

# RANCANGAN PEMODELAN INVERSI NON-LINIER 2-D DAN GRADIEN HORIZONTAL ANOMALI GRAVITASI BUMI BERBASIS MATLAB (STUDI KASUS: MODEL SEMI-INFINITE HORIZONTAL SHEET DAN FAULTED VERTICAL SHEET)

*Richard Lewerissa<sup>1</sup>, Ari Setiawan<sup>2</sup> dan Sismanto<sup>3</sup>*

*1. Mahasiswa S3 Ilmu Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

*2,3. Dosen Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

*E-mail: rich\_lewe@yahoo.com*

## Abstrak

*Penelitian ini dilakukan untuk merancang suatu pemodelan ke depan (forward modeling) dan pemodelan inversi (inverse modeling) untuk mendapatkan respon anomali gravitasi dan parameter model bawah permukaan bumi berdasarkan beberapa model benda anomali yaitu model semi-infinite horizontal sheet dan faulted vertical sheet menggunakan perangkat lunak MATLAB. Perancangan pemodelan ini dibuat nantinya diharapkan dapat diterapkan untuk mendeteksi keberadaan patahan atau sesar dibawah permukaan bumi berdasarkan data anomali gravitasi baik data primer ataupun sekunder. Inversi anomali gravitasi dilakukan menggunakan pendekatan metode inversi non-linier untuk menyelesaikan model matematika benda anomali bawah permukaan pada penelitian ini inversi model inversi dilakukan menggunakan model inversi bebas dan inversi terkonstrain untuk mencari beberapa parameter model seperti densitas batuan, kedalaman dan ketebalan benda anomali.*

**Kata kunci:** *Anomali Gravitasi; pemodelan ke depan; pemodelan Inversi*

## Abstract

*This study was conducted to design a forward and inverse modeling to obtain the response of gravity anomalies and subsurface model parameters based on some models of anomalous object such as semi-infinite horizontal sheet and vertical faulted sheet models using matlab software. The design of this models are expected to be applied to detect the presence of faults below the earth's surface by gravity anomaly data in this case primary and secondary data. Gravity anomaly inversion performed using the non-linier inversion approach to solve the mathematical model of the subsurface anomalous object. In this research inversion models performed using unconstrain inversion and constrain inversion to look for some model parameters such as rock density, depth and thickness of anomalous object.*

**Keywords:** *Gravity anomaly; forward modeling; inverse modeling*

## PENDAHULUAN

Data medan potensial umumnya dianalisis menggunakan transformasi linier, metode spektral, teknik inversi dan metode analisis sinyal. Metode analisis sinyal umumnya menggabungkan turunan horizontal dan vertikal dari medan gravitasi untuk mendefinisikan bentuk benda [1],[3]. Transformasi linier dapat memfasilitasi interpretasi geologi, yangmana memberikan pengetahuan mendalam tentang sifat alami sumber. Transformasi linier digunakan untuk

kontinuasi ke atas dan ke bawah, reduksi ke kutub dan konversi medan gravitasi ke medan magnetik. Metode spektral menggunakan energi spektrum dari anomali untuk menentukan kedalaman rata-rata dari model blok persegi atau benda dengan bentuk prisma. Di sisi lain metode inversi digunakan untuk menentukan parameter model berdasarkan respon yang cenderung sama dengan data observasi. Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan penyelesaian matematika dan statistik untuk

mendapatkan informasi parameter fisis kondisi bawah permukaan bumi. Dalam proses inversi biasanya dilakukan analisis terhadap data lapangan dengan melakukan pencocokan kurva (*curva fitting*) antara data lapangan dan model matematika. Tujuan metode inversi adalah untuk memperkirakan parameter fisis kondisi bawah permukaan yang tidak diketahui sebelumnya [5].

Metode inversi menghasilkan respon yang tidak unik, sehingga dapat menghasilkan banyak respon yang berbeda yang memenuhi syarat dilakukannya inversi. Teknik pemodelan inversi untuk data anomali gravitasi telah banyak dilakukan baik terhadap data primer anomali gravitasi bumi yang telah dikoreksi maupun terhadap data anomali gravitasi regional dan residual serta data sekunder anomali Bouguer lengkap. Pada penelitian ini dilakukan perancangan pemodelan ke depan (*forward modeling*) dan pemodelan inversi (*inverse modeling*) serta gradien horisontal orde satu 2-D data anomali gravitasi. Pemodelan ke depan dan pemodelan inversi menggunakan pendekatan model benda anomali bawah permukaan berbentuk model *semi-infinite horizontal sheet* dan model *faulted vertical sheet*, yang mana pendekatan model tersebut dilakukan untuk mendeteksi keberadaan struktur patahan atau sesar di suatu wilayah berdasarkan metode gravitasi.

