

INTERPRETASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH LEUWIDAMAR
BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRAL DATA GAYA BERAT
*SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURES INTERPRETATION
BASED ON SPECTRAL ANALYSIS OF GRAVITY DATA*

Oleh :

Imam Setiadi¹, Ai Diyanti² dan Nanang. D. Ardi²

1. Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122
2. Jurusan Pendidikan Fisika, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

Abstrak

Kajian analisis data gayaberat daerah Leuwidamar, Banten telah dilakukan menggunakan metode analisis spektral. Tujuannya adalah memperkirakan kedalaman batuan alas dan menginterpretasi model geologi bawah permukaan. Metode gayaberat dilakukan berdasarkan anomali gayaberat yang muncul karena adanya variasi rapat massa dari penyusun material bawah permukaan bumi. Hasil analisis spektral menunjukkan dua nilai kedalaman dengan rata-rata 1,71 km yang merefleksikan kedalaman batuan alas dan 10,66 km yang mencerminkan kedalaman kerak. Berdasarkan pemodelan dua dimensi bawah permukaan diperkirakan batuan alas daerah Leuwidamar adalah andesit yang memiliki densitas sebesar 2,74 g/cc. Evolusi tektonik menyebabkan terbentuknya sesar bawah permukaan dan batuan terobosan seperti granodiorit Cihara yang memiliki densitas 2,68 g/cc di bagian selatan Leuwidamar.

Kata kunci : Leuwidamar, gayaberat, analisis spektral

Abstract

Study of gravity data analysis has been done at Leuwidamar quadrangle, Banten conducted by using spectral analysis method. The goal of this research is to estimate depth of basement and to predict subsurface geological model. Gravity method is based on the gravity anomaly due to density material variations of the rock in the subsurface. Analysis spectral result shows two depth values with an average depth of 1.71 km reflecting the depth of basement, and 10.66 km reflecting the depth of the crust. Based on two dimension subsurface gravity modeling, basement at Leuwidamar quadrangle is andesitic with density 2.74 g/cc. Tectonic evolution led to the subsurface faulting and formation of intrusion such as Cihara Granodiorite with density 2.68 g/cc in the southern part of Leuwidamar.

Keywords : Leuwidamar, gravity, spectral analysis

Pendahuluan

Latar Belakang kegiatan tektonik di Leuwidamar pada umur Tersier, sama halnya seperti tektonik di Jawa Barat. Pada kala Eosen, daerah bagian selatan Leuwidamar diperkirakan merupakan cekungan laut yang di dalam cekungan itu terbentuk Formasi Bayah. Formasi ini merupakan satuan batuan tertua di daerah tersebut (Sujatmiko dan Santosa, 1992). Pada umur Eosen Akhir hingga Miosen Awal terjadi kegiatan gunung api sehingga terendapkan beberapa formasi, seperti Formasi Cikotok, Formasi Cijengkol dan Formasi Cimapag.

Di lembar Leuwidamar tersingkap satuan batuan berumur Eosen (Tersier) hingga Resen (Kwartir) yang terbagi atas Endapan Permukaan, Batuan Sedimen, Batuan Gunung Api, Batuan Terobosan dan Batuan

Metamorf (Sujatmiko dan Santosa, 1992).

Metode gayaberat digunakan karena kemampuannya dalam membedakan densitas dari suatu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya. Dari variasi densitas tersebut dapat diketahui bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah. Distribusi densitas yang tidak seragam di bawah permukaan bumi dapat disebabkan oleh struktur geologi yang ada di dalamnya.

Metode gayaberat dengan teknik analisis spektral dapat diaplikasikan untuk memastikan struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian. Struktur bawah permukaan ini diturunkan dari anomali gayaberat yang diamati di permukaan yang didasarkan pada hubungan bahwa anomali gayaberat ini merupakan refleksi variasi densitas bawah permukaan ke arah horizontal dan geometri benda anomalnya (Walidah dan Fitriana, 2011).

Kajian data gayaberat diharapkan dapat memberikan informasi mengenai densitas rata-rata dan ketebalan batuan bawah permukaan Leuwidamar yang dapat membantu untuk mengetahui kestabilan wilayah terhadap bencana alam, ketahanan serta keamanan dalam penentuan lokasi pembangunan, dan identifikasi sumber daya mineral.

Permasalahan

Penentuan kedalaman sumber anomali data gayaberat hasil pengukuran untuk kebutuhan interpretasi pemodelan merupakan masalah yang sangat penting untuk diketahui. Penafsiran data anomali gayaberat selalu bersifat ambiguitas, artinya benda dengan geometri yang berlainan dapat menghasilkan pola anomali yang identik di permukaan. Dalam membuat model bawah permukaan, kedalaman anomali dan densitas benda merupakan faktor yang mempengaruhi ambiguitas. Untuk mengatasi ambiguitas dalam pembuatan model struktur bawah permukaan maka diperlukan perhitungan kedalaman dengan menggunakan analisis spektral dan *filter moving average* sebagai teknik pemisahan anomalinnya.

Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

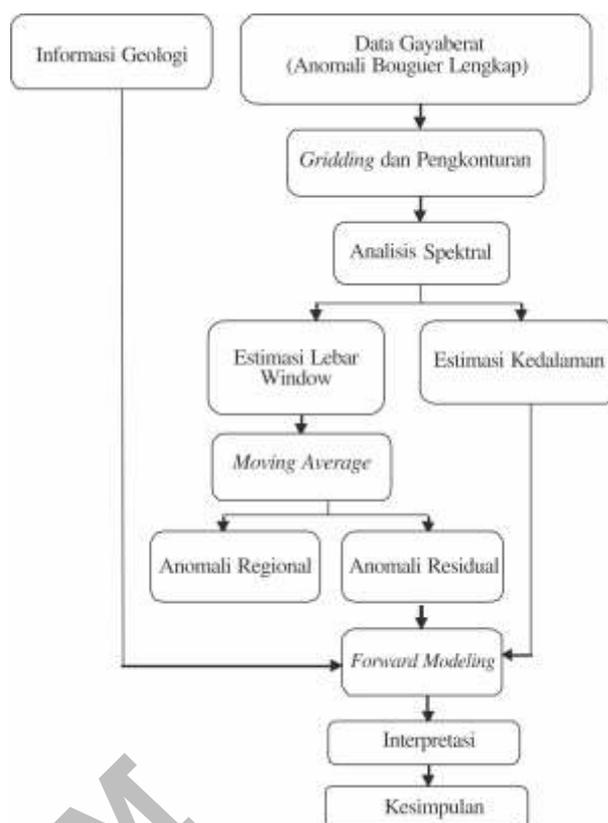
1. Mengestimasi nilai kedalaman rata-rata batuan alas di daerah Leuwidamar.
2. Menginterpretasi struktur geologi bawah permukaan daerah Leuwidamar.

Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di daerah Leuwidamar yang secara geografis terletak pada koordinat $6^{\circ}30'00''$ - $7^{\circ}00'00''$ LS dan $106^{\circ}00'00''$ - $106^{\circ}30'00''$ BT dengan luas daratan sekitar 2550 km persegi. Leuwidamar termasuk dalam wilayah Kabupaten Lebak, Banten Selatan. Di sebelah barat lembar ini berbatasan dengan Lembar Cikarang, di utara dengan Lembar Serang, di timur dengan Lembar Bogor dan di selatan dengan Samudera Hindia.

Metodologi

Penelitian ini menggunakan data gayaberat sekunder daerah Leuwidamar (Nasution dan Tasno, 1990), yang artinya proses pengambilan datanya telah dilakukan oleh tim peneliti dari Pusat Survei Geologi.

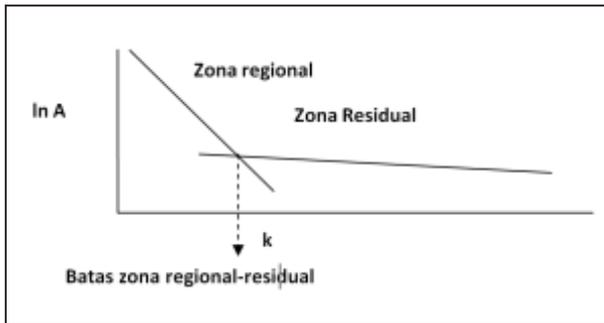


Gambar 1. Diagram alir penelitian analisis Gayaberat Lembar Leuwidamar

Metode yang digunakan untuk mengestimasi kedalaman batuan alas dan menginterpretasi struktur bawah permukaan daerah Leuwidamar adalah metode analisis spektral dan *filter moving average*. Diagram alir selengkapnya dapat dilihat pada gambar 1.

Analisis Spektral

Prinsip analisis spektral ini mengacu pada transformasi Fourier, mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Sinyal panjang gelombang pendek berasal dari sumber dangkal dan sinyal panjang gelombang tinggi berasal dari sumber yang lebih dalam (Indriana, 2008). Pada peta anomali Bouguer dibuat tujuh lintasan yang kemudian dilakukan proses digitasi pada masing-masing lintasan. Data jarak dan anomali Bouguer diproses menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) dalam spasi (x) tertentu. Hasil FFT kemudian dibuat grafik antara $\ln A$ (sumbu y) dan k (sumbu x), seperti terlihat pada Gambar 2. A adalah amplitudo dan k adalah bilangan gelombang. Gradien atau kemiringan garis dari grafik $\ln A$ terhadap k adalah



Gambar 2. Grafik hubungan lnA versus K

kedalaman bidang diskontinuitas. Gradien yang terdapat pada grafik ada dua, yaitu gradien yang bernilai besar mencerminkan bidang diskontinuitas dari anomali regional (dalam) dan gradien yang bernilai kecil adalah bidang diskontinuitas dari anomali residual (dangkal). Perpotongan antara gradien bidang diskontinuitas regional dan residual adalah bilangan gelombang kc (*cutoff*).

Metode Moving Average

Moving average merupakan perata-rataan dari data anomali gaya berat. Hasil dari metode ini adalah nilai anomali regionalnya, dan untuk residualnya diperoleh dari pengurangan antara anomali gayaberat dikurangi dengan nilai anomali regionalnya.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N}$$

i : nomor stasiun

N : lebar jendela

n : $\frac{N-1}{2}$

Δg_{reg} : anomali regional

Hal penting pada proses *moving average* adalah penentuan lebar jendela yang tepat. Bilangan gelombang *cutoff* yang diperoleh dari hasil analisis spektral digunakan sebagai masukan dalam perhitungan menentukan lebar jendela (Setiadi drr., 2010).

$$N = \frac{2\pi}{k_c \cdot \Delta x}$$

k_c : bilangan gelombang *cutoff*

N : lebar jendela

Δx : spasi pengukuran

Gravity Forward Modeling

Forward modeling atau pemodelan ke depan dilakukan berdasarkan metode dua dimensi Talwani dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Gravmag. Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon bersisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon (Talwani, 1959).

