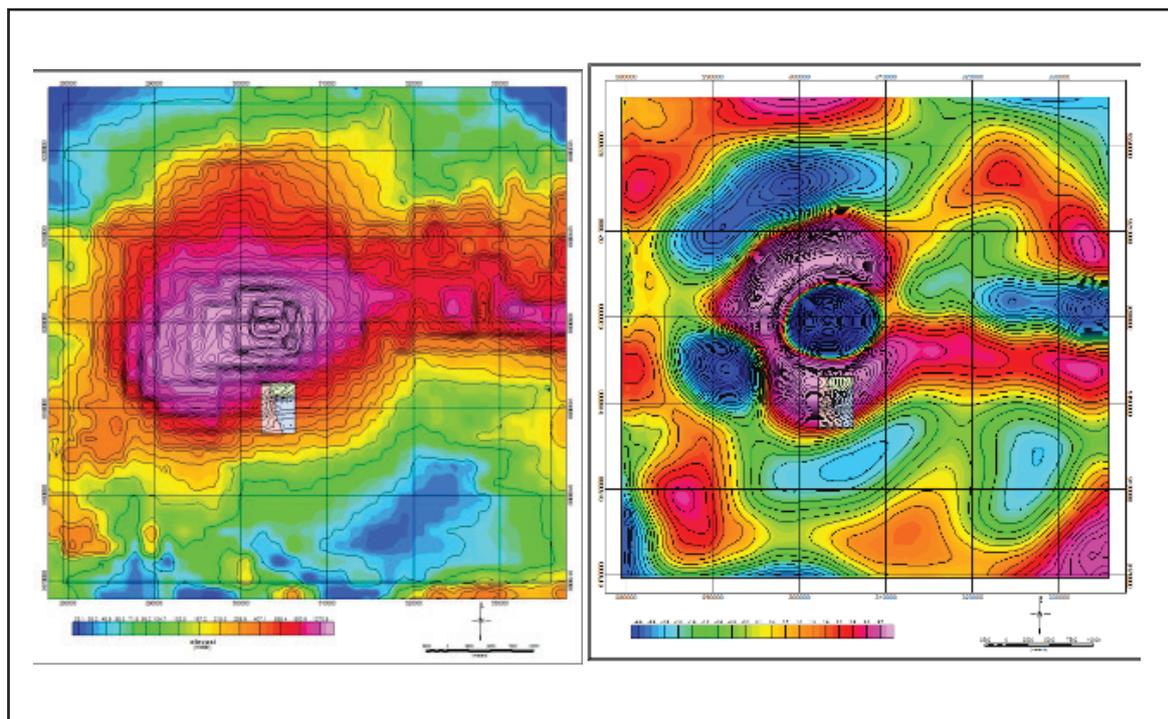
besar sehingga menghasilkan alir panas yang tinggi. Anomali panas yang tinggi dipermukaan bumi antara lain dapat terjadi karena:

- Daerah seismik aktif
- Daerah yang mempunyai unsur radioaktif tinggi
- Jalur gunung api
- Daerah geothermal/hidrotermal.

HASIL DAN DISKUSI

Reswana & Sehad (2014) menyebutkan bahwa sumber magma Gunung Slamet berasal dari magma andesit. Beberapa sesar yang ada diduga sebagai jalan bagi fluida untuk mengalir ke atas sebagai manifestasi air panas. Sementara Pasha, dkk (2015) menyebutkan karakterisasi batuan intrusi di Gunung Slamet berdasarkan analisis *X-ray Fluorescence* (XRF) adalah andesit dan diorite. Berdasarkan peta elevasi dan anomali bouguer residual yang terdapat pada Gambar 3 patut diduga magma andesit yang berperan sebagai sumber panas tidak hanya dijumpai pada bawah kaldera tetapi bisa diperkirakan terdapat dibagian barat laut dan barat daya dari puncak Gunung Slamet. Hal ini dicirikan dengan nilai elevasi tinggi dan anomali bouguer relatif rendah.

Nilai anomali gravitasi residual rendah diperkirakan mengindikasikan adanya magma andesit di bagian puncak Gunung Slamet serta bagian barat daya dan barat laut. Magma andesit akan mempengaruhi tipe fluida yang dihasilkan dari sistem panasbumi. Surmayadi (2014) mengelompokkan tipe kimia air di Baturaden sebagai tipe air klorida-sulfat. Tipe fluida ini merupakan bagian dari produk reservoir yang mengalami pengayaan sulfat (SO_4) dari gas magmatik selama perjalanannya ke permukaan.



