

ARTIKEL RISET

# Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 3D Purwokerto dan Sekitarnya Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Bouguer Lengkap

Feny Indrarini Wulandari<sup>1\*</sup> dan Ari Setiawan<sup>2</sup>

## Abstrak

Permodelan tiga dimensi (3D) struktur bawah permukaan Purwokerto dan sekitarnya dilakukan dengan menggunakan data anomali gravitasi *Bouguer* lengkap (abl). Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan struktur 3D bawah permukaan, dengan menggunakan software *Grablox* dan *Bloxer*. Data abl di proyeksi ke bidang datar menggunakan metode Dampney pada ketinggian 7 km dan pemisahan anomali regional dan lokal dengan metode kontinuitas ke atas pada ketinggian 10 km. Hasil permodelan 3D ditampilkan di *Bloxer*. Batuan sedimen tersebar di bagian tengah Purwokerto dan sekitarnya pada kedalaman 0.0 km atau dipermukaan hingga 2.3 km. Batuan beku tersebar di bagian utara dan selatan Purwokerto dan sekitarnya pada kedalaman 1.1 km hingga 2.7 km dan tersebar di bagian barat dan timur Provinsi Jawa Tengah pada kedalaman 3.1 km hingga 4.2 km. Berdasarkan model tiga dimensi (3D) diperlihatkan keberadaan Gunung Slamet di bagian barat Purwokerto dan sekitarnya ditunjukkan dengan nilai densitas yang tinggi pada kedalaman sekitar 2.7 km hingga 4.2 km.

**kata kunci:** anomali Bouguer lengkap; proyeksi ke bidang datar; kontinuitas ke atas; pemodelan 3D

## Abstrak

The subsurface three dimensional (3D) model, of Purwokerto and surrounding was done using the complete *Bouguer* anomaly data (abl). The objective of the research is to model subsurface structure 3D using *Grablox* and *Bloxer* software. Abl data was projected to horizontal plane using Dampney method on 7 km heights and separation of the regional and lokal anomaly with upward continuation method on 10 km heights. The results of the 3D modeling is presented in *Bloxer*. Sediment rocks spread over the middle of Purwokerto and surrounding at depth about 0.0 km or the surface until 2.3 km. The igneous rock spread over of north and south in Purwokerto and surrounding at depth about 1.1 km until 2.7 km, and also Purwokerto and surrounding at depth 3.1 km until 4.2 km. Pursuant to the three dimension (3D) model shows the existence of Mount Slamet in the west of Purwokerto and surrounding is shown with density that is high at depth about 2.7 km until 4.2 km.

**keywords:** complete Bouguer anomaly; projection to horizontal plane; upward continuation; 3D modelling

## 1. Pendahuluan

Pulau Jawa dikontrol oleh sejumlah struktur utama yang mencerminkan evolusi tektoniknya. Struktur utama Pulau Jawa terdiri dari struktur Meratus yang berarah timur laut- barat daya, struktur Sumatra berarah barat laut-tenggara, dan struktur Sunda berarah utara-selatan dan struktur Jawa yang berarah barat-timur [1].

Selain itu di Jawa Tengah terdapat dua struktur sesar utama yang mengapit bagian barat dan timur Jawa Tengah. Sesar di bagian timur dikenal sebagai Sesar Kebumen-Muria dan bagian barat disebut Sesar Pamanukan-Cilacap. Kedua sesar ini dianggap sebagai faktor yang membuat Jawa Tengah secara fisiografis berbeda dengan Jawa Barat dan Jawa Timur [2].

Aktivitas geologi Jawa Tengah menghasilkan zona fisiografi yang satu sama lain dapat dibedakan berdasarkan morfologi, petrologi, dan struktur geologinya. Jawa Tengah dibagi ke dalam 7 besar zona fisiografi, masing-masing dari utara ke selatan adalah Zona Dataran Pantai Utara Pulau Jawa,

\*Korespondensi: f.i.wulan@yahoo.com

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45, Jl. Proklamasi No. 1, Babarsari, Caturtunggal, Sleman, 55283 Yogyakarta, Indonesia  
Informasi lengkap tentang penulis dapat dilihat pada akhir artikel

Antiklin Zona Rembang, Antiklin Zona Serayu Utara dan Kendeng, Zona Rendahan Randublatung, Pegunungan Kuarter, Zona Pegunungan Serayu Selatan, dan Zona Pegunungan Selatan [3].