## METODE

Hubungan antara data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan (1):

$$d = g(m) \quad (1)$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menyatakan hubungan non linier antara data dengan parameter model. Dalam hal ini  $g$  adalah suatu fungsi pemodelan ke depan yang merupakan fungsi tak-linier dari parameter model. Ekspansi Taylor orde pertama fungsi  $g(m)$  disekitar suatu model, misalnya  $m_0$ , menghasilkan persamaan (2):

$$g(m) \approx g(m_0) + \nabla g|_{m=m_0} [m - m_0] \quad (2)$$

Dimana  $\nabla g|_{m=m_0}$  menyatakan gradien fungsi  $g(m)$  yang dievaluasi pada  $m = m_0$ . Dalam memahami dan mengevaluasi persamaan 2 dan

notasi yang digunakan, perlu diingat karakter vektor dari fungsi  $g(m)$ .

Selanjutnya dengan mengabaikan ekspansi Taylor orde yang lebih tinggi maka tanda ( $\approx$ ) dapat diganti dengan tanda ( $=$ ). Mengingat bahwa  $g(m)$  adalah fungsi pemodelan ke depan yang menghasilkan data  $d$  maka persamaan 2 dapat dituliskan kembali dalam bentuk persamaan (3):

$$d = g(m_0) + J_0 \Delta m_0 \quad (3)$$

dimana  $J_0 = [\partial g_i / \partial m_j]_{m_0}$  disebut sebagai matriks Jacobi dengan komponen berupa turunan parsial fungsi  $g(m)$  terhadap setiap elemen parameter model  $m$  yang dievaluasi pada  $m = m_0$  dan  $\Delta m_0 = [m - m_0]$ . Matriks Jacobi sering disebut dengan matriks sensitivitas. Persamaan (2) dan (3) dapat diartikan sebagai prediksi data untuk suatu model  $m$  yang didekati dengan prediksi data untuk model  $m_0$  dengan faktor koreksi berupa aplikasi matriks Jacobi pada selisih antara kedua model tersebut, yaitu  $\Delta m_0$ . Persamaan 3 dapat dituliskan kembali dalam bentuk yang mirip dengan persamaan yang berlaku pada hubungan linier antara data dengan parameter model, yaitu  $d = Gm$  sehingga diperoleh persamaan (4):

$$d - g(m_0) = J_0 \Delta m_0 \text{ atau } \Delta d_0 = J_0 \Delta m_0 \quad (4)$$

Persamaan (4) menyatakan hubungan linier antara  $\Delta d_0 = d - g(m_0)$  dengan  $\Delta m_0$  yang dapat diselesaikan dengan menggunakan konsep yang sama dengan inversi linier. Pada inversi dicari model  $m$  yang membuat selisih antara data dengan respon model  $d - Gm$  minimum. Pada inversi non linier yang diformulasikan melalui pendekatan linier sebagaimana pada persamaan (4) dicari solusi  $\Delta m_0$  yang menghasilkan  $(d - (g(m_0) + J_0 \Delta m_0))$  minimum. Kuantitas yang diminimumkan adalah selisih antara data pengamatan dengan data perhitungan, namun data perhitungan diperoleh dengan menggunakan pendekatan orde pertama ekspansi Taylor. Solusi inversi non-linier dengan pendekatan linier dapat diturunkan berdasarkan analogi solusi inversi linier dapat diturunkan berdasarkan analogi dengan solusi inversi linier. Sehingga diperoleh persamaan (5):

$$\Delta m_0 = [J_0^T J_0]^{-1} J_0^T (d - g(m_0)) \quad (5)$$

Bentuk persamaan (5) identik dengan bentuk persamaan inversi linier, namun dalam hal ini matriks Kernel diganti menjadi matriks Jacobi. Dengan memperhatikan definisi  $\Delta \mathbf{m}_0 = [\mathbf{m} - \mathbf{m}_0]$  maka solusi pada persamaan (5) tersebut dapat diartikan sebagai suatu perturbasi terhadap model  $\mathbf{m}_0$  untuk memperoleh model yang lebih baik yaitu  $\mathbf{m}$ , sehingga  $\mathbf{m} = \mathbf{m}_0 + \Delta \mathbf{m}_0$ . Model  $\mathbf{m}$  dianggap lebih baik karena menghasilkan respons yang lebih dekat dengan data yang ditunjukkan oleh  $(\mathbf{d} - (\mathbf{g}(\mathbf{m}_0) + \mathbf{J}_0 \Delta \mathbf{m}_0))$  minimum.