Gambar 3

Peta elevasi dan peta anomali gravitasi residual.

Beberapa lokasi mata air panas tersebar di Baturaden Purwokerto, terdapat dua lokasi masing-masing debit sedang di Bumiayu Kabupaten Brebes, dan relatif berdebit besar di Guci Kabupaten Tegal. Hal ini sebagai tanda awal adanya potensi panasbumi dari Gunung Slamet.

A. Landaian suhu

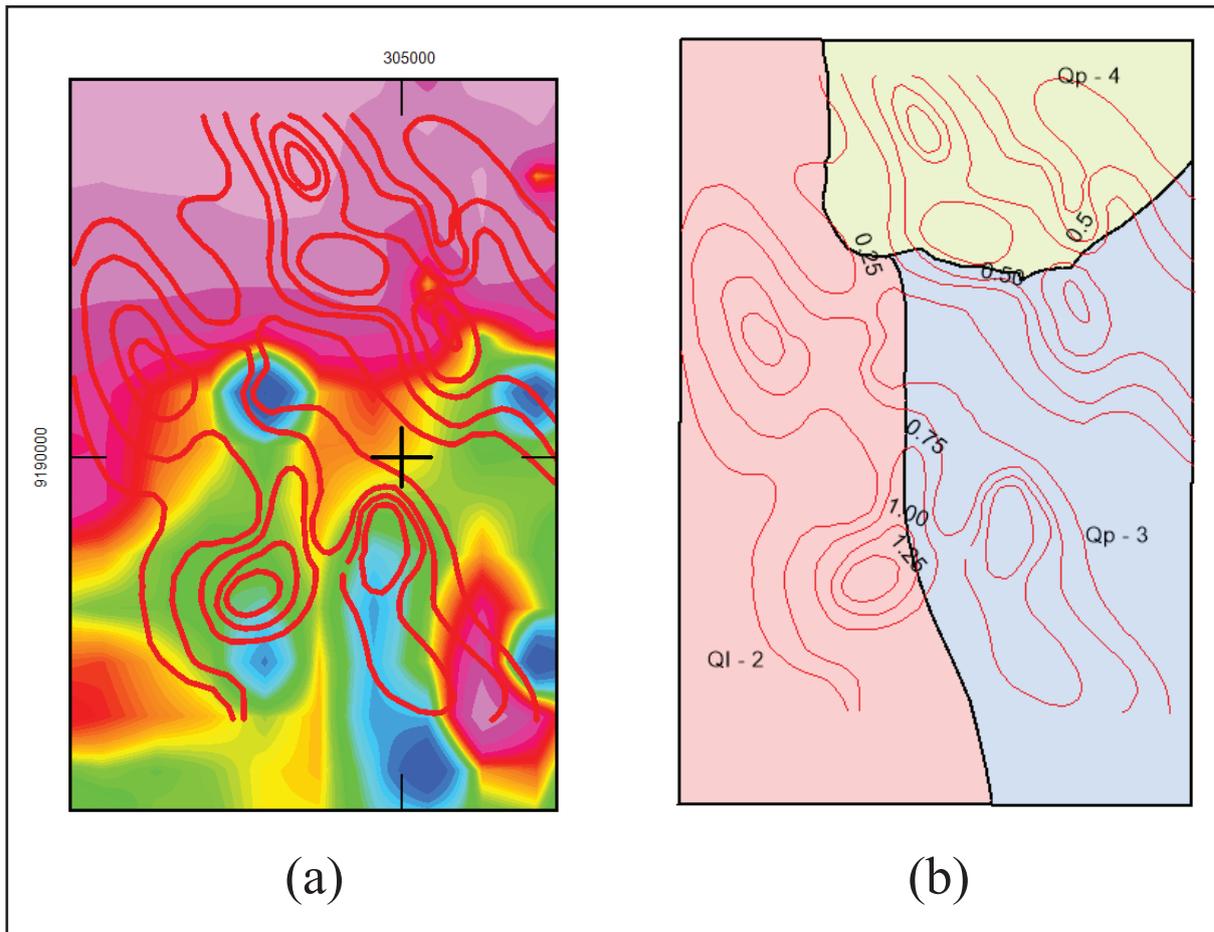
Landaian suhu adalah perbedaan suhu pada suatu interval kedalaman. Pengukuran suhu dilakukan di udara, permukaan dan setiap kedalaman setengah meter. Pengukuran dilakukan sehari setelah pemboran untuk menghilangkan gangguan lumpur bor (air). Pengukuran suhu sebaiknya dilakukan pada pagi hari supaya permukaan bumi belum terganggu oleh panas matahari. Pengukuran suhu di daerah Baturaden menghasilkan landaian suhu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Landaian suhu pada lapisan soil di daerah ini berkisar antara $0,18\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ sampai $1,30\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ dengan rata-rata sebesar $0,62 \pm 0,31\text{ }^{\circ}\text{C/m}$. Landaian suhu yang tinggi yaitu lebih besar dari $0,50\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ dapat ditemukan di bagian utara mencakup daerah Baturaden, Maunggangsari dan Limpakuwus, sedangkan di bagian selatan terdapat di daerah Gunung Cendana, Kebumen, Rempowah dan Pandak. Kedua daerah landaian suhu yang tinggi