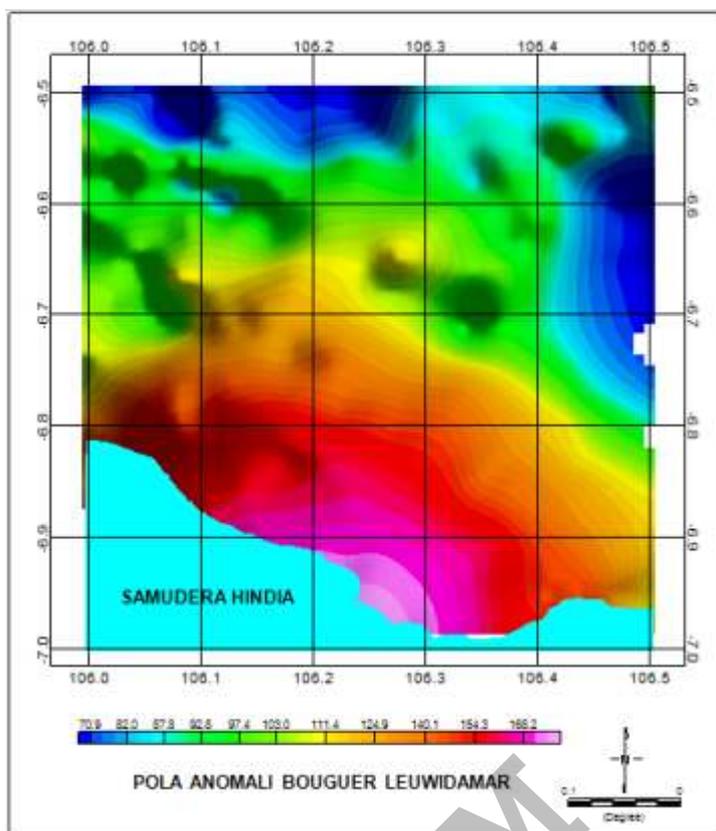
Pada peta anomali residual dibuat penampang lintasan yang dapat mewakili daerah penelitian (Setiadi drr., 2010). Anomali gayaberat model bawah permukaan disebut *calculated (cal) anomaly* dan anomali gayaberat hasil pengukuran disebut *observed (obs) anomaly*. Model bawah permukaan ini dibuat sedemikian rupa sehingga anomali gayaberat model sesuai dengan anomali gayaberat pengukuran. Pada tahapan ini diperlukan informasi geologi, yang berkaitan dengan daerah penelitian, dan estimasi nilai kedalaman bidang diskontinuitas hasil analisis spektral.

Hasil dan Pembahasan

Anomali Bouguer

Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) daerah Leuwidamar (Nasution dan Tasno, 1990) yang telah dilakukan pendigitizan dan pengkonturan ulang (Gambar 3) mempunyai rentang nilai anomali antara 49,5 mGal sampai dengan 188,8 mGal. Gradasi warna pada peta menunjukkan variasi nilai anomali yang terdapat pada daerah penelitian. Anomali rendah memiliki rentang anomali dari 49,5 mGal sampai dengan 89,3 mGal dan terdapat di sebelah timur hingga utara. Anomali sedang yang memiliki rentang anomali dari 89,3 mGal sampai dengan 113,7 mGal terdapat di bagian tenggara hingga barat. Anomali tinggi yang memiliki rentang anomali 113,7 mGal sampai dengan 188,8 mGal terdapat di daerah bagian selatan.

Anomali rendah diduga disebabkan oleh banyaknya sesar dan aktivitas panas bumi di bawah permukaan karena di bagian timur terdapat gunung api seperti Gunung Halimun dan Gunung Endut. Anomali tinggi di bagian selatan disebabkan karena komposisi batuan penyusun lebih *massive* dan adanya batuan beku yang menerobos ke permukaan.



Gambar 3. Pola kontur anomali Bouguer daerah Leuwidamar (Nasution dan Tasno, 1990)

Analisis Spektral

Analisis spektral dilakukan dengan transformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan. Sinyal frekuensi di bawah permukaan yang lebih dalam (kerak bumi) akan semakin homogen. Hal tersebut disebabkan benda atau batuan di bawah permukaan yang lebih dalam cenderung memiliki densitas yang sama. Berbeda dengan di bawah permukaan dangkal, sinyal frekuensinya akan tinggi karena benda yang dapat menimbulkan anomali cenderung lebih bervariasi sehingga densitasnya akan semakin beragam.

Pada peta anomali Bouguer daerah Leuwidamar dibuat tujuh penampang lintasan yang membentang dari utara ke selatan. Ketujuh penampang lintasan (seperti terlihat pada Gambar 4) dianalisis dengan menggunakan spasi (x) 5 km, kemudian dianalisis spektralnya untuk mengetahui kedalaman bidang diskontinuitas dalam dan dangkal. Kedalaman bidang diskontinuitas dalam hal ini adalah nilai kemiringan (gradien) dari \log power spektral (\ln Amplitudo) terhadap frekuensi.

