

PEMODELAN KONFIGURASI BATUAN DASAR DAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN DATA ANOMALI GRAVITASI DI DAERAH PACITAN – ARJOSARI – TEGALOMBO, JAWA TIMUR

Yesika Wahyu Indrianti¹, Adi Susilo¹, Hikhmadhan Gultaf²

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²PT ETTI (PT. Exploration Think Tank Indonesia)

Email: yesika.wahyu@gmail.com

Abstrak

Penelitian geofisika telah dilakukan dengan metode gravitasi yang meliputi wilayah Kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo. Data anomali gravitasi yang digunakan adalah data sekunder hasil digitasi peta Anomali Bouguer lembar Pacitan, Jawa yang disusun oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung. Dalam penelitian ini ditunjukkan secara lebih jelas mengenai kondisi geologi bawah permukaan dan konfigurasi batuan dasarnya (*basement*).

Data anomali hasil digitasi digabungkan dengan data topografi. Data topografi diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> yang telah tergrid setiap 1 menit. Ukuran dan spasi *grid* data anomali Bouguer dan topografi dibuat sama dengan ukuran *grid* 64 x 100 serta spasi *grid* 555 meter untuk dibawa ke dalam proses reduksi bidang datar dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan menggunakan metode *moving average* dengan lebar window yang digunakan 21x21. Pemodelan bawah permukaan diperoleh dari membuat lintasan sebanyak 13 lintasan. Hasil pemodelan menunjukkan terdapat 2 orientasi sesar yang mengarah dari timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Gambaran mengenai sesar Grendulu yaitu sesar yang tampak di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di lapisan batuan dasar dengan arah orientasi barat daya-timur laut. Densitas lapisan batuan dasar sebesar 2,81 gr/cm³ yang diperoleh dari nilai kontras batuan pada pemodelan. Pada penelitian ini lapisan batuan dasar mencapai kedalaman 2 km hingga 3,7 km.

Kata kunci : anomali gravitasi, pemodelan, *basement*, Pacitan

PENDAHULUAN

Kerangka tektonik pulau Jawa tidak dapat dipisahkan dari sejarah tektonik global, yaitu konsep pergerakan dan pecahnya kontinen Gondwana serta interaksinya antara Lempeng Eurasia dengan Hindia-Australia dan Lempeng Pasifik. Daerah Pacitan dan sekitarnya secara regional merupakan zona peralihan antara jalur subduksi Zaman Kapur dengan Zaman Tersier, sehingga kemungkinan pola dan perkembangan struktur utamanya pada Paleogen dan Neogen akan terpengaruh. Dari kenampakan citra landsat dan data pengukuran di lapangan, didapatkan bahwa daerah penelitian struktur geologinya sangat kompleks [1].

Daerah Pacitan dan sekitarnya atau daerah penelitian ini secara geografis terletak pada 08° 00' - 08° 20' Lintang Selatan dan 111° 00' - 111° 30' Bujur Timur. Termasuk daerah Kecamatan Arjosari, Tegalombo dan Kabupaten Pacitan sendiri. Daerah ini memiliki garis pantai yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, yang secara geologis merupakan daerah tepian benua aktif yang dicirikan dengan aktivitas kegempaan yang intensif dan sebagian berpotensi menimbulkan tsunami [2].

Salah satu sesar yang terletak di Pacitan adalah sesar Grindulu. Sesar Grindulu merupakan sesar yang terbentuk pada zaman kuartar yang berorientasi timurlaut-baratdaya dan berada di sebelah selatan di Pulau Jawa. Sesar Grindulu merupakan jalur patahan lempeng benua yang membentuk Pulau Jawa, yang membentang di lima kecamatan, yakni Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, serta Donorojo.

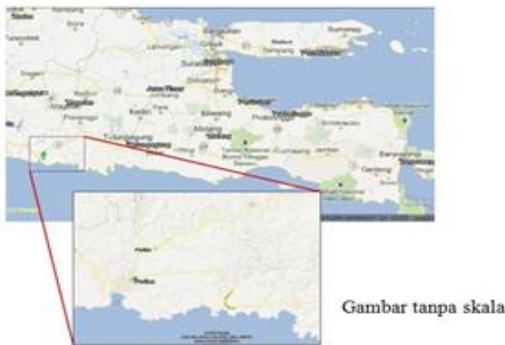
Metode gayaberat adalah metode geofisika yang banyak digunakan dalam kegiatan eksplorasi untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan. Metode ini merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi medan gravitasi bumi. Struktur bawah permukaan ini diturunkan dari anomali gayaberat Bouguer yang diamati di permukaan [3].