tersebut dipisahkan oleh daerah landaian suhu kecil yaitu kurang dari $0,25\text{ }^{\circ}\text{C/m}$. Daerah ini berbentuk sempit, memanjang ke arah barat laut-tenggara melalui daerah Jurangmangu dan Kemitug Kidul.

B. Alir Bahang

Pengukuran alir bahang mencakup 49 posisi sumur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai alir bahang mulai dari 3,00 HFU sampai 25,00 HFU dengan rata-rata sebesar 12,3 HFU. Peta kontur alir bahang lebih besar 7,5 HFU yang dianggap sebagai daerah prospek panasbumi, terdapat dua daerah utara dan selatan, yaitu: daerah utara mencakup wilayah Baturaden, Mangunsari dan Limpakuwus; daerah selatan mencakup wilayah Gunung Cendana, Kebumen, Rempowah dan Pandak (Siswojo dkk., 1998).

Kedua daerah tersebut dipisahkan oleh suatu wilayah sempit, memanjang ke arah barat laut-tenggara dengan nilai alir bahang yang lebih kecil dari 5,00 HFU. Wilayah tersebut melalui Jurangmangu dan Kemitug Kidul. Nilai alir bahang yang rendah di wilayah ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh sesar yang dapat berfungsi sebagai tempat rembesan (*recharge*) air tanah (*meteoric water*) ke dalam bumi.



Gambar 4
Peta landaian suhu tumpang susun SVD (a) dan peta geologi (b).

C. Puncak Reservoir

Suatu daerah mempunyai prospek panasbumi dengan sistem hidrotermal apabila daerah tersebut mengandung resevoir fluida panas. Fluida panas tersebut bisa berupa air panas, uap panas atau campuran keduanya. Pengukuran temperatur kemudian digunakan untuk memperkirakan puncak dari reservoir. Gambar 6 menunjukkan kedalaman puncak reservoir panasbumi di daerah Baturaden. Dalam perhitungan kedalaman puncak reservoir diperoleh nilai berkisar antara 400 sampai 3000 m, tetapi daerah prospek harus terletak pada kedalaman kurang dari 1500m.

