

IDENTIFIKASI STRUKTUR DAERAH PANASBUMI ULUBELU BERDASARKAN ANALISA DATA SVD ANOMALI BOUGUER

Muh Sarkowi

Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung Bandar Lampung 35145
E-mail: *sarkov323@yahoo.com*

Diterima 1 Maret 2010, disetujui untuk diterbitkan 6 Juni 2010

ABSTRACT

Ulubelu geothermal field is situated in Lampung, southern Sumatra, Indonesia. The field is at the southern end of the Great Sumatra Fault. The field is located in high terrain. The field lies in steep terrain between 300 and 1600 m above sea level (a.s.l.). Most elevations in its central part are about 700 to 800 m (a.s.l.), the higher volcanic terrains of Mts. Rindingan, Kukusan and Sula surround it. The gravity survey was done by PT. PERTAMINA to understand the subsurface structure at Ulubelu geothermal field. Gravity data were corrected by : normal gravity, free air correction, Bouguer corrections, and terrain correction to obtained Bouguer anomaly. Low Bouguer anomaly in the North area between Mt Rindingan and Duduk. This anomaly caused of piroclastic rock from Mt. Rindingan filling up graben in this area. High Bouguer anomaly at south area at Mt. Kukusan may be caused existence of high density rock which possibility become hot source in the area. Second vertical derivative Bouguer anomaly represent one of technique which can be used to get the local effect from anomaly Bouguer. In this research we used operator SVD from Elkins formulations. Map SVD anomaly Bouguer of area Ulubelu show the existence of negative anomaly at Northern area between Mt. Rindingan and Duduk and at Southwestern area (west of Mt. Kukusan). Its indication that this area represent the graben and the fault structure NW-SE and NE-SW direction. From correlation of well data indicate that the this negative anomaly represent the prospect geothermal at Ulubelu area specially the area between Mt. Rindingan and Duduk.

Keywords: *SVD, bouguer anomaly, geothermal, ulubelu*

ABSTRAK

Daerah prospek panasbumi Ulubelu berada Lampung Sumatera Selatan, Indonesia terletak pada daerah sistem patahan Sumatera di bagian ujung selatan pulau Sumatera. Daerah ini berada pada topografi yang curam, yaitu dari 300 sampai 1600 m, Ketinggian di daerah Ulubelu sendiri sekitar 700 – 800 m, yang dikelilingi oleh gunungapi Rindingan, Kukusan, dan Sula. Untuk mengetahui struktur detail bawah permukaan di daerah tersebut telah dilakukan penyelidikan gayaberas. Data gayaberas selanjutnya dilakukan koreksi-koreksi yang meliputi : koreksi gayaberas normal, koreksi udara bebas, koreksi bouguer dan koreksi medan hingga diperoleh anomali Bouguer. Anomali Bouguer daerah penelitian menunjukkan adanya pola anomali rendah di bagian utara daerah penelitian yaitu di antara gunung Duduk dan gunung Rindingan. Anomali rendah ini kemungkinan disebabkan oleh batuan piroklastik gunung Rindingan yang menimbun graben di daerah tersebut. Sedangkan anomali Bouguer tinggi menempati bagian selatan daerah penelitian yaitu di daerah gunung Kukusan. Anomali tinggi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya batuan dengan densitas tinggi yang kemungkinan menjadi sumber panas di daerah tersebut. SVD (second vertical derivatif) anomali Bouguer merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan efek lokal dari anomali Bouguer. Operator SVD yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan perumusan Elkins. Peta SVD anomali Bouguer daerah Ulubelu menunjukkan adanya anomali negatif di bagian utara (N) daerah penelitian (antara gunung Duduk dan Gunung Rindingan) dan dibagian tenggara (SE) daerah penelitian (disebelah Barat gunung Kukusan). Dari peta SVD mengindikasikan bahwa daerah ini merupakan daerah graben dengan struktur patahan berarah NW-SE dan NE-SW. Dari korelasi data sumur menunjukkan bahwa anomali negatif ini merupakan prospek panasbumi di daerah Ulubelu khususnya untuk daerah antara gunung Duduk dan gunung Rindingan.