Jawa Tengah termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan yang terbentuk oleh aktivitas tektonik menghasilkan bentuk morfologi yang unik. Aktivitas tektonik tersebut tercermin dalam pola struktur yang berkembang di Pegunungan Selatan. Informasi mengenai struktur bawah permukaan bila ditinjau dari penelitian menggunakan metode geofisika masih kurang. Oleh karena itu, permasalahan dalam penelitian ini yaitu akan dibuat permodelan struktur 3D bawah permukaan Provinsi Jawa Tengah berdasarkan data anomali gravitasi Bouguer lengkap.

Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal antara lain data yang digunakan merupakan data sekunder, yaitu data anomali gravitasi Bouguer lengkap dan data topografi yang diperoleh dari *International Centre For Global Earth Models (ICGEM)*, *Agrav-Absolute Gravity database* oleh *Bureau Gravimetrique International (BGI) Prancis* [4]. Kajian penelitian dikhususkan di Purwokerto dan sekitarnya, Provinsi Jawa Tengah. Permodelan struktur tiga dimensi (3D) bawah permukaan menggunakan software *Grablox* dan *Bloxer*.

Penelitian Tesis ini bertujuan untuk memodelkan struktur bawah permukaan 3D Purwokerto dan sekitarnya, Provinsi Jawa Tengah berdasarkan data anomali gravitasi *Bouguer* lengkap dan mendapatkan informasi dan interpretasi struktur bawah permukaan 3D berdasarkan model yang diperoleh.

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan hasil permodelan dan interpretasi dapat memberikan tambahan informasi mengenai kondisi struktur bawah permukaan 3D Purwokerto dan sekitarnya, Provinsi Jawa Tengah dan untuk menjadi acuan penelitian selanjutnya.

## 2. Kajian Pustaka

Pada dasarnya ada 3 kelurusan struktur geologi yang dominan di Pulau Jawa. Ketiga arah tersebut adalah timurlaut-baratdaya (Pola Meratus), Utara-Selatan (Pola Sunda), dan Barat-Timur (Pola Jawa) ditampilkan pada gambar 1.

Secara regional di zona Selatan dijumpai struktur geologi berupa lipatan, sesar, dan kekar [6].

Zona Selatan menempati bagian tengah Jawa membentang barat-timur Jawa Tengah dari Purwokerto sampai dengan Purworejo. Daerah ini bermorfologi berupa lipatan dengan litologi melange pada kompleks Luk Ulo, Karangasambung, dan Kebumen [3].

Stratigrafi regional Provinsi Jawa Tengah terdiri dari beberapa formasi yang berbeda karakteristik penyusunnya dan lingkungan pengendapannya, antara lain: Batuan Pratersier, Formasi Karangasambung, Formasi Totogan, Formasi Waturanda, Formasi Penosogan, Formasi Halang, Formasi Peniron, dan, Batuan vulkanik muda.

## 3. Teori Dasar Gravitasi

Teori yang mendasari survei gravitasi dalam survei geofisika adalah hukum Newton tentang gaya tarik-menarik antara dua massa, dimana besarnya gaya antara dua massa  $m_1$  dan  $m_2$  yang terpisah dengan jarak  $r$  adalah [7].

$$F(\bar{r}) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

dengan  $F(\bar{r})$  adalah gaya ( $N$ ),  $r$  adalah jarak antara dua massa benda  $m_1$  dan  $m_2$  (kg), dan  $G$  adalah konstanta gravitasi universal ( $6,67 \times 10^{-11} N m^2 / kg^2$ ).