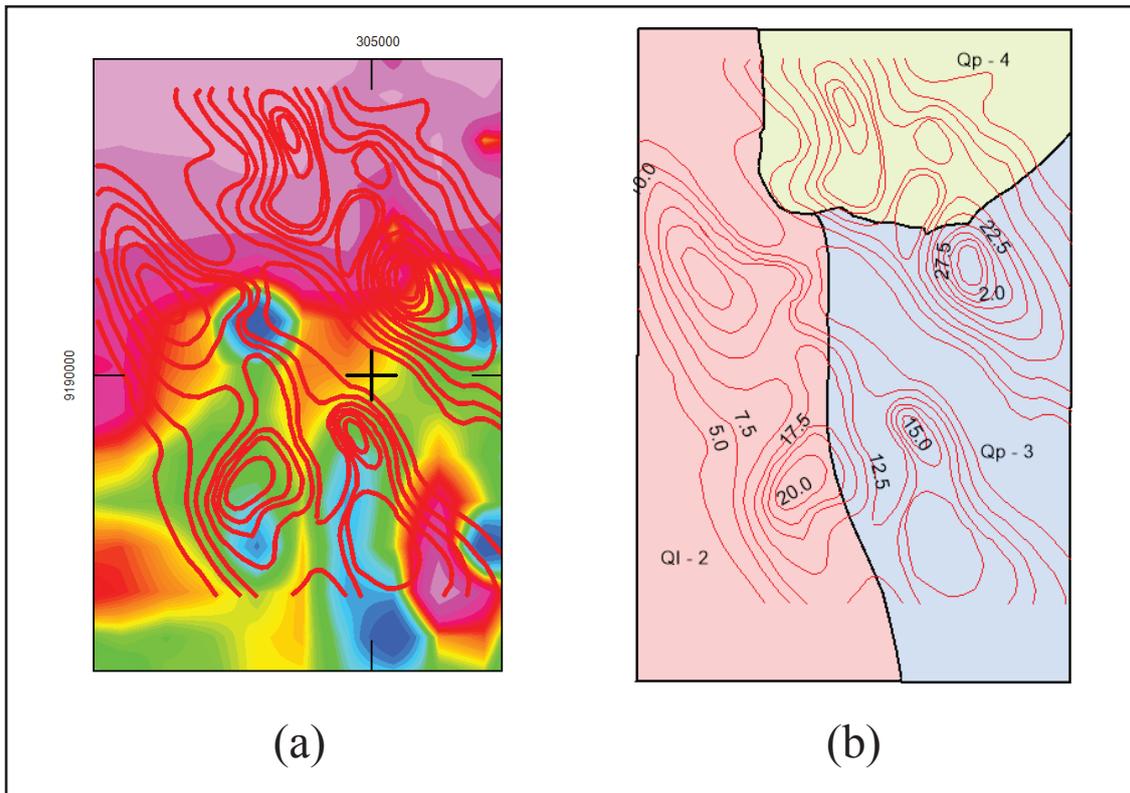
Reservoir dangkal panasbumi yaitu kurang dari 750 m terdapat di Baturaden, Limpakuwus, Gunung Cendana, Rempowah. Lokasi-lokasi tersebut merupakan daerah yang mempunyai nilai alir bahang tinggi yaitu lebih dari 12,50 HFU. Berdasarkan analisis peta HG, SVD dan ED yang dilakukan (lihat Gambar 7 dan Gambar 8) diprediksi arah sesar yang

dominan di daerah penelitian adalah timur-barat dan baratdaya-timurlaut.

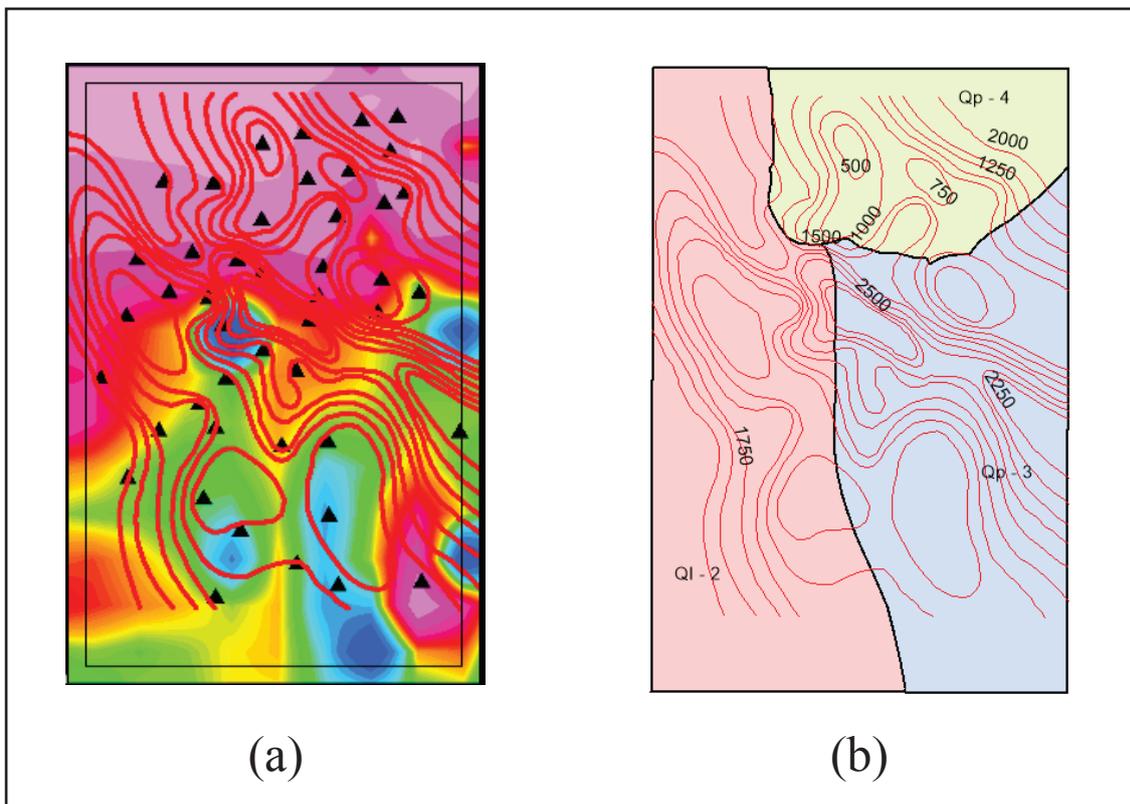
Solusi yang dihasilkan dari perhitungan ED adalah berupa prediksi keberadaan *pipe* dalam hal ini adalah batuan intrusi. Gambar 8 menunjukkan tentang prediksi keberadaan batuan intrusi dan informasi geologi, diperoleh puncak intrusi pada kedalaman 800m dengan margin sebesar 5% dari perhitungan ED. Sedangkan analisis SVD memberikan prediksi jenis sesar, yang mengindikasikan sebagian besar berupa sesar turun dan sebagian sesar naik.