Pemetaan gayaberat daerah Pacitan telah dilakukan pada tahun 1991 oleh Marzuki dan R. Otong untuk membuat peta anomali Bouguer lembar Pacitan, Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data anomali gravitasi wilayah Pacitan, Arjosari dan Tegalombo propinsi Jawa Timur untuk mengetahui kondisi batuan dasar dan struktur geologi bawah permukaan daerah

penelitian serta menentukan model struktur batuan bawah permukaan daerah penelitian, sehingga dapat dijadikan sumber informasi lebih lanjut.

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data sekunder yang diperoleh dari peta Anomali Bouguer lembar Pacitan yang disusun oleh Marzuki dan R. Otong (1991). Adapun pengolahan dan interpretasi data dilakukan pada tanggal 10 Juni – 10 Desember 2013 di laboratorium Geofisika FMIPA Universitas Brawijaya. Secara administratif, lokasi penelitian berada pada koordinat 08° 00' - 08° 20' Lintang Selatan dan 111° 00' - 111° 30' Bujur Timur yang terletak di kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo, propinsi Jawa Timur.



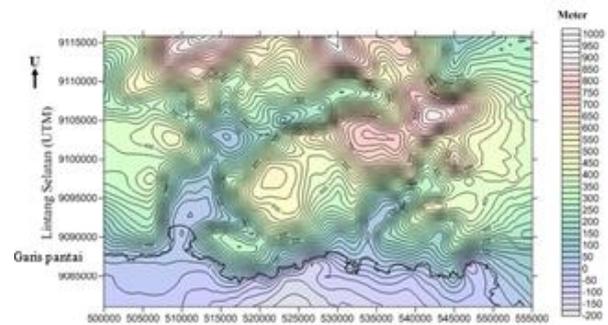
Gambar 1 : Lokasi penelitian berada di Kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo

Data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Data anomali gravitasi hasil digitasi Peta Anomali Bouguer lembar Pacitan (Marzuki dan Otong, 1991)
- 2) Data topografi daerah penelitian yang diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> dengan memasukkan koordinat daerah penelitian
- 3) Unit komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak Microsoft Office, MapInfo Profesional, Matlab, Global Mapper, Surfer 11, Magpick dan Grav2dc.

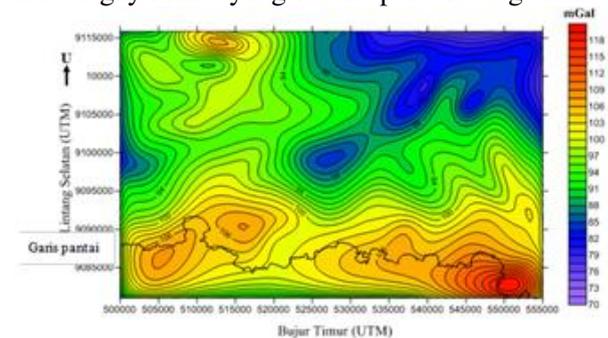
Data gravitasi yang digunakan telah dikoreksi terhadap pengaruh apungan alat dan pasang surut bumi. Nilai tersebut selanjutnya disusutkan menjadi anomali Bouguer dan dinyatakan dalam μms^{-2} . Rapat massa untuk perhitungan diambil $2,67 \text{ gcm}^{-3}$. Data tersebut juga telah dikoreksi lintang berdasarkan sistem acuan Himpunan Geodesi, IAG 1967. Untuk koreksi medan (*terrain*) dilakukan berdasarkan cara Hammer (1938), yang perhitungannya dilakukan sampai zona K.

Anomali Bouguer lembar Pacitan diregister ke dalam perangkat lunak MapInfo Profesional 11 dan dilakukan proses digitasi. Setelah diperoleh data koordinat posisi xy dan nilai anomali Bouguer kemudian data diolah dengan menggunakan program Surfer 11 untuk mendapatkan kontur anomali Bouguer seperti yang dihasilkan dari peta anomali Bouguer lembar Pacitan oleh Marzuki dan R. Otong (1991). Selain itu data anomali hasil digitasi tersebut juga akan digabungkan dengan data topografi. Data topografi diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> yang telah tergrid setiap 1 menit. Ukuran dan spasi grid data anomali Bouguer dan topografi dibuat sama dengan ukuran grid 64 x 100 serta spasi grid 555 meter untuk dilakukan proses dari reduksi bidang datar.