### Proyeksi ke Bidang Datar dengan Grid yang Teratur

Proyeksi ke bidang datar (reduction to horizontal surface). Proses yang ditempuh dalam metode Dampney ini adalah menentukan sumber ekuivalen titik massa distrik pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali *Bouguer* lengkap dengan syarat batas  $2,5\delta x \leq (h - z_i) < 6\delta x$  dengan  $\delta x$  merupakan jarak rata-rata antara titik-titik survei, dan  $z$  merupakan ketinggian titik survei. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu.

Persamaan dasar proyeksi ke bidang datar dengan metode Dampney sebagai berikut:

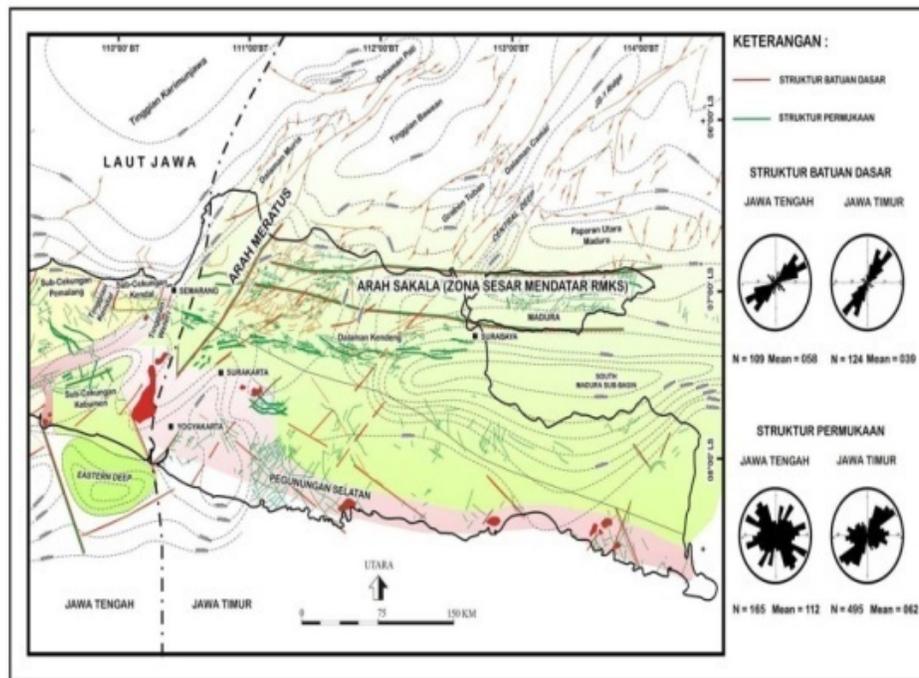
$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho(\alpha, \beta, z) - (h - z) d\alpha d\beta}{((x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - h)^2)^{3/2}} \quad (2)$$

dengan,  $\delta g(x, y, z)$ : nilai anomali gravitasi di topografi,  $\rho(\alpha, \beta, z)$ : distribusi kontras densitas yang meliputi bidang  $z = h$ ,  $z$ : sumbu tegak dengan arah positif ke bawah,  $h$ : kedalaman ekuivalen titik-titik massa dari permukaan.

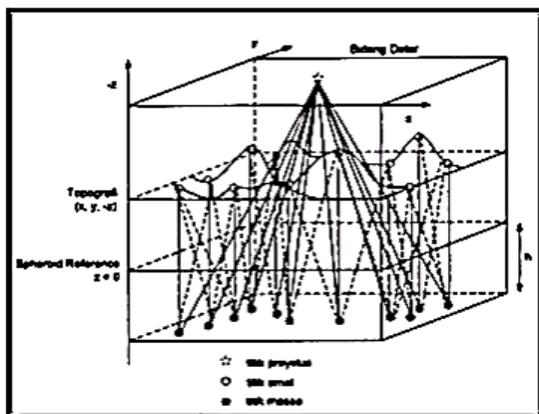
Ilustrasi dari metode Dampney ditunjukkan pada gambar 2

### Pemisahan Anomali Regional dan Lokal

Anomali *Bouguer* lengkap yang telah di proyeksi ke bidang datar masih berupa campuran antara anomali regional dan lokal maka perlu dipisahkan. Pemisahan ini menggunakan metode *Upward Continuation*.