Kata kunci: *SVD, anomali bouguer, panasbumi, ulubelu*

1. PENDAHULUAN

Metode gayaberat merupakan salah satu metode dalam geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan adanya perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan¹⁾. Metode ini sensitif terhadap perubahan vertikal sehingga sangat cocok digunakan untuk mempelajari: kontak intrusi, batuan dasar, dan juga terhadap struktur geologi.

Daerah panasbumi Ulubelu terletak di daerah Tanggamus-Lampung^{2,3)} dan pada saat ini Pertamina Geothermal Energi sedang melakukan eksplorasi dan eksploitasi untuk memanfaatkan energi panasbumi menjadi listrik dengan daya 2x55 MWE. Untuk mendapatkan struktur bawah permukaan daerah panasbumi Ulubelu telah dilakukan beberapa survei geofisika yang salah satunya adalah survei metode gayaberat.

Untuk mengetahui struktur detail bawah permukaan daerah prospek panasbumi dan mengetahui lokasi keberadaan reservoir panasbumi Ulubelu perlu dilakukan analisa secara detail data anomali gayaberat dengan mengaplikasikan beberapa teknik analisis dan pemodelan bawah permukaan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan data gayaberat hingga diperoleh anomali Bouguer dan analisa SVD (*second vertical derivatif*) dengan operator Elkind⁴⁾.

1.1. DASAR TEORI

Apabila suatu massa 3 dimensi bentuk sembarang terdistribusi secara kontinu dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, maka potensial gravitasi di titik P (x, y, z) diatas dan di luar distribusi rapat massa tersebut diberikan oleh Kadir⁵⁾ sebagai:

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \quad (1)$$

Komponen gravitasi vertikal akibat distribusi rapat massa di atas diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (1) terhadap z:

$$\begin{aligned} \Delta g_z(x, y, z) &= -\frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} \\ &= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \end{aligned} \quad (2)$$

dimana Δg adalah anomali gayaberat yang diamati, $\Delta\rho$ adalah kontras densitas, G konstanta gayaberat umum, dan (x, y, z) dan (α, β, γ) masing-masing adalah sistem koordinat stasion dan sumber benda. Dari persamaan (2) tampak bahwa percepatan gravitasi g bervariasi dan harganya tergantung pada distribusi massa di bawah permukaan dan jarak ke permukaan. Medan gravitasi g disebut juga percepatan gravitasi yang memiliki satuan CGS adalah Gall (1 Gall = 1 cm/s²). Gayaberat yang diukur di permukaan adalah merefleksikan besar tarikan benda anomali bawah permukaan dengan arah ke pusat bumi dan merupakan turunan dari gaya sesuai dengan hukum Newton.

Second Vertical Derivatif (SVD) anomali Bouguer merupakan salah satu teknik filtering yang dapat memunculkan anomali residual (efek dangkal)^{6,7)}. Adanya struktur patahan disuatu daerah akan dapat diketahui dengan baik menggunakan teknik ini. Secara teoritis, metoda ini diturunkan dari fungsi harmonik Laplace dengan mensubstitusi f dengan Δg dalam kasus gayaberat, yaitu :