Gambar 2 : Peta Topografi daerah penelitian (sumber data : <http://topex.ucsd.edu>)

Pengolahan selanjutnya adalah reduksi bidang datar. Langkah ini dilakukan karena data anomali Bouguer lengkap masih berada pada permukaan topografi dengan ketinggian yang bervariasi sedangkan dalam analisa lanjut yaitu pemodelan 2,5D dan 3D diperlukan data anomali medan gaya berat yang berada pada bidang datar.

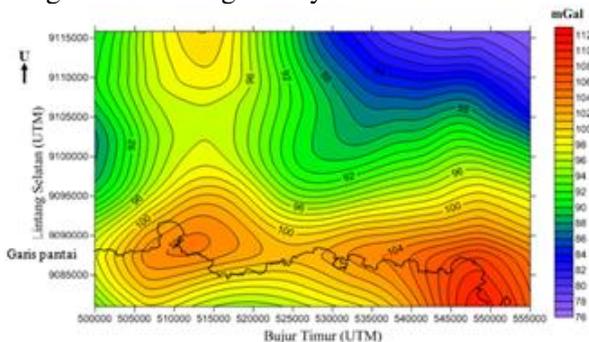


Gambar 3 : Peta anomali Bouguer hasil reduksi bidang datar

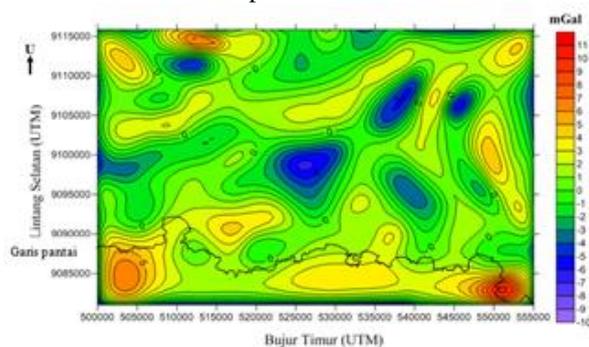
Pada penelitian ini pemisahan anomali Bouguer regional dan anomali Bouguer residual menggunakan metode *moving average*. Peta anomali yang telah terproyeksi ke bidang datar dibuat beberapa lintasan (*slice*) untuk mendapatkan profil dari anomalnya. Data dari masing-masing penampang ini dilakukan transformasi Fourier untuk mendapatkan nilai

bilangan gelombang dan amplitudo yang akan dibuat grafik hubungan antara keduanya. Dari grafik tersebut didapatkan 2 kemiringan (*gradien*) yang mencerminkan 2 kedalaman. Grafik dengan frekuensi rendah menggambarkan kedalaman yang lebih dalam (regional) sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi menggambarkan kedalaman yang lebih dangkal. Hasil dari analisis spektral dengan melihat hasil grafik hubungan antara bilangan gelombang dan amplitudo menghasilkan nilai yaitu nilai rata-rata yang digunakan untuk menentukan lebar *window* dari *moving average*.

Proses dari *moving average* diawali dengan membuka perangkat lunak *Surfer 11*. Pilih *grid* kemudian *filter* dan pilih *moving average*. Setelah itu mengisi kolom dan baris dengan nilai yang didapat dari proses analisa spektrum yaitu 21x21, maka diperoleh hasil regional. Sedangkan untuk anomali residual diperoleh dari pengurangan nilai anomali Bouguer lengkap dengan anomali regionalnya.



Gambar 4 : Peta anomali Bouguer regional daerah penelitian



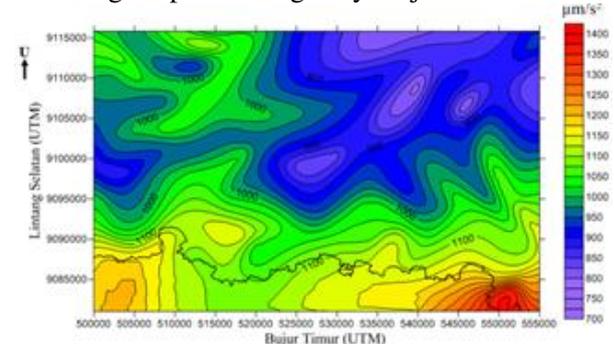
Gambar 5 : Peta anomali Bouguer residual daerah penelitian