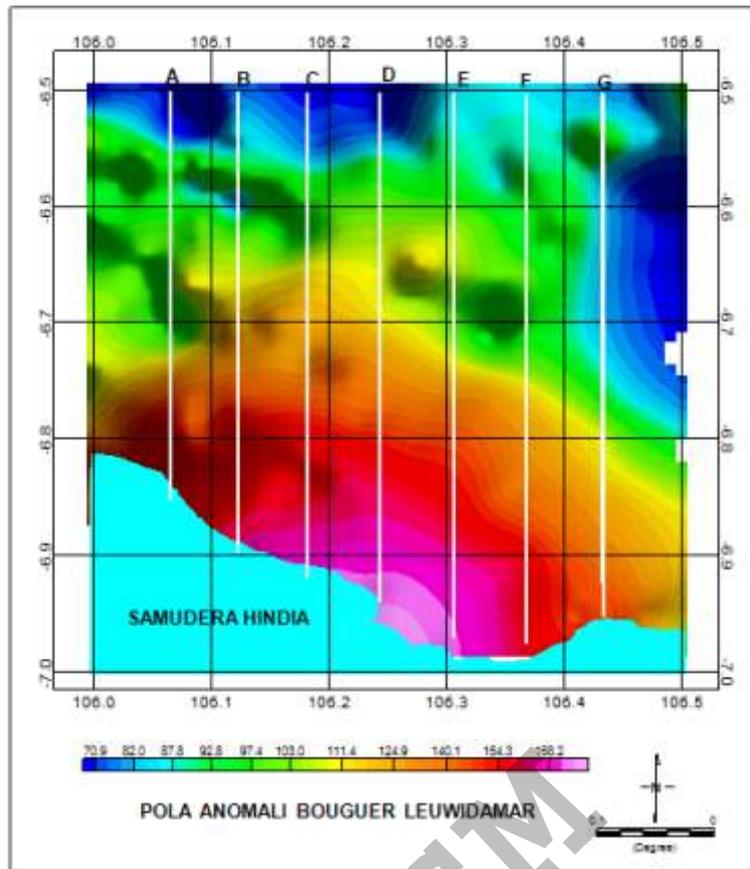
Dari grafik diperoleh dua gradien garis yang mencerminkan dua kedalaman, yaitu kedalaman

yang lebih dalam (regional), dan kedalaman yang lebih dangkal (residual).

Hasil analisis spektral penampang lintasan A menunjukkan kedalaman diskontinuitas pertama adalah 7,98 km yang dapat diinterpretasikan sebagai kedalaman bidang kerak, dan kedalaman diskontinuitas kedua adalah 2,06 km yang dapat diinterpretasikan sebagai kedalaman batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua adalah bilangan gelombang *cutoff* yang memiliki nilai 0,22.

Nilai kedalaman bidang diskontinuitas dalam dan dangkal ketujuh lintasan dirata-ratakan yang hasilnya ditunjukkan dalam tabel 1.

Rata-rata kedalaman bidang diskontinuitas dalam adalah 10,66 km dan diinterpretasikan sebagai rata-rata kedalaman bidang batas antara kerak atas dan kerak bawah yang materialnya lebih padat sehingga memiliki kontras densitas yang berbeda. Sedangkan rata-rata kedalaman bidang diskontinuitas dangkal yang merupakan kedalaman batuan sedimen sebesar 1,71 km.



Gambar 4. Pola kontur anomali Bouguer daerah Leuwidamar

Tabel 1. Kedalaman bidang diskontinuitas penampang lintasan A-G

No	Lintasan	Kedalaman bidang diskontinuitas dalam (km)	Kedalaman bidang diskontinuitas dangkal (km)
1	Lintasan A	7,98	2,06
2	Lintasan B	13,30	1,69
3	Lintasan C	10,47	1,70
4	Lintasan D	9,59	1,72
5	Lintasan E	10,35	1,46
6	Lintasan F	11,93	1,46
7	Lintasan G	10,97	1,91
	Rata-rata	10,66	1,71

Tabel 2. Bilangan gelombang *cutoff* (k_c) dan lebar jendela (N)

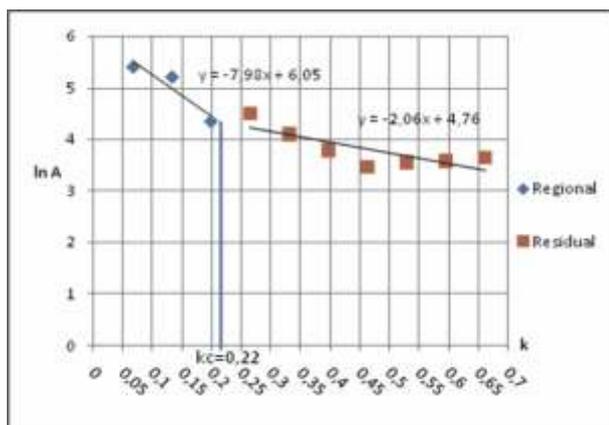
No	Lintasan	Bilangan gelombang (k_c)	Lebar jendela (N)
1	Lintasan A	0,22	5,57
2	Lintasan B	0,16	7,85
3	Lintasan C	0,18	6,98
4	Lintasan D	0,20	6,28
5	Lintasan E	0,21	5,98
6	Lintasan F	0,20	6,28
7	Lintasan G	0,18	6,98
	Rata-rata	0,19	6,58

Moving Average

Nilai bilangan gelombang *cutoff* (k_c) rata-rata dari ketujuh penampang lintasan adalah 0,19 (Tabel 2). Setiap bilangan gelombang *cutoff* yang dihasilkan kemudian dihitung lebar jendela yang akan digunakan untuk filtering daerah penelitian.

