

PEMBENTUKAN KARAKTER MELALUI APLIKASI SAINS (PEMODELAN 3D ANOMALI GRAVITASI MAGMA GUNUNGAPI MERAPI DENGAN SOFTWARE GRABLOX, BLOXER DAN ROCKWORK)¹

Rahma Hi. Manrulu², Wahyudi³
Universitas Cokroaminoto Palopo
Universitas Gadjah Mada
rahma_manrulu@yahoo.com

ABSTRAK

Pemodelan tiga dimensi (3D) mampu memberi informasi yang jelas pada target survei. Pada tahap pemodelan dilakukan setelah mendapatkan anomali lokal atau regional dari data penelitian, data anomali ditafsirkan agar mendapat gambaran struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi rapat massa batuan. Metode pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan dua tahapan yaitu pemodelan ke depan (*forward modelling*) dan pemodelan inversi (*inverse modelling*). Pemodelan ke depan dan invers menggunakan *software Grablox* dan *Bloxer*, selanjutnya anomali hasil pemodelan tersebut diproses kembali pada *software Rockwork*. Dari beberapa modifikasi *software* ini, dapat diperoleh gambaran magma Gunungapi Merapi.

Kata kunci: *Bloxer, Grablox, Rockwork, pemodelan, Gunungapi Merapi*

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pemodelan merupakan tahapan yang dilakukan setelah memperoleh sebuah nilai anomali (keanehan) pada daerah penelitian. Pada tahap pemodelan, data anomali ditafsirkan agar mendapat gambaran struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi rapat massa batuan. Secara teknik pemodelan dilakukan dengan membandingkan nilai anomali hasil pengamatan dengan nilai anomali dari model geometri yang dibuat. Pemodelan tiga dimensi dianggap pemodelan yang lebih realistis dibandingkan dengan pemodelan dua dimensi karena bentuk model geometri dibuat dapat disesuaikan dengan bentuk benda sebenarnya yang ada di alam. Hasil perhitungannya pun lebih akurat. Kelemahan dari pemodelan tiga dimensi adalah pada proses perhitungan yang lama. Namun seiring perkembangan teknologi dengan bantuan komputer proses perhitungan dapat dilakukan dengan cepat.

Pemodelan tiga dimensi (3D) mampu memberi informasi yang jelas pada target survei. Namun, masih banyak data-data yang digambarkan menggunakan pemodelan dua dimensi (2D). Oleh karena itu, akan dikaji lebih rinci tentang pemodelan tiga dimensi (3D) yang merupakan solusi pada setiap pemodelan.

2. Tujuan

- a. Diharapkan mampu menggunakan pemodelan tiga dimensi (3D) pada pemodelan bawah permukaan bumi.

¹ Disampaikan pada Seminar Nasional Pendidikan Karakter di Gedung SCC Palopo pada Sabtu, 03 Mei 2014

² Staf pengajar Universitas Cokroaminoto Palopo

³ Staf pengajar Universitas Gadjah Mada

- b. Diharapkan mampu menggambarkan keadaan bawah permukaan bumi yang sebenarnya.

3. Rumusan Masalah

Pemodelan yang umum digunakan hanyalah pemodelan dua dimensi (2D) yang tidak mampu memberi gambaran informasi yang jelas serta menyeluruh.

KAJIAN PUSTAKA

1. Pemodelan ke Depan (*forward modelling*)

Pemodelan ke depan (*forward modelling*) adalah pemodelan yang dilakukan untuk mendapatkan data teoritik dilapangan dari nilai parameter model bawah permukaan tertentu. Konsep tersebut digunakan untuk menginterpretasi atau menafsirkan data geofisika. Jika respon suatu model cocok (*fit*) dengan data maka model yang digunakan untuk memperoleh respon tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan tempat data diukur. Untuk itu dilakukan proses coba-coba (*trial and error*) nilai parameter model hingga diperoleh data teoritik yang cocok dengan data pengamatan (Rahma, 2012).