Pemodelan 2,5D ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Grav2dc for windows*. Masukan dari program ini berupa data jarak antar stasiun dan nilai anomali residual tiap stasiun. Setelah memasukkan kedua data tersebut ke dalam program *Grav2dc for windows*, maka dilakukan pembuatan model dengan suatu bentuk (*body*) menggunakan nilai kontras densitas tertentu sehingga menghasilkan respon yang cocok dengan data lapangan. Informasi tambahan berupa peta dan data geologi daerah

penelitian dapat membantu dalam membuat pemodelan ini. Sedangkan untuk pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 11*. Masukan yang digunakan berupa data dari posisi lintang, bujur serta data kedalaman diperoleh dari model 2,5D yang telah dibuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal dalam penelitian ini adalah membawa peta anomali Bouguer lembar Pacitan ke dalam perangkat lunak *MapInfo Professional 10* untuk melakukan proses digitasi peta anomali Bouguer. Proses digitasi tersebut dilakukan dengan selang kontur setiap $100 \mu\text{m/s}^2$ dan diperoleh nilai lintang dan bujur (xy) dalam derajat dan UTM (*Unit Transvers Mecator*). Hasil digitasi yang diperoleh selanjutnya digambarkan kembali kontur anomali gravitasinya dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 11*. Hal ini dilakukan beberapa kali iterasi untuk mendapatkan data digital anomali Bouguer lengkap yang memiliki pola kontur yang sama dengan peta asli anomali Bouguer lengkap lembar Pacitan. Data yang diperoleh berukuran grid 64 x 100 dengan spasi antar gridnya sejauh 555 meter.

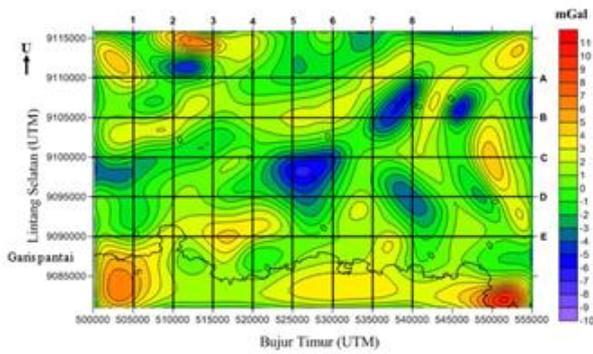


Gambar 5 : Peta anomali Bouguer Pacitan yang telah didigitasi (*grid* 64x100)

Anomali Bouguer setelah didigitasi kemudian dibawa ke bidang datar dan dipisahkan anomali regional dan residualnya kemudian tahap selanjutnya adalah membuat pemodelan.

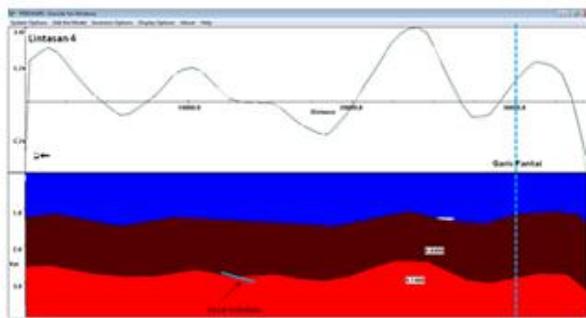
- **Model 2,5D struktur dangkal**

Pemodelan struktur dangkal dilakukan berdasarkan analisis anomali residual dengan menggunakan 8 lintasan pada garis lintang serta 5 lintasan pada garis bujur (gambar 6). Lintasan ini dibuat berdasarkan lokasi penelitian yang terletak pada wilayah Pacitan, Arjosari hingga Tegalombo

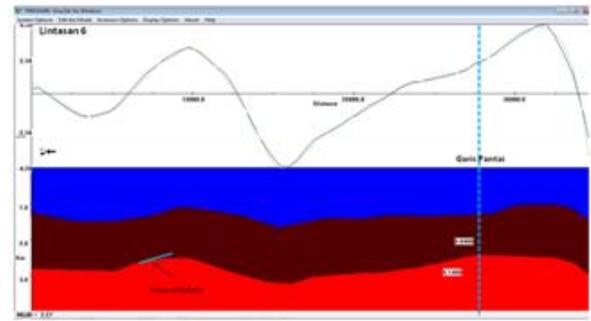


Gambar 6 : Peta kontur anomali medan gravitasi residual dengan lintasan *slicing* 1-8 pada garis lintang dan A-E pada garis bujur.