KESIMPULAN DAN SARAN

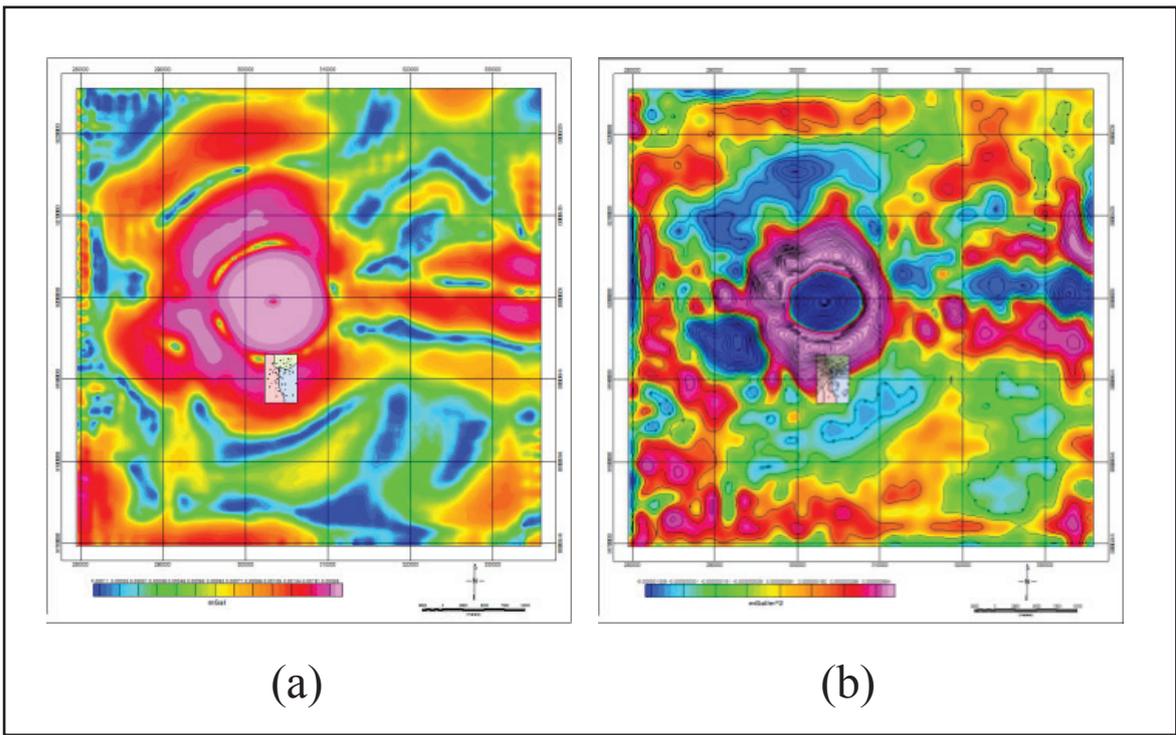
Beberapa lokasi mata air panas di Baturaden, Bumiayu sampai Guci sebagai tanda awal potensi panas bumi Gunung Slamet. Analisis HG, SVD dan ED pada data gravitasi menghasilkan prediksi struktur geologi yang bersifat regional. Kajian panas