Hasil rata-rata lebar jendela dari ketujuh penampang lintasan adalah 6,52.

Jendela optimal yang diperoleh dari analisis spektral adalah 7 dengan grid spasi (x) 5, sehingga lebar jendela yang digunakan untuk proses penapisan di daerah Leuwidamar adalah (35 x 35) km.



Gambar 5. Grafik lnA vs k lintasan A

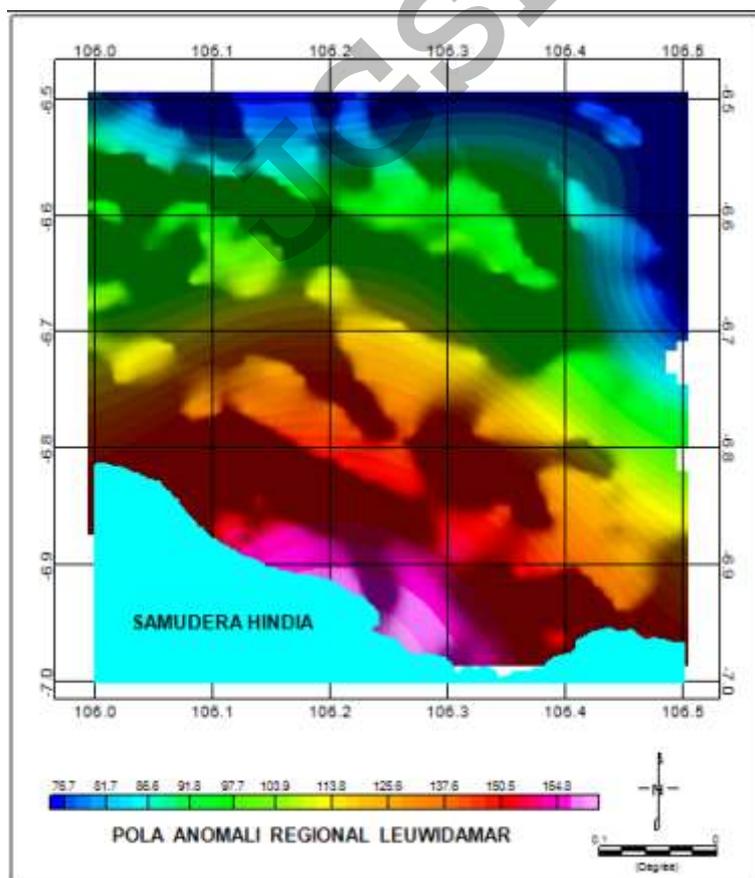
Semakin besar grid spasi yang digunakan, maka lebar jendela yang diperoleh akan semakin lebar.

Anomali Regional

Pola kontur anomali regional berarah timur laut – barat daya untuk anomali rendah dan utara- selatan untuk anomali tinggi (seperti terlihat pada Gambar 6). Pada peta anomali regional terlihat bahwa

rentang anomali regional yang terdapat di daerah Leuwidamar adalah 62 mGal sampai dengan 173,6 mGal. Anomali rendah terdapat di bagian timur laut memanjang ke utara sampai barat laut dengan rentang nilai antara 62 mGal sampai 89,1 mGal. Anomali sedang terletak di bagian timur memanjang ke tengah sampai barat dengan rentang nilai 89,1 mGal sampai dengan 117,7 mGal. Sedangkan anomali tinggi terdapat di bagian selatan daerah penelitian yang memiliki rentang nilai anomali antara 117,7 mGal sampai 173,6 mGal.

Anomali rendah kemungkinan disebabkan oleh batuan dengan nilai densitas rendah (batuan sedimen). Morfologi daerah Leuwidamar menunjukkan di sebelah timur hingga tengah terdapat deretan gunung berapi sehingga anomali rendah ini diduga akibat aktivitas panas bumi. Anomali tinggi terdapat di bagian selatan Leuwidamar, disebabkan karena bagian selatan adalah zona subduksi lempeng India-Australia dengan lempeng Pulau Jawa. Proses tektonik menyebabkan terbentuknya batuan terobosan yang menerobos sampai ke permukaan.



Gambar 6. Pola kontur anomali Regional daerah Leuwidamar

Anomali Residual

Anomali residual diperoleh dengan melakukan pengurangan anomali Bouguer dengan anomali residual hasil penapisan *moving average*. Anomali residual (Gambar 7) mempunyai rentang anomali antara -29,4 mGal sampai dengan 16,7 mGal. Peta anomali residual memperlihatkan pola anomali yang lebih kompleks dengan panjang gelombang lebih pendek.