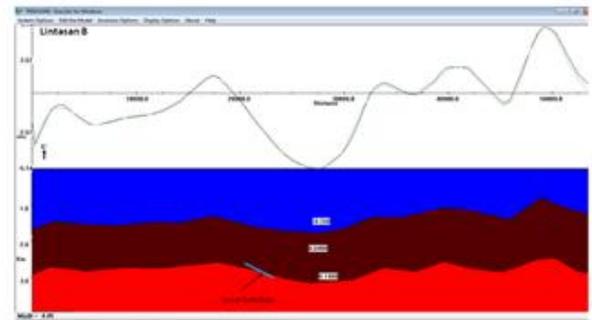
Pada pemodelan diasumsikan bahwa struktur lapisan bawah permukaan terdiri dari 3 lapisan. Hasil pemodelan (Gambar 7–10) diperoleh 3 lapisan batuan yaitu lapisan paling atas merupakan lapisan sedimen *Tersier* dengan densitas sebesar $2,51 \text{ gr/cm}^3$, lapisan di bawahnya merupakan lapisan sedimen *Pratersier* dengan densitas sebesar $2,63 \text{ gr/cm}^3$ dan lapisan paling bawah merupakan lapisan batuan dasar (*basement*) yang terdiri dari batuan lava, basalt, granit dan andesit dengan densitas sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$. Dengan menggunakan nilai densitas $2,67 \text{ gr/cm}^3$ sebagai nilai densitas rata-rata batuan (densitas regional batuan) untuk membuat pemodelan, maka digunakan nilai kontras densitas lapisan sedimen *Tersier* sebesar $-0,16 \text{ gr/cm}^3$, lapisan tengah sedimen *Pratersier* $0,04 \text{ gr/cm}^3$ dan lapisan *basement* $0,14 \text{ gr/cm}^3$. Pemodelan yang didapatkan bahwa kedalaman yang dicapai untuk konfigurasi lapisan *basement* berkisar antara 2 km hingga 3,7 km.



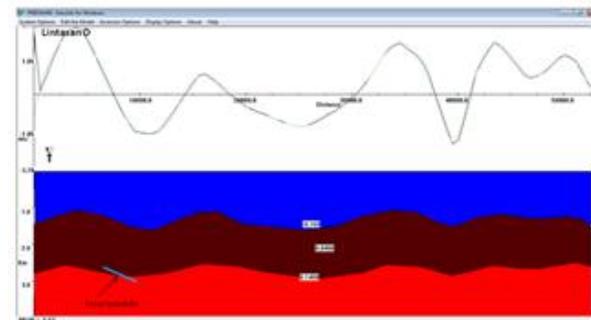
Gambar 7 : Model 2,5D bawah permukaan lintasan 4



Gambar 8 : Model 2,5D bawah permukaan lintasan 6



Gambar 9 : Model 2,5D bawah permukaan lintasan B



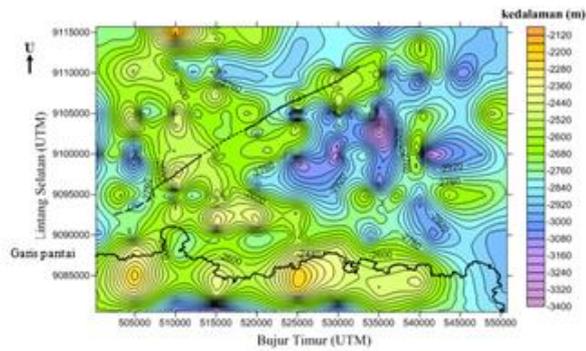
Gambar 10 : Model 2,5D bawah permukaan lintasan D

Pada lintasan 4 dan 6 serta lintasan B dan D (gambar 7-10) menunjukkan pada model tersebut bahwa sesar yang teramati di daerah penelitian diduga sampai di permukaan batuan dasar.