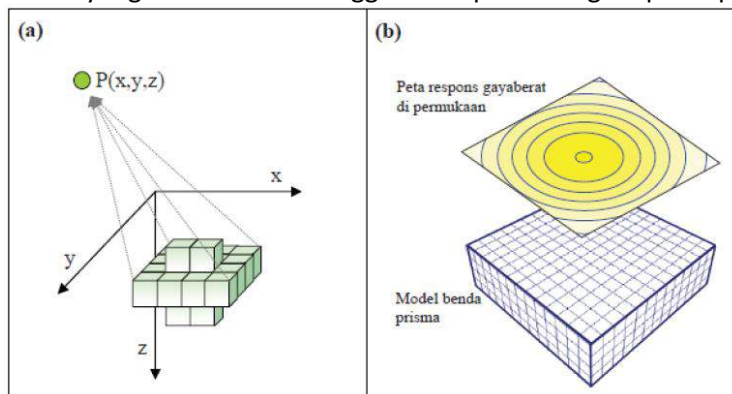
Ketepatan metode pemodelan ke depan dengan cara coba-coba sangat bergantung pada pengalaman subjektif seorang interpreter dalam menebak nilai awal parameter model serta dalam memperkirakan perubahan nilai parameter model tersebut untuk memperoleh respons yang semakin dekat dengan data. Semakin kompleks hubungan antara data dengan parameter model maka semakin sulit proses coba-coba tersebut. Adanya informasi tambahan dari data geologi atau data geofisika lainnya dapat membantu penentuan model awal.

2. Pemodelan Inversi (*inverse modelling*)

Pemodelan inversi (*inverse modelling*) merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh langsung dari data. Pemodelan inversi pada dasarnya adalah proses mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis (Rahma, 2012).

Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai *data fitting* karena dicari parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan. Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Dalam kalkulus suatu fungsi mencapai minimum jika turunannya terhadap parameter atau variabel yang tidak diketahui bernilai nol. Hal tersebut digunakan untuk memperkirakan parameter model. Secara lebih umum, model dimodifikasi sedemikian hingga respon menjadi sesuai dengan data.

Model yang akan dibahas menggunakan prisma segiempat seperti pada gambar.



Gambar 1. Contoh Efek Gravitasi 3D (a) Pendekatan benda 3 dimensi oleh sekumpulan blok-blok yang berbentuk prisma segi empat; (b) respons gayaberat di permukaan akibat model benda prisma segi empat.

Kumpulan prisma segiempat tersebut digunakan untuk memperkirakan volume dari massa benda tertentu. Jika cukup kecil, setiap prisma dapat diasumsikan memiliki densitas yang konstan, sehingga dengan prinsip superposisi, maka anomali gravitasi dari benda pada tiap titik dapat diperkirakan sebagai jumlahan dari gaya total prisma (Dermawan, 2010).

Prisma segiempat dengan densitas ρ seragam dengan dimensi dibatasi oleh $x_1 \leq x \leq x_2$, $y_1 \leq y \leq y_2$, $z_1 \leq z \leq z_2$, maka gaya vertikal pada sumber diberikan oleh:

$$\Delta g = G\rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z'}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} dx' dy' dz' \quad (1)$$

dimana G merupakan konstanta gravitasi dalam satuan Nm^2/kg^2 (Grant and West, 1965).

3. Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) adalah suatu metode pemfaktoran matriks yang berkaitan erat dengan nilai singular dari matriksnya, dimana merupakan salah satu teknik analisis numerik yang cukup terkenal dalam mendiagonalnkan suatu matriks. Pada penelitian ini metode inversi yang dipakai adalah inversi non linier khususnya metode *Singular Value Decomposition* (SVD) atau dekomposisi nilai singular dan inversi Occam. Dengan analisis SVD, solusi dari persamaan selalu dapat dicari meskipun matriks koefisien yang terbentuk bukanlah matriks persegi maupun matriks yang tidak mempunyai invers. Kelebihan lain dari metode ini adalah solusi SPL (Sistem Persamaan Linier) tetap dapat dicari meskipun SPL tersebut tidak mempunyai pemecahan, dalam hal ini solusi yang diperoleh merupakan solusi pendekatan terbaik.