Anomali rendah memiliki rentang antara -29,4 mGal sampai dengan -3,6 mGal yang mengindikasikan zona runtahan sesar yang disebabkan oleh adanya tunjaman kerak samudera dan kerak benua. Anomali sedang memiliki rentang nilai antara -3,6 mGal sampai dengan 2,7 mGal. Anomali sedang disebabkan oleh batuan sedimen cukup tebal yang menutupi bagian tengah daerah penelitian.

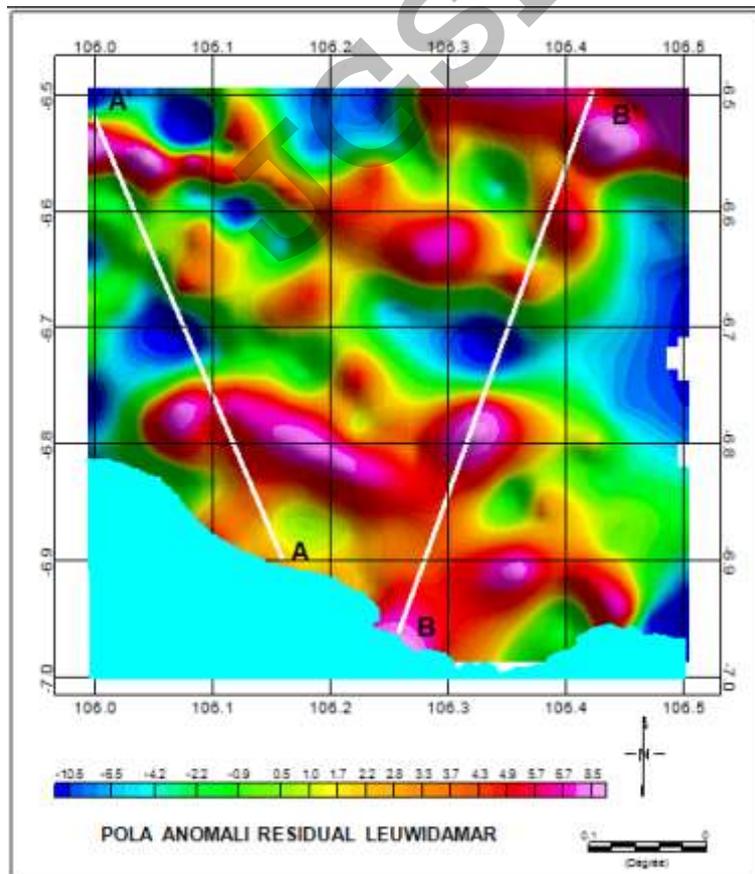
Anomali tinggi memiliki rentang nilai anomali antara 2,7 mGal sampai 16,7 mGal. Anomali tinggi di bagian selatan disebabkan oleh batuan beku dan metamorf yang mempunyai densitas tinggi dan berada dalam lingkungan batuan sedimen yang memiliki densitas rendah.

Interpretasi Model Bawah Permukaan

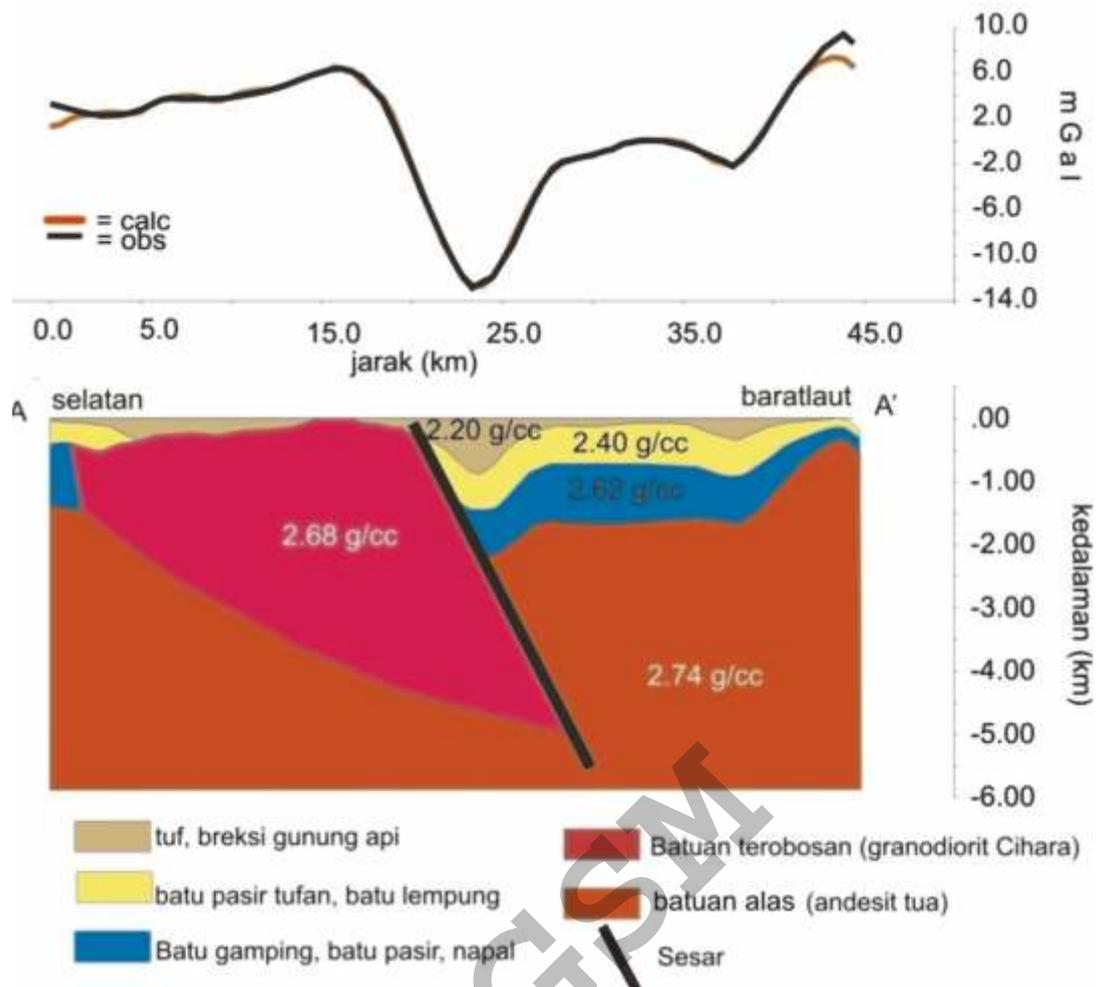
Penampang lintasan AA' (seperti terlihat pada Gambar 8) memiliki panjang lintasan 45 km dan membentang dari selatan hingga barat laut. Penampang AA' memiliki anomali Bouguer yang memiliki rentang antara -13 mGal hingga 10 mGal.