- **Model 3 Dimensi**

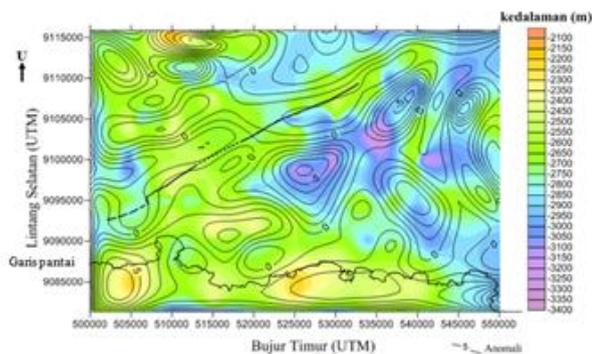
Untuk memperjelas gambaran mengenai konfigurasi dari batuan dasar bawah permukaan maka dibuat model 3 dimensi. Adapun struktur yang digambarkan dalam model 3 dimensi ini adalah lapisan batuan.

Untuk lebih memperjelas penyebaran kedalaman batuan dasar maka dibuat peta kontur kedalaman batuan dasar yang diperoleh dari model 2,5 dimensi (Gambar 11)



Gambar 11 : Kontur 2 dimensi dari kedalaman basement

Untuk menunjukkan hubungan antara kontur anomali gravitasi dengan kedalaman batuan dasar maka dibuat peta kontur anomali gravitasi residual daerah penelitian yang *dioverlay*-kan dengan peta kontur kedalaman lapisan batuan dasar daerah penelitian. Dari Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin negatif suatu anomali gravitasi maka semakin dalam lapisan batuan dasarnya, sebaliknya semakin positif nilai anomali gravitasi maka semakin dangkal lapisan batuan dasar.

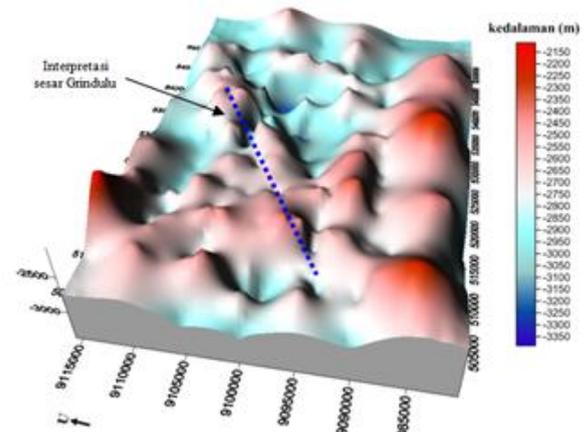


Gambar 12 : *Overlay* kedalaman batuan dasar dengan kontur anomali residual

Pada model 3 dimensi (gambar 13) dapat dilihat bahwa struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian sangatlah kompleks. Hal ini dapat dilihat dari ketinggian dari batuan dasar yang muncul pada model 3D yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, Heru Sigit. 1997. *Analisis dan Genesa Pembentukan Struktur Geologi pada Batuan Berumur Oligosen-Miosen, di Daerah Pacitan dan Sekitarnya Kabupaten Pacitan, Jawa Timur : Thesis*. Bandung : ITB.
- [2] Kurniawan, Nandi. 2012. *Profil Kabupaten Pacitan*. <http://georegionalindonesia.blogspot.com/2011/09/profil-kabupaten-pacitan.html> diakses pada tanggal 4 juli 2013 pukul 13.41 WIB
- [3] Kadir, W. G. A., 1999. *The 4-D Gravity Survey and it's Subsurface Dynamics : a Theoretical Approach, Proceeding of 24 HAGI Annual Meeting*. Surabaya.



Gambar 13 : Model 3D kedalaman basement daerah penelitian

Pada area penelitian ditemukan adanya 2 orientasi sesar yang mengarah dari timur laut ke arah barat daya dan dari arah barat laut ke arah tenggara. Dalam penelitian ini gambaran mengenai sesar Grendulu yaitu sesar yang tampak di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di lapisan batuan dasar dengan arah orientasi barat daya-timur laut.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang didapat dan analisis pembahasan, dapat disimpulkan bahwa dari hasil pemodelan yang dibuat diketahui bahwa terdapat 2 arah orientasi sesar yang mengarah dari timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Gambaran mengenai sesar Grendulu, sesar yang terlihat di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di lapisan batuan dasar dengan arah timur laut-barat daya. Sesar tersebut kedalamannya mencapai lapisan batuan dasar yang tampak pada pemodelan yang telah dibuat. Densitas lapisan batuan dasar sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$ yang diperoleh dari nilai kontras batuan pada pemodelan. Pada penelitian ini lapisan batuan dasar) mencapai kedalaman 2 km hingga 3,7 km.