Sistem persamanaan diasumsikan sebagai sistem persamaan linear dapat dinyatakan dalam bentuk operasi matriks. Secara matematis, persamaan linier dalam variabel \mathbf{x} dituliskan sebagai berikut:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \quad (2)$$

dimana:

A = koefisien persamaan

B = konstanta persamaan

Sehingga variabel \mathbf{x} digambarkan pada persamaan berikut:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b} \quad (3)$$

Pada matriks yang terbentuk bukan matriks persegi, maka aturan Cramer dan metode invers matriks koefisien tidak dapat digunakan. Hal ini di karenakan determinan dari matriks koefisien tidak dapat dicari, sehingga inversnya-pun tidak dapat ditentukan. Selain itu, tidak semua matriks persegi mempunyai invers. Untuk mengatasi kekurangan dari metode tersebut maka digunakan metode SVD (*Singular Value Decomposition*).

Metode ini melibatkan pemfaktoran A menjadi 3 bagian ke dalam hasil kali $\mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$, dengan \mathbf{U} adalah matriks orthogonal $m \times m$, \mathbf{V} adalah matriks orthogonal $n \times n$, dan $\mathbf{\Sigma}$ adalah matriks $m \times n$ yang semua entri di luar diagonalnya adalah 0, dan elemen-elemen diagonalnya memenuhi:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$$

Sehingga

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & & & \\ & \sigma_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

Semua σ_i yang ditentukan dengan faktorisasi ini adalah tunggal dan disebut *nilai-nilai singular* dari matriks. Faktorisasi $\mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^T$ disebut dekomposisi nilai singular dari matriks \mathbf{A} dapat diperlihatkan bahwa rank dari matriks \mathbf{A} sama dengan jumlah singular tak nolnya, dan besarnya nilai-nilai singular tak nol ini menjadi ukuran seberapa dekat matriks \mathbf{A} terhadap suatu matriks yang ranknya lebih rendah.

4. Inversi Occam

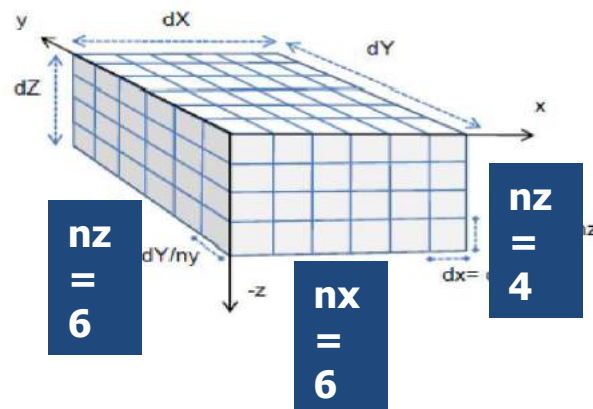
Metode inversi Occam dilakukan untuk memaksimalkan kecocokan antara data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan sehingga memperkecil nilai kesalahan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Fungsi lain dari metode inversi Occam yaitu memperkecil tingkat kekasaran model yang dihasilkan. Metode inversi Occam memberikan nilai lebih pada suatu model jika dibandingkan dengan metode SVD (*Singular Value Decomposition*), karena terdapat batasan (*constrain*) pada nilai parameter model. Pada penelitian ini dilakukan *Occam height* untuk meminimalkan kesalahan pada ketinggian blok model yang dibuat.

Occam height adalah inversi yang digunakan untuk mengoptimalkan nilai ketinggian blok (kedalaman lapisan). *Occam height* memberikan kejelasan batas antar lapisan jika dibandingkan dengan inversi SVD.