Gambar: 1. Pola kelurusan geologi Pulau Jawa, disadur dari [5]



Gambar 2: Sumber ekivalen titik massa [8]

Persamaan yang digunakan dalam kontinuitas ke atas adalah:

$$U(x, y, z, -\Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)^{3/2}} dx' dy' \quad (3)$$

dengan  $\Delta z > 0$  [9]

### Pemodelan Geofisika

Permodelan maju (forward modelling) digunakan untuk melihat respon gravitasi yang ditimbulkan

dari model geologi yang dibuat. Permodelan mundur (inverse modelling) digunakan untuk membuat model geologi dari pengaruh medan gravitasi daerah penelitian.

### 1 Pemodelan Gravitasi 3 Dimensi

Persamaan dasar untuk menghitung respons anomali gayaberat di permukaan adalah

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\rho z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (4)$$

dengan  $\Delta g(x, y, z)$  adalah tarikan vertikal gravitasi di titik dari benda homogen,  $G$  adalah konstanta gravitasi, dan  $\rho$  adalah densitas batuan.

### Teori Optimasi dan Dekomposisi Nilai Singular (SVD)

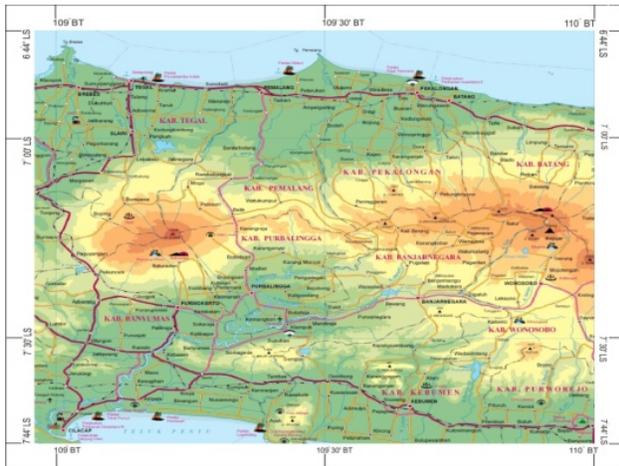
Teorema SVD dinyatakan:

$$A = USV^T \quad (5)$$

dengan  $A$  = matriks asal,  $U$  = matriks singular kiri,  $S$  = matriks diagonal dari nilai singular,  $V^T$  = transpose dari matriks singular kanan.

### Inversi Occam

Metode inversi Occam merupakan inversi untuk memaksimalkan kecocokan antara hasil pengukuran



Gambar 3: Peta Lokasi daerah penelitian Purwokerto dan sekitarnya, Provinsi Jawa Tengah [10]

dan data hasil perhitungan. Inversi Occam terdiri atas 3 bagian yakni *occam d* (*occam density*) untuk mengoptimalkan atau memaksimalkan nilai densitas blok sehingga model yang dihasilkan lebih halus, *occam h* (*occam heights*) untuk mengoptimalkan ketinggian blok atau kedalaman lapisan, dan *occam h+d* untuk mengoptimalkan nilai densitas dan ketinggian blok secara bersamaan untuk tiap lapisan.

#### 4. Metode Penelitian

Daerah Penelitian yaitu Provinsi Jawa Tengah terletak pada posisi  $6^{\circ}44'00'' - 7^{\circ}44'00''$  LS dan  $109^{\circ}00'00'' - 110^{\circ}00'00''$  BT ditunjukkan pada gambar 3. Pada gambar 4 adalah diagram alir dari penelitian permodelan struktur bawah permukaan 3D Provinsi Jawa Tengah:

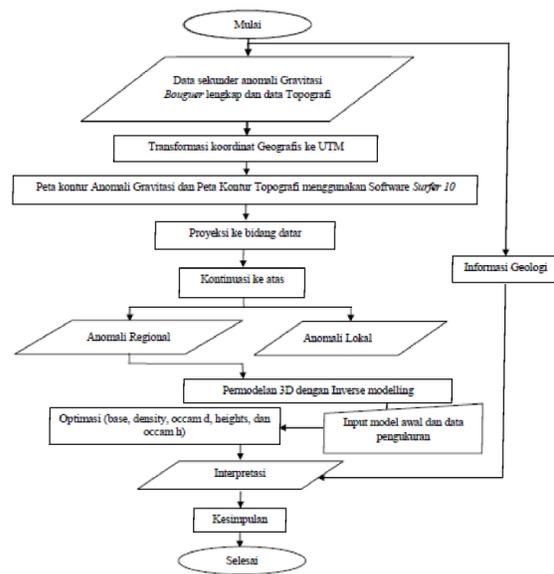
#### 5. Hasil dan Pembahasan

Hasil estimasi anomali *Bouguer* yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 5. Dalam metode Dampney, massa ekuivalen harus memenuhi persamaan dengan adalah 1120 meter,  $z$  adalah 2800 meter. Hasil proyeksi ke bidang datar ditunjukkan pada gambar 6.

#### Pemisahan Anomali Regional dan Lokal

Metode kontinuitas ke atas (*upward continuation*) dengan menggunakan program *MagPick*. Pengangkatan dilakukan secara coba-coba (*trial & error*) dan bertahap tiap ketinggiannya hingga diperoleh kontur anomali yang cukup stabil dengan profil perubahan nilai anomali yang sangat kecil.

Pada penelitian ini menggunakan ketinggian maksimum  $z=2800$  meter. Kontur anomali regional

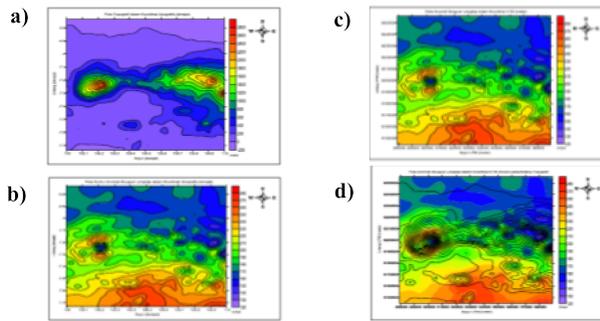


Gambar 4: Diagram alir penelitian

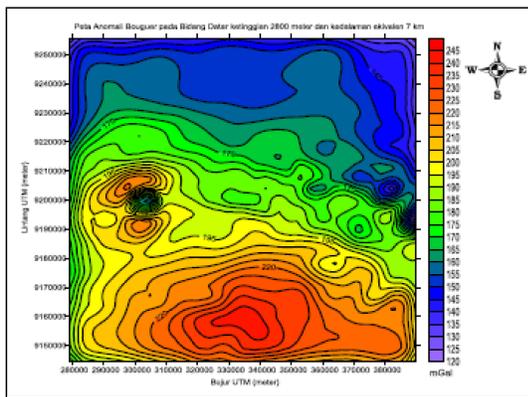
dan kontur anomali lokal pada ketinggian 10 km ditunjukkan pada gambar 7(a) dan (b).

#### Permodelan 3D struktur bawah permukaan

Hasil komputasi model awal yang dibuat dengan menggunakan metode *forward modeling* dapat dilihat pada gambar 8. Permodelan inversi (*inverse modeling*) dilakukan dengan menerapkan optimasi agar perbedaan nilai pengukuran dan perhitungan bisa diminimalkan. Pada penelitian ini proses optimasi dilakukan secara bertahap yakni dimulai dari optimasi *base*, *density*, *occam d*, *heights*, dan *occam h*. Hasil optimasi dari permodelan inversi ditampilkan pada gambar 9. Berdasarkan hasil permodelan, pada model lapisan pertama yang memiliki variasi nilai densitas antara 1.77 gram/cm<sup>3</sup> hingga 2.31 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.15 gram/cm<sup>3</sup> dan pada lapisan kedua memiliki variasi nilai densitas antara 1.10 gram/cm<sup>3</sup> hingga 2.89 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.27 gram/cm<sup>3</sup>. Lapisan pertama yang memiliki densitas rendah 1.77 gram/cm<sup>3</sup> di bagian utara diinterpretasikan sebagai endapan permukaan yaitu alluvium terdiri dari kerikil, pasir, lanau dan lempung. Endapan batuan ini berumur muda yaitu periode Holosen. Sedangkan yang memiliki densitas sekitar 2.15 gram/cm<sup>3</sup> hingga 2.30 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai batuan sedimen. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai batuan sedimen yang mayoritas berada ditengah terdiri dari lempung, kerakal, pasir dan pasirlempungan. Ketebalan batuan