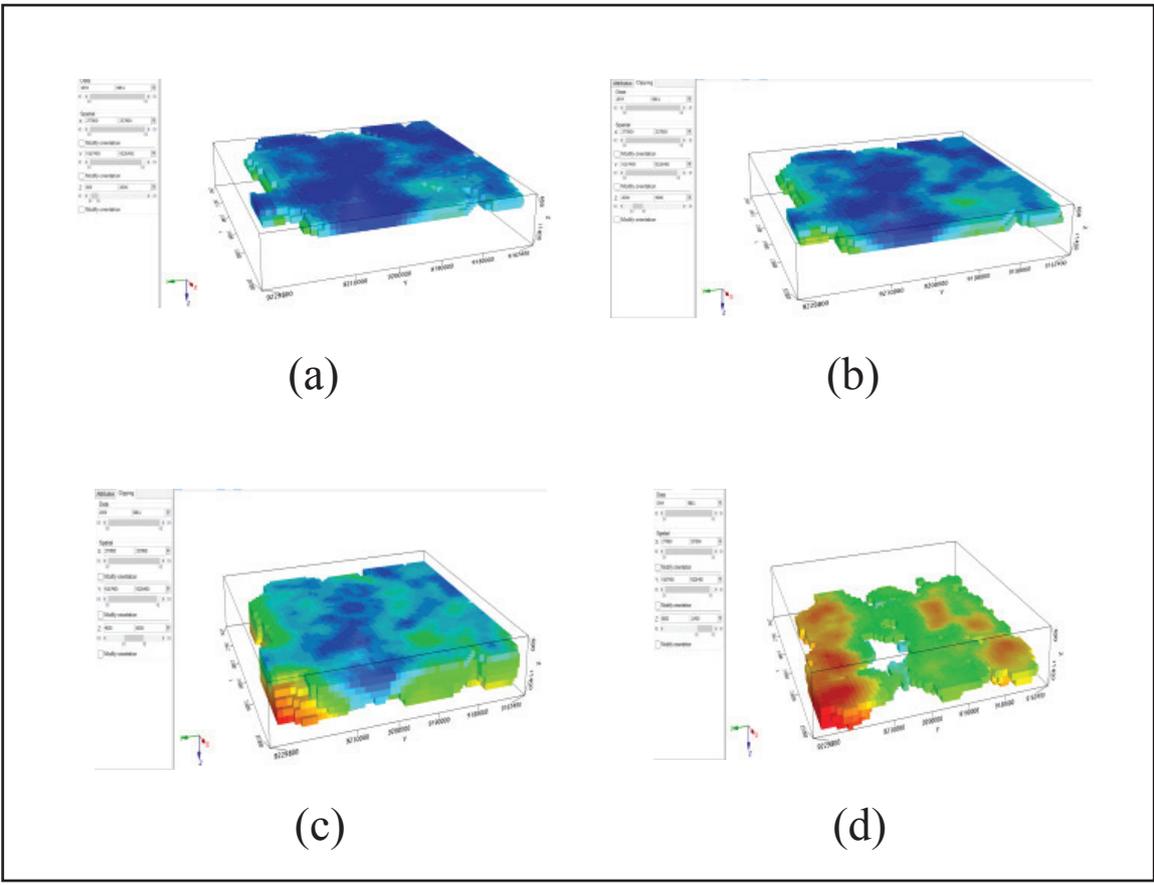
Gambar 5
Peta aliran bahang tumpang susun SVD (a) dan peta geologi (b).



Gambar 6
Peta tumpang susun (*overlay*) kedalaman SVD (a) dan peta geologi (b).



Gambar 7
Peta HG (a) dan SVD (b).



Gambar 8
Peta solusi *Euler Deconvolution*

bumi Baturaden secara lokal menggunakan metode alir bahang dapat memetakan prospek panasbumi daerah Baturaden dengan lebih rinci dibandingkan dengan metode gaya berat. Hasil dari tumpang susun dan analisis lainnya didapatkan puncak reservoir mencapai kedalaman lebih dari 400 m. Reservoir dangkal panas bumi yaitu kurang dari 750 m terdapat di area Baturaden, Limpakuwus, Gunung Cendana, Rempowah, merupakan daerah yang mempunyai nilai alir bahang tinggi yaitu lebih dari 12,50 HFU.