PEMBAHASAN

1. Grablox 1.6b

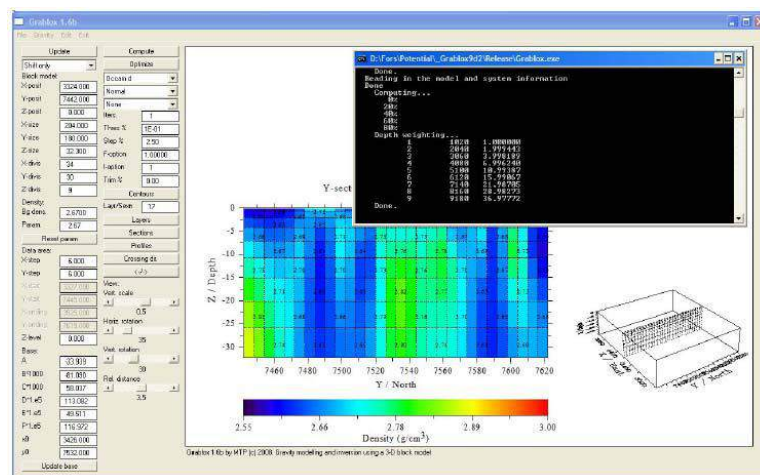
Grablox merupakan perangkat lunak dalam bahasa Fortran berbasis *Graphical User Interface* (GUI) yang digunakan untuk pemodelan dan interpretasi gravitasi tiga dimensi (3D). Program ini dikembangkan oleh Markku Pirttijarvi dari Universitas Oulu Finlandia. Program *Grablox* dapat digunakan untuk pemodelan ke depan (*forward modelling*) dan pemodelan inversi (*inverse modelling*) yang terdiri dari model blok mayor dan blok minor persegi panjang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Blok mayor atau blok utama menggambarkan volume di bawah daerah pengukuran yang dibagi ke dalam elemen-elemen blok kecil (blok minor), yang menunjukkan nilai densitas batuan. Anomali gravitasi dihitung sebagai superposisi atau jumlah dari semua blok-blok minor tersebut.



Gambar 2. Model blok dengan ukuran dx dy dz dibagi menjadi blok-blok minor nx ny nz dengan ukuran dx dy dz dalam *Grablox* dan *Bloxer* (Pirttijarvi, 2008)

Metode inversi pada *Grablox* bertujuan untuk mengoptimalkan nilai densitas dan ukuran dari blok, sehingga perbedaan antara data gravitasi yang diukur dan dihitung dapat diminimalkan. Optimalisasi ini didasarkan pada metode inversi SVD (*Singular Value Decomposition*) dan inversi *Occam*. *Grablox* merupakan program pemodelan blok tiga dimensi (3D) data gravitasi berbasis *command shell window* (jendela perintah) dan *Graphical User Interface* (GUI). Program ini dapat digunakan secara langsung untuk menentukan dan memperbaiki parameter model, menampilkan file input dan output data gravitasi serta visualisasi dan konstruksi model blok secara interaktif. Untuk kebutuhan pemodelan lebih lanjut, digunakan juga suatu perangkat pemodelan yaitu *Bloxer* yang memiliki prinsip kerja hampir sama dengan *Grablox*.

Graphical User Interface (GUI) pada *Grablox* merupakan program antarmuka yang terdiri atas empat pilihan menu utama yaitu: *file*, *gravity*, *edit*, dan *exit*, serta dua panel kontrol model yaitu panel kiri dan panel kanan ditunjukkan pada gambar 3, masing-masing menu dan panel mempunyai fungsi tertentu dalam proses pemodelan.

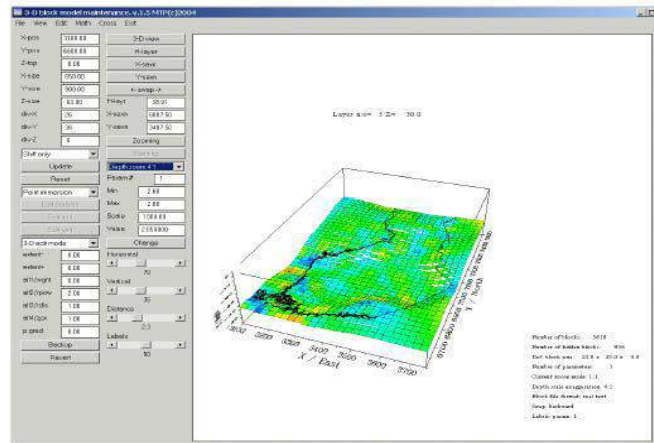


Gambar 3. Contoh tampilan GUI pada program *Grablox* (Pirttijarvi, 2008)

Panel-panel ini dapat digunakan secara langsung untuk membuat konstruksi model input sebagai tahapan awal pemodelan gravitasi tiga dimensi (3D), melakukan processing data serta tahap interpretasi model akhir pada program *Grablox*.