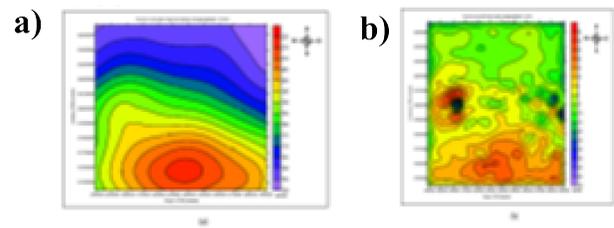
Gambar 5: Peta topografi daerah Purwokerto (a), Peta kontur anomali *Bouguer* lengkap pada koordinat geografis (b), UTM (c), dan koordinat UTM pada bidang topografi (d)



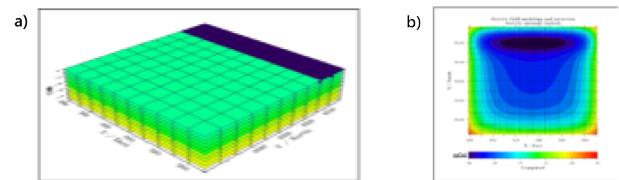
Gambar 6: Peta anomali *Bouguer* lengkap pada bidang datar ketinggian 2800 meter dan kedalaman ekuivalen titik massa 7 km

sedimen ini mencapai 0.6 km. Batuan ini berada pada kedalaman 0.0 km hingga 0.6 km. Untuk bagian utara dan selatan memiliki densitas tinggi juga diinterpretasikan sebagai batuan sedimen, dan untuk bagian barat dan timur memiliki densitas rendah diinterpretasikan sebagai endapan yang terdiri dari batupasir, batulempung, dan napal.

Lapisan ketiga dari model tersebut memiliki densitas yang bervariasi dari 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata pada lapisan ini adalah 2.42 gram/cm<sup>3</sup> dan lapisan keempat memiliki densitas yang bervariasi dari 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.51 gram/cm<sup>3</sup>. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai batuan sedimen yang berada dibagian tengah, dibagian utara dan selatan memiliki densitas tinggi kemungkinan batuan tua, dan bagian barat-timur memiliki densitas rendah diinterpretasikan sebagai



Gambar 7: (a)Kontur anomali regional pada ketinggian 10 km (b)Kontur anomali Lokal pada ketinggian 10 km



Gambar 8: (a)Model awal berupa blok mayor dan blok minor ditampilkan dengan *Bloxer*,(b)hasil komputasi model awal

endapan. Sama halnya dengan lapisan ketiga, lapisan keempat diinterpretasikan sebagai batuan sedimen Formasi Totogan yang berada di tengah terdiri dari batuan pasir, napal, tuf, batuan lempung, dan batuan gamping. Batuan ini berada pada kedalaman 1.1 km hingga 1.5 km. Untuk model lapisan kelima memiliki variasi nilai densitas antara 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.64 gram/cm<sup>3</sup> dan lapisan keenam memiliki variasi nilai densitas antara 1.55 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.83 gram/cm<sup>3</sup>. Lapisan kelima Lapisan kelima dan lapisan keenam bagian utara dan selatan diinterpretasikan sebagai batuan beku yang terdiri dari breksi, andesit, dan granit. Batuan ini berada pada kedalaman 1.9 km hingga 2.3 km. Lapisan kelima dan lapisan keenam bagian tengah diinterpretasikan sebagai batuan sedimen.