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

Sehingga,

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

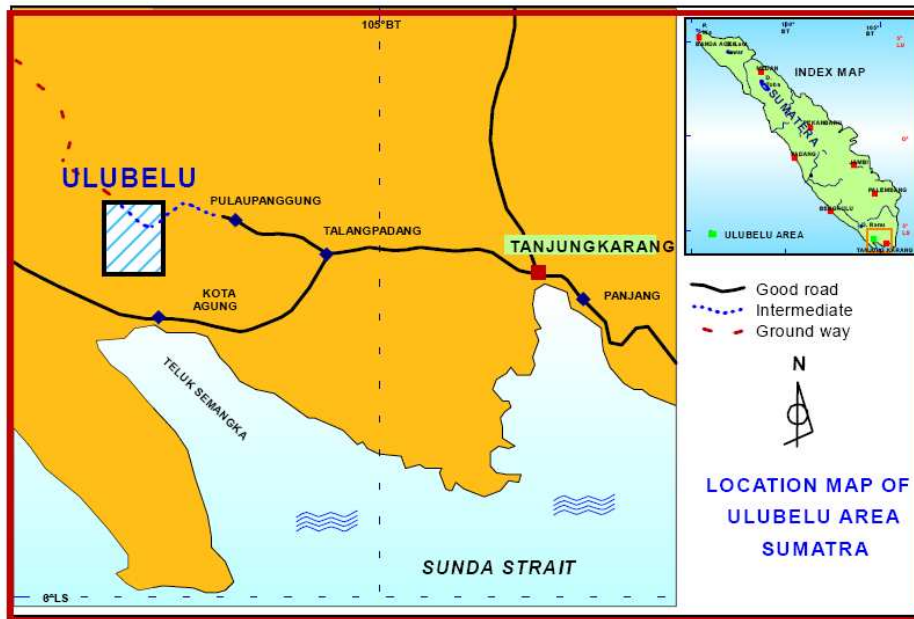
Untuk data dua dimensi dalam peta (koordinat x, y), turunan vertikal orde dua sebagai fungsi *filter* diberikan oleh Darby⁷⁾ :

$$\frac{\partial^2 \Delta g(x, y)}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \Delta g(x, y) \quad (5)$$

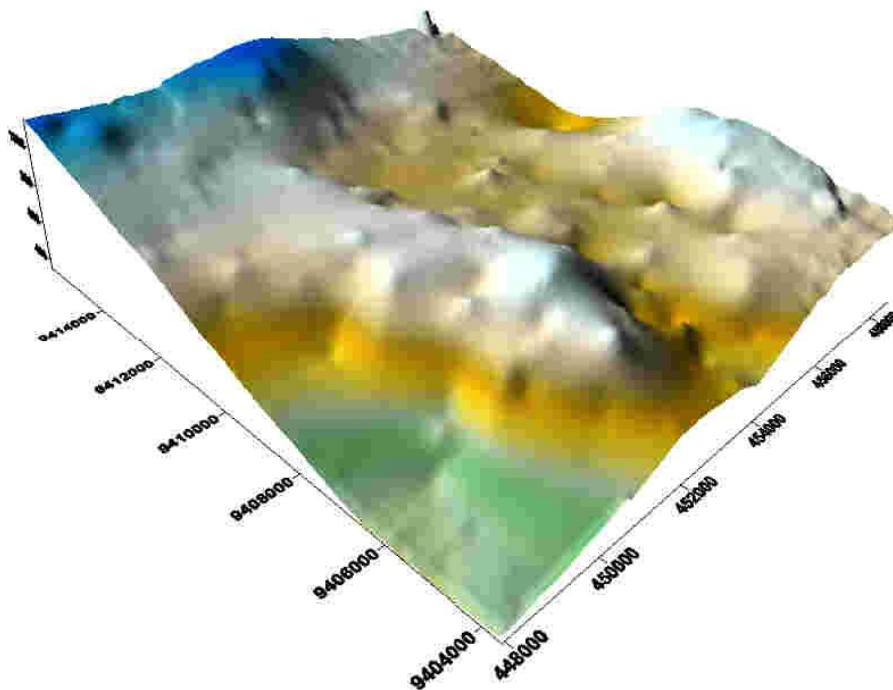
Terdapat beberapa operator filter SVD, yang dihitung oleh Peneliti lain^{4,8-11}). Dalam penelitian ini, penulis menggunakan operator filter SVD hasil perhitungan Elkins⁴).