2. Bloxer

Bloxer merupakan program komputer dalam bahasa Fortran yang digunakan untuk menampilkan, menyusun dan mengedit tampilan model blok tiga dimensi, yang dikenal juga sebagai model *voxel*. Model blok tiga dimensi (3D) ini terdiri atas blok besar atau blok utama berbentuk empat persegi panjang menggunakan sistem koordinat Geografis yang dibagi lagi menjadi blok-blok kecil atau blok minor untuk menampilkan berbagai parameter fisis seperti densitas. Proses kerja pada program *Bloxer* identik dengan *Grablox*, terdiri atas dua tampilan yaitu tampilan perintah (*command shell*) dan tampilan *Graphical Using Interface* (GUI), ditunjukkan pada gambar 4. GUI pada program *Bloxer* terdiri atas enam panel perintah utama yaitu: *menu*, *view*, *edit*, *math*, *cross* dan *exit*. Masing-masing panel ini memiliki fungsi tertentu dan pengoperasiannya dapat dilakukan secara langsung. Hasil model pada *Grablox* akan diperbaiki lagi menggunakan *Bloxer* untuk mendapatkan tampilan tiga dimensi (3D) yang lebih baik. Namun *Bloxer* data tidak dapat digunakan untuk menghitung data (*inversi*).

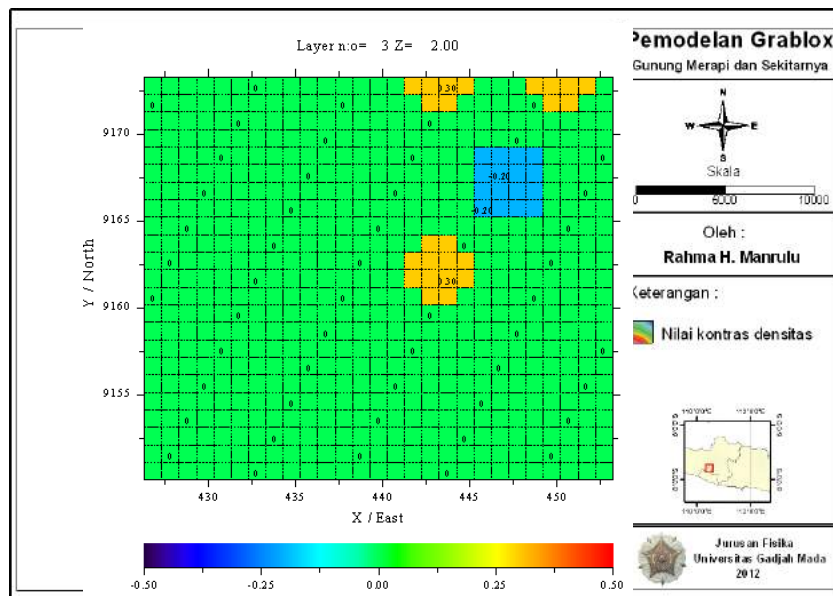


Gambar 4. Contoh tampilan GUI pada program Bloxer (Pirttijarvi, 2008)

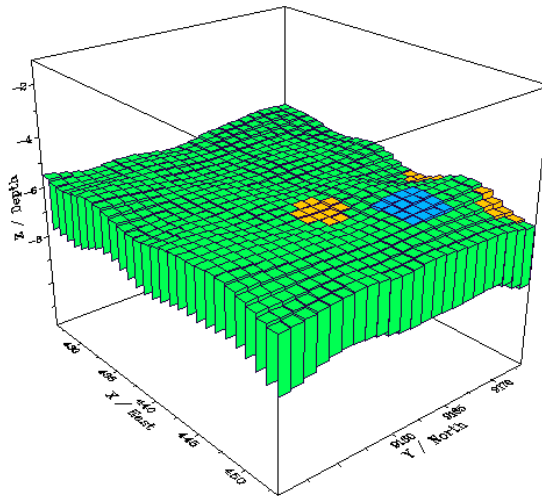
3. Pemodelan Geofisika

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan tiga dimensi (3D) struktur bawah permukaan dengan menggunakan program Grablox dan Bloxer. Proses ini dibagi menjadi dua tahapan yaitu: pemodelan ke depan (*forward modeling*) dan pemodelan inversi (*inverse modeling*).