Hasil penelitian ini telah mengidentifikasi dua daerah prospek panas bumi di bagian utara dan selatan, yaitu: daerah utara mencakup wilayah Baturaden, Mangunsari dan Limpakuwus; daerah selatan mencakup wilayah Gunung Cendana, Kebumen, Rempowah dan Pandak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala PPPTMGB “LEMIGAS” Ibu Setyorini Tri Hutami yang memberikan dorongan kepada penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan Karya Tulis Ilmiah tentang geothermal. Terima kasih kepada Bapak DR. Imam Sosrowidjojo selaku Senior/Ahli Eksplorasi dan dan Bapak Sugihardjo Imohardjo selaku Senior/Ahli Eksploitasi Minyak Gas Bumi dan Panasbumi, yang telah memberikan koreksi dalam penulisan ini.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
HG	<i>Horizontal Gradient</i>	mGal/Km
ED	<i>Euler Deconvolution</i>	
SVD	<i>Second Vertical Derivative</i>	mGal/Km ²
EBT	Energi Baru Terbarukan	
X-ray	<i>X-ray Fluorencence</i>	
HFU	<i>Heat Flow Unit</i>	
HCU	<i>Heat Conductivity Unit</i>	

KEPUSTAKAAN

- Bankston, C. A. & Smith, H. J.**, 1973. Vapor flow in cylindrical heat pipes. *Journal of Heat Transfer*, 95(3), pp. 371-376.
- Birch, A. F.**, 1954. Thermal conductivity, climatic variation, and heat flow near Calumet, Michigan. *American Journal of Science*, 252(1), pp. 1-25.
- Blakely, R. J.**, 1996. *The Second Vertical Derivative Method of Gravity Interpretation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cordell, L.**, 1979. Gravity and aeromagnetic anomalies over basement structure in the Rolla quadrangle and the southeast Missouri lead district. *Economic Geology*, 74(6), pp. 1383-1394.
- Cordell, L. & Grauch, V.**, 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in San Juan basin, New Mexico. In: *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*. s.l.:Society of Exploration Geophysicists, p. 181.
- Elawadi, E. A.**, 2005. *Subsurface Structural Mapping Using Gravity Data of Hoho Geothermal Area, Central Kyushu, Japan*. Antalya, Turkey, World Geothermal Congress.
- Giggenbach, W. F.**, 1988. Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et cosmochimica acta*, 52(12), pp. 2749-2765.
- Komite Nasional Indonesia World Energy Conference**, 1980. *Hasil Lokakarya Energi 1980*, Jakarta: Komite Nasional Indonesia World Energy Conference.
- Kusnadi, D., Mazir, R. & Muksin, M. C.**, 1991. *aporan penyelidikan geokimia panasbumi daerah G.Slamet. Jawa Tengah*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
- Nurcahyanto, N.**, 2014. Pengembangan Model Indonesia 2015 Pathway Calculator (12050PC) Sisi Penyediaan dan Permintaan Energi Baru Terbarukan. *Majalah Mineral dan Energi*, 12(4), pp. 29-36.
- Pasha, D. A., Nur'aini, A., Abdurrachman, M. & Aziz, M.**, 2015. *Karakterisasi Batuan Intrusi Sekitar Gunung Api Slamet Berdasarkan Analisis Petrografi, Unsur Utama, Dan Unsur Jejak Daerah Baturaden Dan Sekitarnya, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah*. Yogyakarta, Academia-Industry Linkage.
- Reid, A. B., Allsop, J.M., Granser, H., Millet, A.J., & Somerton, I.W.**, 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55(1), p. 80-91.

Reswara, A. & Sehad, S., 2014. Pendugaan lapisan reservoir panasbumi di kawasan Gunungapi Slamet dengan memanfaatkan data anomali medan gravitasi citra satelit. *Jurnal berkala Fisika*, 17(2), pp. 45-54.

Siswoyo, S., 1998. *Penelitian Alir Panas Daerah Baturaden, Tim Pengembangan Metode Termal*, Jakarta: PPPTMGB LEMIGAS.

Surmayadi, M., 2014. *Geokimia Panasbumi Gunungapi Slamet Jawa Tengah*. Bandung, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 1990. *Applied geophysics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.