1.2. Geologi Daerah Ulubelu

Daerah panasbumi Ulubelu terletak di daerah Tanggamus Lampung sekitar 50 km dari kota propinsi Lampung, berada pada topografi yang curam dengan ketinggian antara 300 sampai 1600 m. Lokasi terendah antara 300 – 400 meter terletak dibagian selatan, sedangkan dataran terluas ada dibagian tengah dengan ketinggian antara 700 – 800 meter dikelilingi oleh gunung api Rindingan, Kurupan, Kabawok, Sula dan Kukusan.



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian Ulubelu¹²)



Gambar 2. Topografi Daerah Penelitian

Manifestasi termal permukaan di lapangan panasbumi Ulubelu terdiri dari fumarol-fumarol, mataair panas, telaga dan air panas. Fumarol muncul di lokasi yang lebih atas yaitu di bagian tengah area. Fumarol ini muncul di antara desa Muaradua, Pagaralam dan gunung Duduk. Mata air panas alkali chloride hadir di tempat yang lebih rendah, dari 400-700 meter, yaitu dibagian selatan. Semua ini tersebar di sekitar aliran sungai Ulubelu dan menyebar ke arah baratdaya bagian selatan gunung Kukusan. Telaga Ulubelu terletak di bagian tengah lokasi prospek panasbumi pada ketinggian 700 m dan berada di antara gunung Duduk dan desa Muaradua²).

2. METODE PENELITIAN

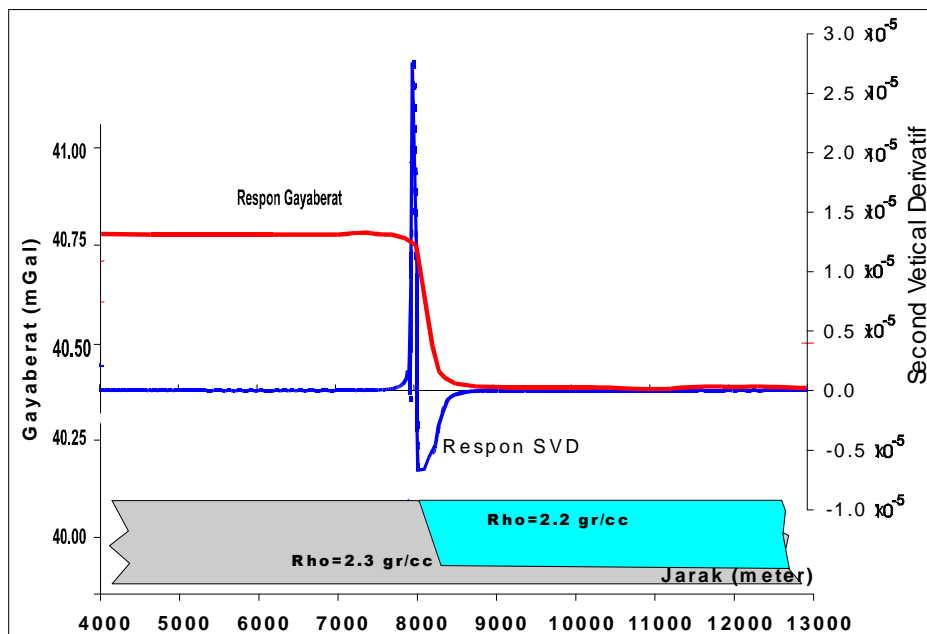
Penelitian dimulai dengan melakukan pengolahan data gayaberat sampai diperoleh anomali Bouguer dan dilanjutkan dengan filtering dengan teknik SVD terhadap anomali Bouguer lengkap. Untuk mengetahui karakteristik detail dari teknik SVD ini maka dilakukan juga pemodelan sintetik karakteristik SVD untuk struktur patahan baik patahan turun atau patahan naik. Selanjutnya berdasarkan peta anomaly Bouguer dan SVD anomali Bouguer dilakukan analisa serta korelasi struktur geologi dan data sumur yang ada di daerah tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan Sintetik *Second Vertical Derivatif* (SVD)