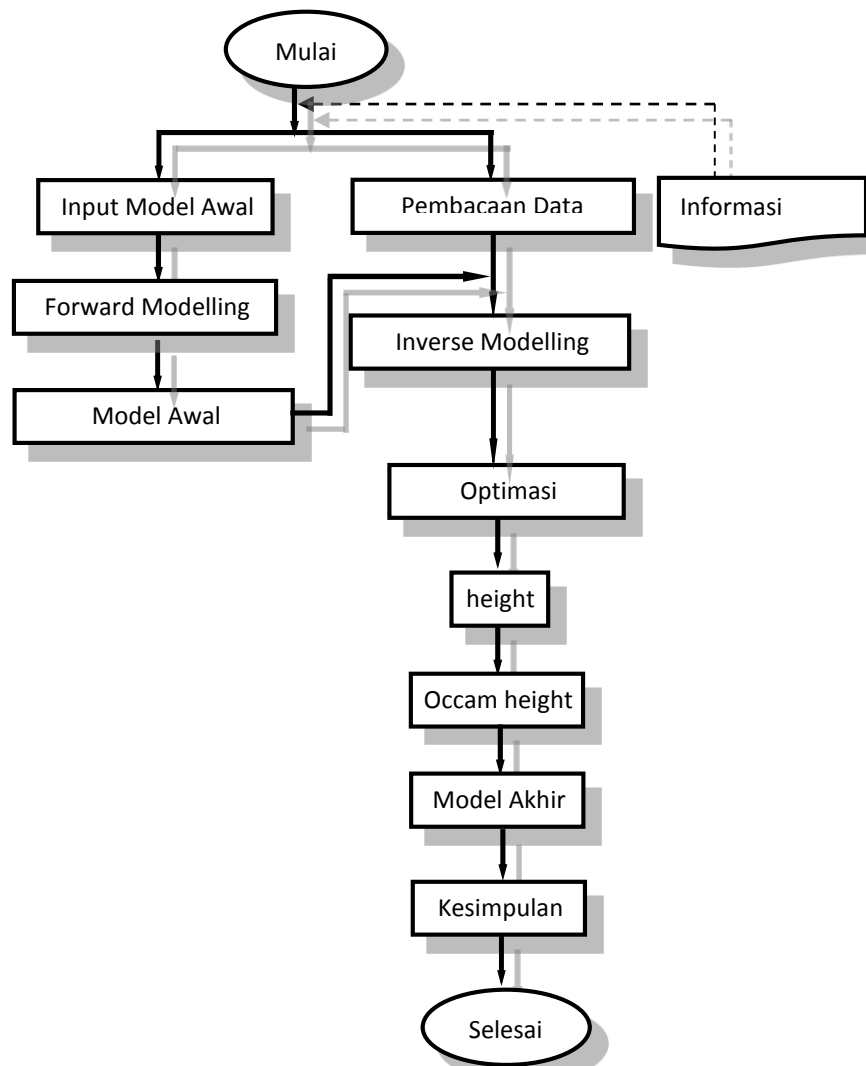
Pemodelan ke depan (*forward modeling*) dimaksudkan untuk mendapatkan atau menghasilkan data perhitungan (teoritik) untuk suatu konfigurasi atau harga parameter model tertentu, yang nantinya diharapkan dapat menggambarkan keadaan struktur bawah permukaan bumi, seperti pada gambar 5. Pemodelan inversi (*inverse modeling*) dilakukan untuk mendapatkan parameter model berdasarkan data pengukuran, dalam hal ini data yang digunakan adalah data anomali gravitasi lokal hasil kontinuasi ke atas untuk wilayah Gunungapi Merapi, seperti pada gambar 6. Data teoritik hasil pemodelan ke depan nantinya digunakan dalam pemodelan inversi. Tahapan pemodelan pada program *Grablox* dan *Bloxer* pada gambar 7.