Anomali positif yang membentuk tinggian diperkirakan terobosan batuan beku Granodiorit Cihara yang sampai ke permukaan dengan densitas 2,68 g/cc. Batuan terobosan Granodiorit Cihara ini berbentuk batolit yang cukup besar dan menerobos beberapa lapisan batuan di atasnya. Anomali negatif yang bernilai -13 mGal diperkirakan adanya sesar bawah permukaan. Di sebelah barat laut terdapat anomali tinggi yang bernilai 10 mGal yang merupakan antiklin dari batu pasir Formasi Bojongmanik.

Penampang lintasan AA' tersusun atas batuan sedimen yang memiliki densitas 2,20 g/cc dengan tebal rata-rata sekitar 100 meter, batuan sedimen yang densitas 2,40 g/cc dengan tebal 500 meter, batuan sedimen yang memiliki densitas 2,62 g/cc dengan ketebalan sekitar 1000 meter.



Gambar 7. Pola kontur anomali Residual daerah Leuwidamar



Gambar 8. Model bawah permukaan lintasan AA'

Batuan sedimen ini merupakan batuan berumur Tersier.

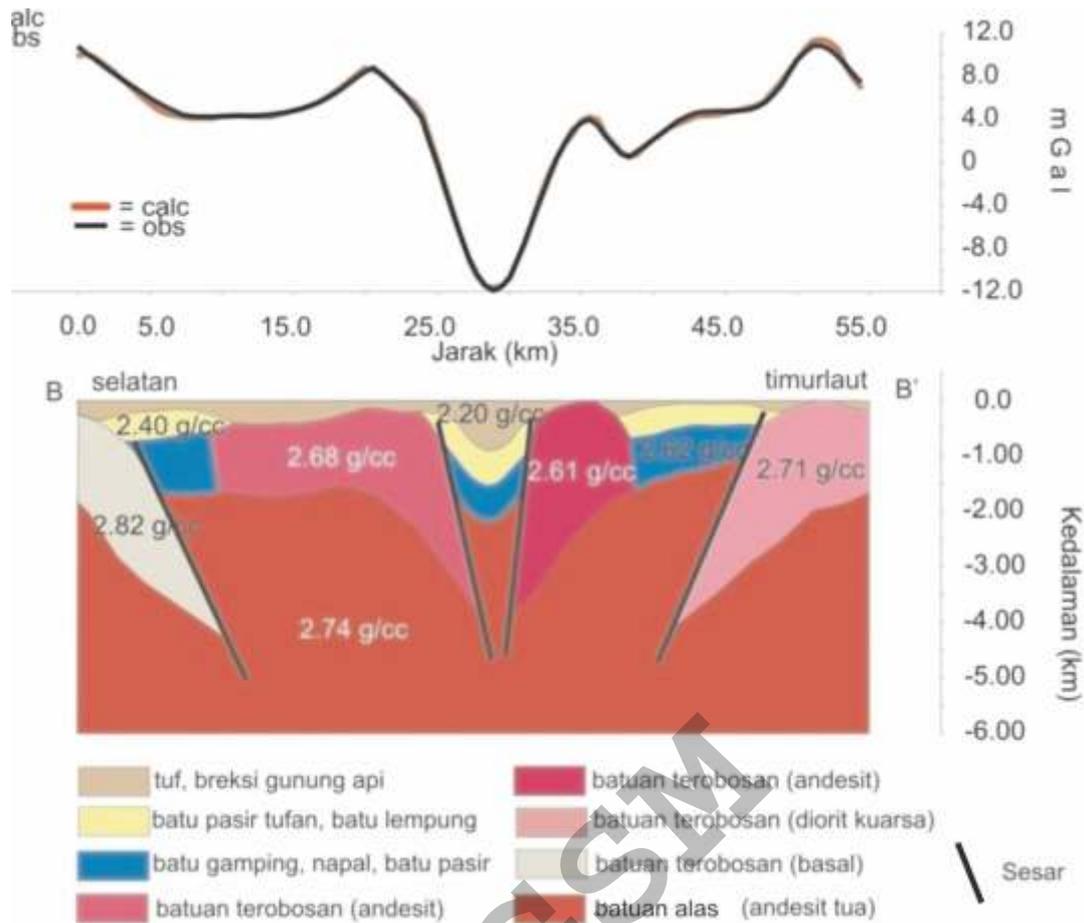
Lapisan keempat merupakan batuan alas yang diperkirakan batuan andesit yang memiliki densitas 2.74 g/cc. Berdasarkan tatanan geologi Pulau Jawa yang dikemukakan oleh van Bemmelen (1949), pada kala Neogen di Pulau Jawa bagian selatan terbentuk formasi andesit tua sehingga kemungkinan batuan yang mengalasi batuan sedimen yang berada di daerah Leuwidamar pada umumnya adalah batuan andesit.