Pemodelan sintetik SVD dilakukan dengan membuat model struktur sesar turun (*normal fault*), sesar naik dan sesar tegak¹¹). Pada simulasi ini SVD dihitung melalui teknik gradien dimana gradien ditentukan dari suatu interval data gayaberat dengan beda ketinggian tertentu. Untuk pengukuran gayaberat dengan tiga beda tinggi yaitu $h_{(i-1)}$, $h_{(i)}$, dan $h_{(i+1)}$, maka second vertical derivatif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$SVD = \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{\left(\frac{g_{(i-1)} - g_{(i)}}{h_{(i-1)} - h_{(i)}} \right) - \left(\frac{g_{(i)} - g_{(i+1)}}{h_{(i)} - h_{(i+1)}} \right)}{\left(\frac{h_{(i-1)} - h_{(i)}}{h_{(i-1)} - h_{(i)}} \right) - \left(\frac{h_{(i)} - h_{(i+1)}}{h_{(i)} - h_{(i+1)}} \right)} \quad (6)$$



Gambar 4. Pemodelan SVD untuk model sesar normal

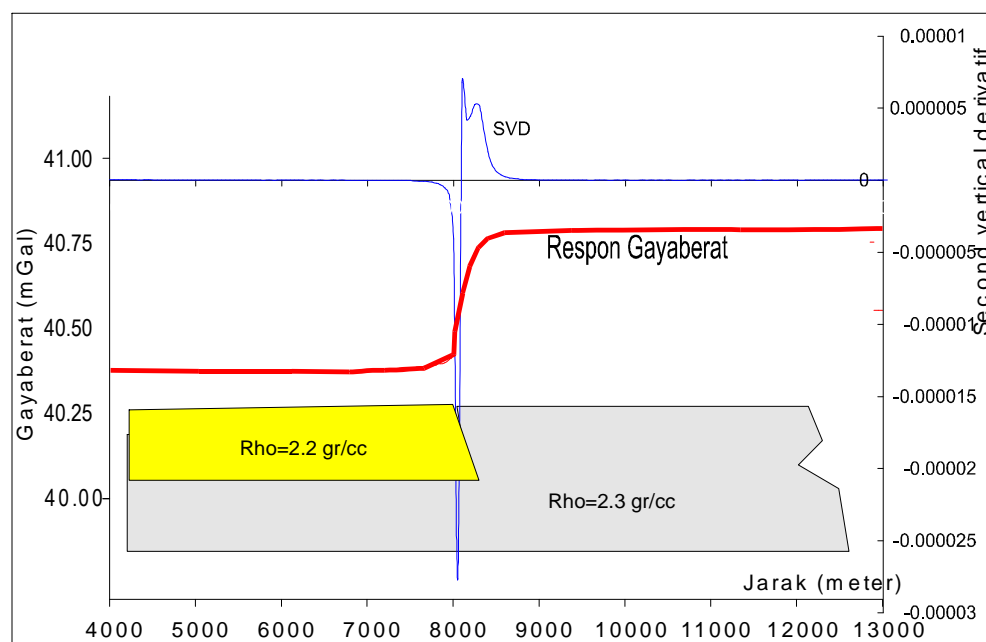
3.1.1. Pemodelan SVD untuk model sesar normal (patahan turun)

Pemodelan SVD untuk model sesar normal dilakukan dengan membuat model struktur sesar normal dengan sifat fisis sebagai berikut : density benda 2.3 g/cc dan 2.2 g/cc dengan kedalaman model benda sampai 500 meter. Hasil pemodelan SVD untuk model sesar normal ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa untuk sesar normal menunjukkan bahwa daerah patahan akan memberikan

nilai $SVD = 0$. Sedangkan sifat dari sesar turun ditunjukkan oleh nilai dari SVD-nya, untuk sesar normal bahwa nilai $|SVD_1| > |SVD_2|$.