Lapisan ketujuh dari model ini memiliki variasi nilai densitas antara 2.65 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.98 gram/cm<sup>3</sup> dan lapisan kedelapan memiliki variasi nilai densitas antara 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.75 gram/cm<sup>3</sup>. Lapisan ketujuh dan lapisan kedelapan diinterpretasikan sebagai batuan beku Formasi Waturanda yang terdiri dari basalt, gabbro, dan lava. Batuan ini berada pada kedalaman 2.7 km hingga 3.1 km. Untuk lapisan kedelapan terdapat densitas rendah dibagian utara dan selatan kemungkinan adanya sumber air di bawah batuan tua.

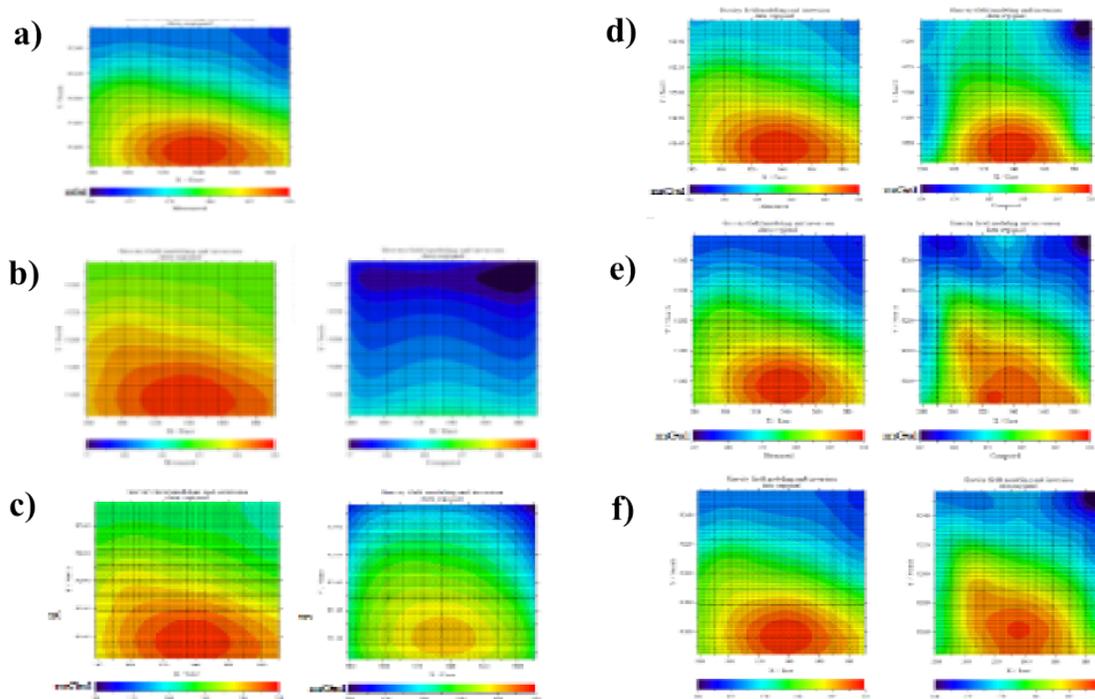


Figure 9. Model data awal (a), hasil inversi optimasi base (b), optimasi density (c), optimasi occam d (d), optimasi heights (e), optimasi occam h (f)

Lapisan kesembilan memiliki densitas yang bervariasi dari 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.64 gram/cm<sup>3</sup> dan lapisan kesepuluh yang merupakan lapisan terakhir dari model memiliki densitas yang bervariasi dari 1.00 gram/cm<sup>3</sup> hingga 3.50 gram/cm<sup>3</sup> dengan densitas rata-rata 2.59 gram/cm<sup>3</sup>. Lapisan kesembilan dan lapisan kesepuluh diinterpretasikan sebagai batuan beku Pratersier yang terdiri dari lava dan basalt. Batuan ini berada pada kedalaman 3.6 km hingga 4.2 km. Untuk lapisan kedelapan terdapat densitas rendah dibagian utara dan selatan kemungkinan adanya sumber air di bawah batuan tua.