Penampang BB' (gambar 9) memiliki panjang lintasan 55 km dengan kisaran anomali antara -12 mGal sampai dengan 12 mGal. Batuan terobosan yang terlewati penampang BB' terdiri dari batuan basal terletak di bagian selatan Leuwidamar dengan volume yang cukup besar dan memiliki densitas 2,82 g/cc. Basal ini kemungkinan berasal dari kerak samudera yang menunjam ke kerak benua.

Batuan terobosan selanjutnya adalah andesit yang memiliki densitas 2,68 g/cc dan 2,61 g/cc. Batuan terobosan ketiga adalah batuan diorit kuarsa yang terletak di bagian timur laut dan memiliki densitas 2,71 g/cc.

Nilai kedalaman batuan alas daerah Leuwidamar rata-rata sebesar 1,71 km, diperoleh berdasarkan estimasi perhitungan kedalaman berdasarkan analisis spektral. Di beberapa lintasan diperoleh nilai kedalaman lebih besar, tetapi pada umumnya kedalaman yang diperoleh masih sesuai dengan kedalaman daerah busur kepulauan pada umumnya.

Anomali yang terdapat di daerah Leuwidamar termasuk anomali yang tinggi. Evolusi tektonik yang terjadi di Leuwidamar telah memunculkan batuan terobosan bawah permukaan sehingga menyebabkan anomali tinggi. Semakin banyak tipe batuan di bawah permukaan mengakibatkan nilai



Gambar 9. Model bawah permukaan lintasan BB'

anomali Bouguer yang terdapat di Leuwidamar bervariasi dan nilai densitasnya berbeda.

Kesimpulan

- Dari hasil analisis spektral diperoleh kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dangkal sebesar 1,71 km dan kedalaman bidang diskontinuitas dalam sebesar 10,66 km. Hal tersebut menunjukkan bahwa bidang batas antara batuan alas (*basement*) dan batuan sedimen terdapat pada kedalaman rata-rata 1,71 km.
- Hasil model struktur bawah permukaan menunjukkan batuan alas yang mengalasi sedimen daerah penelitian adalah batuan andesit yang mempunyai densitas 2,74 g/cm³, sedangkan batuan sedimen penyusunnya terdiri dari batu gamping, batupasir, batuan gunung api berupa tuf yang masing-masing densitasnya

2,62 g/cc, 2,40 g/cc dan 2,20 g/cc. Pada lintasan AA' yang berarah dari selatan ke barat laut terdapat batuan terobosan yang mempunyai densitas 2,68 g/cc. Batuan terobosan ini diperkirakan Granodiorit Cihara yang menerobos ke permukaan. Sedangkan pada lintasan BB' terobosannya berupa batuan andesit yang mempunyai densitas 2,61 g/cc, batuan diorit kuarsa yang mempunyai densitas 2,71 g/cc, dan batuan basal yang mempunyai densitas 2,82 g/cc.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas dukungan dan kesempatannya, untuk menyelesaikan tulisan ini. Tidak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih kepada tim editor yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan tulisan ini.

Acuan

- Bemmelen, R.W. van, 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. I A, Govt. Print. Office, The Hague, 732 p.
- Indriana, Dwi Rina. 2008. Estimasi Ketebalan Sedimen dan Kedalaman Diskontinuitas Mohorovicic Daerah Jawa Timur dengan Analisis Power Spektrum Data Anomali Gravitasi. *Berkala Fisika*. Vol. 11 , No.2: 67-74.
- Nasution, J. dan Tasno, D.P., 1990, *Peta Anomali Bouguer Lembar Leuwidamar Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Setiadi, I., Setyanta, B., Widijono, B.S. 2010. Delinasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Beralaskan Analisa Data Gayaberat. . *Jurnal Sumber Daya Geologi* Vol. 20 No. 2: 93-106.
- Sujatmiko dan Santosa. 1992. *Peta Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa, skala 1:100.000*, Peta Geologi Bersistem Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Talwani, M. 1959. *Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone*. New York : Columbia University.
- Walidah dan Fitriana I. 2011. Penentuan Struktur Bawah Permukaan Beralaskan Analisa dan Pemodelan Gayaberat untuk Melihat Potensi Hidrokarbon pada Daerah FW1807 Cekungan Jawa Timur Utara. Skripsi pada FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia Depok: tidak diterbitkan.

JGSM