3.1.2 Pemodelan SVD untuk model sesar naik

Pemodelan SVD untuk model sesar naik dilakukan dengan membuat model struktur sesar naik dengan sifat fisis sebagai berikut : density benda 2.3 g/cc dan 2.2 g/cc dengan kedalaman model benda sampai 500 meter. Hasil pemodelan SVD untuk model sesar normal ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa untuk sesar normal menunjukkan bahwa daerah patahan akan memberikan nilai $SVD = 0$. Sedangkan sifat dari sesar naik ditunjukkan oleh nilai dari SVD-nya, untuk sesar normal bahwa nilai $|SVD_1| < |SVD_2|$.



Gambar 5. Pemodelan SVD untuk model sesar naik

3.1.3 Pemodelan SVD untuk model sesar tegak

Pemodelan SVD untuk model sesar tegak dilakukan dengan membuat model struktur sesar tegak dengan sifat fisis sebagai berikut : density benda 2.3 g/cc dan 2.2 g/cc dengan kedalaman model benda sampai 500 meter. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa untuk sesar tegak menunjukkan bahwa daerah patahan akan memberikan nilai $SVD = 0$. Sedangkan sifat dari sesar naik ditunjukkan oleh nilai dari SVD-nya, untuk sesar tegak bahwa nilai $|SVD_1| \cong |SVD_2|$.

Dari pemodelan sintetik tentang karakteristik SVD akibat struktur patahan diperoleh hasil sebagai berikut :

- Nilai $SVD = 0$ menunjukkan bahwa di daerah tersebut merupakan daerah patahan
- Nilai $|SVD_1| > |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar turun
- Nilai $|SVD_1| < |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar naik
- Nilai $|SVD_1| \cong |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar tegak

3.2. Anomali Bouguer

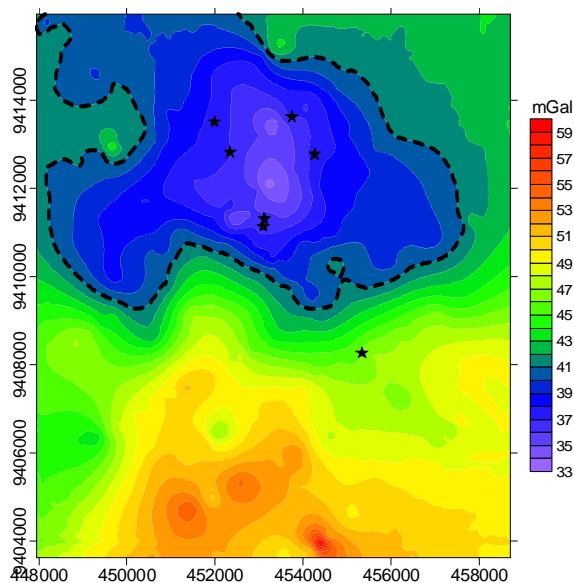
Anomali Bouguer daerah prospek panasbumi Ulubelu ditunjukkan pada Gambar 6. Anomali rendah berada di bagian Utara daerah penelitian yaitu di antara gunung Duduk dan gunung Rindingan. Anomali ini menempati daerah zona pelapukan dan daerah danau Ulubelu. Pada daerah ini muncul beberapa manifestasi geothermal seperti adanya sumber air panas. Anomali gayabarat rendah di bagian tengah agak utara

mengisyaratkan bahwa anomali rendah ini berasosiasi dengan graben, kaldera besar ataupun akibat batuan piroklastik dari gunung Rindingan yang menimbun graben tersebut. Daerah prospek panasbumi Ulubelu (reservoir panasbumi Ulubelu) kemungkinan berada di daerah ini. Hal ini terbukti dengan hasil pengeboran beberapa sumur produksi di daerah tersebut yang memberikan hasil produksi yang cukup besar.