Pada lapisan pertama hingga lapisan kesepuluh, perbedaan yang signifikan antara nilai densitas bawah permukaan daerah penelitian dan ketebalan lapisan yang bervariasi. Perbedaan densitas yang signifikan ini disebabkan oleh adanya kelompok batuan sedimen dan batuan beku beku. Batuan sedimen tersebar dibagian tengah Provinsi Jawa Tengah pada kedalaman 0.0 km atau dipermukaan hingga 2.3 km. Batuan beku tersebar dibagian utara dan selatan Provinsi Jawa Tengah pada kedalaman 1.1 km hingga 2.7 km dan tersebar dibagian barat dan timur Provinsi Jawa Tengah pada kedalaman 3.1 km hingga 4.2 km. Hal ini sesuai dengan keadaan geologi daerah penelitian.

## 6. Kesimpulan

Interpretasi struktur bawah permukaan Purwokerto dan sekitarnya yang telah dilakukan berdasarkan permodelan tiga dimensi (3D) dengan Grablox, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- 1 Densitas rata-rata batuan tiap lapisan bervariasi disebabkan oleh adanya kelompok batuan sedimen dan batuan beku. Batuan sedimen tersebar dibagian tengah Purwokerto dan sekitarnya pada kedalaman 0.0 km atau dipermukaan hingga 2.3 km. Batuan beku tersebar dibagian utara dan selatan Purwokerto dan sekitarnya pada kedalaman 1.1 km hingga 2.7 km dan tersebar dibagian barat dan timur Purwokerto dan sekitarnya pada kedalaman 3.1 km hingga 4.2 km.
- 2 Berdasarkan model tiga dimensi (3D) diperlihatkan keberadaan Gunung Slamet dibagian barat Purwokerto dan sekitarnya, Provinsi Jawa Tengah ditunjukkan dengan nilai densitas yang tinggi pada kedalaman sekitar 2.7 km hingga 4.2 km.

## Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjut menggunakan data dari observasi

gravitasi di lapangan dan perlu dilakukan interpretasi terhadap anomali lokal agar diperoleh informasi yang lebih akurat mengenai struktur bawah permukaan daerah penelitian.

#### Informasi penulis

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45, Jl. Proklamasi No. 1, Babarsari, Caturtunggal, Sleman, 55283 Yogyakarta, Indonesia. <sup>2</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara PO BOX BLS 21, 55281 Yogyakarta, Indonesia.

#### Pustaka

- Prasetyadi, C.: Geologi daerah subduksi zaman kapur tepi tenggara paparan Sunda. In: Panduan Ekskursi Besar Geologi UPN. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta (2010)
- Satyana, A.H.: Geologi Indonesia : Dinamika dan produknya. Geology Research and Development Center (2007)
- van Bemmelen, R.W.: The Geology of Indonesia vol. 1A, 2nd edn. The Haque Martinus Nijhoff, Netherlands (1949)
- (BGI), B.G.I.: International Centre For Global Earth Models (ICGEM), Agrav-Absolute Gravity database, Prancis.  
<http://icgem.gfz Potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>
- Pulunggono, Martodjojo, S.: Stratigrafi Pulau Jawa "state of the art". In: Proc. Workshop Stratigrafi Pulau Jawa, vol. 30. Bandung, pp. 9–19. Geology Research and Development Center
- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., Gafoer, S.: Peta Geologi lembar Banyumas, Jawa, skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1992)
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherrif, R.E., Keys, D.A.: Applied Geophysics. Cambridge University Press, London (1976)
- Setyawan, A.: Kajian metode sumber ekuivalen titik massa pada proses pengangkatan data gravitasi ke bidang datar. *Berkala Fisika* **8**(8), 7–10 (2005)
- Blakely, R.J.: Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, London (1995)
- Bakosurtanal: Peta Purwokerto dan sekitarnya.  
<http://www.bakosurtanal.go.id/download/>