Gambar 5.1 Peta hasil pemodelan ke depan (*forward modeling*) pada kedalaman 2 meter



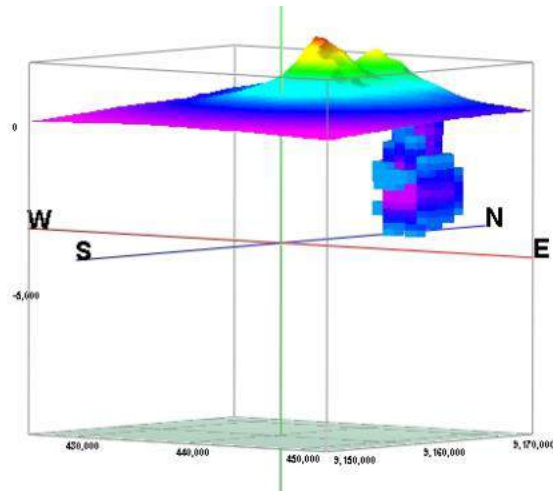
Gambar 6.2 Hasil pemodelan invers (*invers modeling*) pada kedalaman 6-8 meter



Gambar 7.3 Tahapan pemodelan pada *Grablox* dan *Bloxer*

4. Rockwork 14

Perangkat lunak *Rockwork* digunakan untuk menampilkan gambaran anomali hasil pemodelan tiga dimensi (3D) dari *Grablox* dan *Bloxer*, seperti ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Contoh tampilan tiga dimensi (3D) pada program Rockwork (Rahma, 2012)

KESIMPULAN

Pemodelan dengan menggunakan metode tiga dimensi (3D) sangatlah akurat jika dibandingkan dengan pemodelan dua dimensi (2D). Pemodelan tersebut mampu memberi informasi tentang kedalaman anomali, posisi anomali dan volume anomali yang diteliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas hikmahNya yang terus memberi kesempatan dan kesehatan untuk berkarya. Terima kasih penulis haturkan kepada seluruh civitas akademika Universitas Cokroaminoto Palopo, terkhusus kepada Dekan dan rekan-rekan sejawat di Fakultas Sains UNCP atas kebersamaan dan bantuannya hingga makalah ini dapat diselesaikan; kepada seluruh dosen di Jurusan Fisika FMIPA UGM atas seluruh kerjasama, masukan dan ilmu yang sangat bermanfaat. Semoga segala bantuannya bernilai ibadah. *Aamiin*.

DAFTAR PUSTAKA

- A.D. Wirakusumah, H. Juwana & H. Loebis, 1989, *Peta Geologi Gunungapi Merapi Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah*, 1989.
- Airlangga Dermawan, 2010, *The Reconceptualization and Programming of Gravity Data Reduction and Gridding Using Visual Basic*, Thesis S-2 UGM Yogyakarta.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA
- Darmawan, A., 2010. *Rekonseptualisasi dan pemograman reduksi data gravitasi serta pemetaan ke koordinat teratur (gridding) menggunakan bahasa pemograman Visual Basic*, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.

- Grant, F.S., and West, G.F., 1965, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*, McGraw-Hill Inc., New York.
- Hendrayana, H., 1993, *The Improvement of Yogyakarta Groundwater Basic Concept and It's Modelling*, Geological Engineering Departement, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Nettleton, L.L., 1942, *Determination of Density for Reduction of Gravimeter Observations*, Geophysics, Vol. 4 (3), P. 176-183.
- Pirttijarvi, M., 2008, *Gravity interpretation and modeling software based on 3-D block models. User's guide to version 1.6b*. Department of Physics Sciences. University of Oulu. Finlandia.
- Rahma, Manrulu., 2012, *Pemodelan Bawah Permukaan Gunungapi Merapi Berdasarkan Anomali Gravitasi Setelah Letusan Besar 2010*, Thesis, UGM Jogjakarta.
- Talwani, M., Worzel, J.L., and Landisman, M., 1965, *Rapid gravity computation for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone*, geophysics, vol.64,p. 49-59.