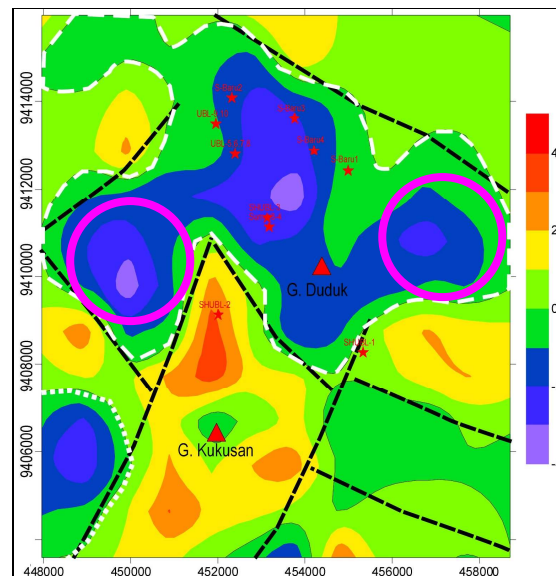
Bagian selatan dan Utara daerah penelitian yaitu di daerah gunung Kukusan dan Rindingan menempati anomali gayaberat yang tinggi. Anomali ini berhubungan langsung dengan keberadaan batuan dengan densitas tinggi hasil pembekuan magma di bawah gunung tersebut. Adanya batuan dengan densitas tinggi hasil pembekuan magma yang umumnya mempunyai suhu tinggi dimungkinkan berperilaku sebagai heat source dari sistem geothermal di daerah tersebut.

3.3. Second Vertical Derivatif (SVD) anomali Bouguer daerah Ulubelu

Peta second vertical derivative anomali Bouguer daerah Ulubelu dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil penapisan SVD menghasilkan anomaly lokal yang menggambarkan ketidakselarasan dangkal, yang boleh jadi merupakan 'reservoir' lapangan panasbumi Ulubelu. Sementara itu, heat source diduga berasal dari G. Kukusan, yang dicirikan oleh anomaly tinggi. Pola struktur patahan (garis hitam putus-putus) sangat dipengaruhi oleh struktur utama Sumatra yang berarah baratlaut-tenggara (NW-SE), yang diduga merupakan 'seal' bagi reservoir untuk tidak mengalirkan fluidanya ke arah lateral. Daerah yang diberi lingkaran warna 'ungu', yang dicirikan oleh anomaly negatif yang sama atau relatif sama besarnya dengan daerah produksi saat ini, diduga merupakan daerah yang potensial untuk pengembangan baru. Sebaran anomaly menunjukkan bahwa daerah lingkaran ungu tersebut berada dalam satu system yang sama dengan daerah produksi sekarang.



Gambar 6. Anomali Bouguer daerah penelitian



Gambar 7. Second vertical derivative anomaly Bouguer

Peta anomali second vertical derivative daerah Ulubelu menunjukkan adanya beberapa hal yang menarik, yaitu :

- a. Kontur peta SVD anomali Bouguer 0 (nol) di daerah Ulubeu terdapat 3 bagian, yaitu bagian tengah Utara yang menempati area paling luas, bagian Baratdaya dan Selatan yang mempunyai area relatif kecil yang mungkin disebabkan ketiadaan data di daerah sebelahnya. Anomali 0 (nol) ini mengindikasikan bahwa di daerah tersebut merupakan daerah yang memiliki struktur patahan atau graben.
- b. Nilai anomali SVD negatif di bagian tengah Utara daerah penelitian ini berkorelasi dengan daerah yang mempunyai anomali Bouguer rendah di daerah tersebut. Berdasarkan pola dan kontur anomali yang muncul mengindikasikan bahwa struktur yang mengontrol di daerah tersebut adalah struktur graben.

4. KESIMPULAN

Anomali gayabarat rendah di daerah prospek panasbumi Ulubelu berhubungan dengan adanya graben di daerah tersebut yang pada saat ini telah terisi oleh batuan piroklastik produk gunung Rindingan yang telah mengalami alterasi. Graben ini dimungkinkan menerus kebawah dan menjadi sumber geothermal. Sedangkan anomali gayabarat tinggi di sebelah selatan berhubungan dengan keberadaan gunung Kukusan yang berperilaku sebagai heat source sistem panasbumi Ulubelu.

Hasil penapisan SVD menghasilkan anomaly lokal yang menggambarkan ketidakselarasan dangkal, yang boleh jadi merupakan 'reservoir' lapangan panasbumi Ulubelu. Sementara itu, heat source diduga berasal dari G. Kukusan, yang dicirikan oleh anomaly tinggi. Pola struktur patahan (garis hitam putus-putus) sangat dipengaruhi oleh struktur utama Sumatra yang berarah baratlaut-tenggara (NW-SE), yang diduga merupakan 'seal' bagi reservoir untuk tidak mengalirkan fluidanya ke arah lateral.

Daerah yang diberi lingkaran warna 'ungu', yang dicirikan oleh anomaly negatif yang sama atau relatif sama besarnya dengan daerah produksi saat ini, diduga merupakan daerah yang potensial untuk pengembangan baru. Sebaran anomaly menunjukkan bahwa daerah lingkaran ungu tersebut berada dalam satu system yang sama dengan daerah produksi sekarang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Duprat, A. 1985. Geophysics in geothermal prospecting. *Int. J. Ener. Res.*, **9** (3), 241–276.
2. Suharno, Sudarman, S. and Browne, P.R.L. 2000. Analysis of the Geophysical Study and the Subsurface Geology of the Ulubelu Geothermal Area, Lampung, Indonesia. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia ke-25, Bandung, 3-4 Oktober 2000, p. 57-62
3. Daud, Y., Sudarmon, S., and Ushijima, K., 2000. Integrated Geophysical Studies of the Ulubelu Geothermal Field, South Sumatera, Indoensia. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000, p. 1071-1075
4. Elkins, T.A. 1951. The second derivative method of gravity interpretation, *Geophysics*, **XVI**, 29-50.
5. Kadir, W.G.A. 1997. Dekonvolusi anomali gayabarat Bouguer dan derivatif vertikal orde kedua dengan menggunakan persamaan dasar potensial, studi kasus : pulau Sumatera, Disertasi, program Pascasarjana ITB.
6. Saibi, H., Nishijima, J., Ehara, S. and Aboud, E. 2006. Integrated gradient interpretation techniques for 2D and 3D gravity data interpretation. *Earth Planets Space*, **58**, 815–821.
7. Darby, E.K. and Davies, E.B. 1967. The Analysis and design of two-dimensional filters for two dimensional data, *Geophysics*, **XV**, 383 – 305.
8. Nettleton, L. L. 1954. Regionals, Residuals, and Structures. *Geophysics*, **XIX** (1), 1–22.
9. Rosenbach, O. 1952. A Contribution to The Computation of The Second Derivative From Gravity Data. *Geophysics*, **XVII**, 894-911.
10. Mesko, C.A. 1966. Two dimensional filtering and the second derivative method. *Geophysics*, **XXXI**, 606-617.

11. Onyedim, G.C. 2007. Mapping Faults in Part of the Benue Trough, Nigeria by Cross Correlation Analysis of Gravity Data. *J. Appl. Sci.*, 7 (2), 226-231.
12. Kamah, M.Y., Silaban, M.S.P. and Mulyadi, 2000. Colling Indications of The Ulubelu Geothermal System, South Sumatra, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress 2000. Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000.