Penelitian ini secara umum dibagi menjadi dua tahapan penting yaitu tahapan pemodelan ke depan dan tahapan pemodelan inversi. Pemodelan ke depan dilakukan untuk mendapatkan data teoritik atau data sintesis berdasarkan parameter model fisis. Nilai data teoritis atau sintesis pada pemodelan ke depan dihitung menggunakan persamaan (6), (7) untuk model *semi-infinite horizontal sheet* dan persamaan (8) untuk model *faulted vertical sheet*:

$$\Delta g_z = 13.34(\Delta\rho)(\Delta h)\left(\frac{\pi}{2} + \tan^{-1}\left[\frac{x}{z}\right]\right) \quad (6)$$

$$\Delta g_z = 13.34(\Delta\rho)(\Delta h)\left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left[\frac{x}{z}\right]\right) \quad (7)$$

$$\Delta g_z = 2G(\Delta\rho)(t) \left[ \pi + \tan^{-1}\left(\frac{x}{z_1}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x}{z_2}\right) \right] \quad (8)$$

Turunan horisontal orde satu dari anomali gravitasi merupakan perubahan nilai anomali gravitasi dari suatu titik ke titik lainnya secara horisontal dengan jarak tertentu. FHD memiliki karakteristik tajam berupa nilai maksimum dan minimum pada kontak benda anomali, sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan batas suatu struktur geologi berdasarkan anomali gravitasi. Turunan horisontal dari  $g(x,y)$  akan mudah diestimasi menggunakan metode beda hingga dan pengukuran diskrit dari  $g(x,y)$ . Turunan horisontal orde satu dihitung menggunakan persamaan (9):

$$\frac{dg(x,y)}{dx} \approx \frac{g_{i+1,j} - g_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (9)$$

Proses perancangan seluruhnya menggunakan perangkat lunak MATLAB.

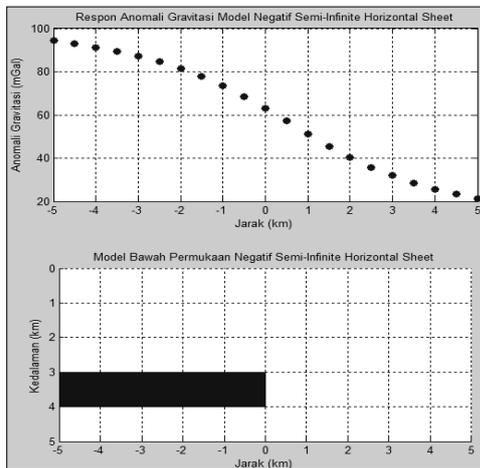
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan ke depan dilakukan dengan membuat beberapa model uji, yang nantinya

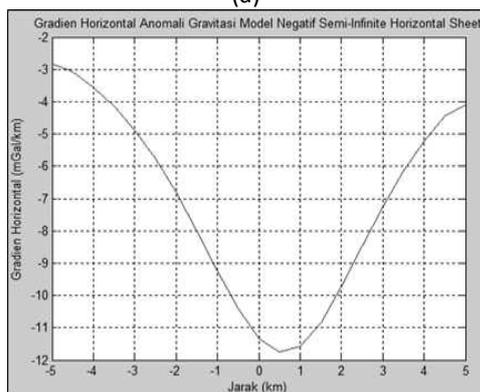
tiap-tiap model uji akan menghasilkan respon anomali medan gravitasi ( $\mathbf{g}$ ) di permukaan bumi dan model penampang bawah permukaan. Adapun model yang diujikan pada penelitian yaitu model *semi-infinite horizontal sheet* dan model *faulted vertical sheet*. Model *semi-infinite horizontal sheet* terdiri atas dua bagian yaitu model negatif *semi-infinite horizontal sheet* dan positif *semi-infinite horizontal sheet*. Pemodelan ke depan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB untuk mendapatkan data sintesis atau teoritik. Model *semi-infinite horizontal sheet* dibuat masing-masing terdiri atas lintasan negatif tak berhingga sampai positif tak berhingga. Berdasarkan persamaan (6) dan (7), dihitung respon anomali gravitasi dipermukaan bumi, yang mana respon ini akan menghasilkan data sintetik atau data teoritik yang akan digunakan pada pemodelan inversi. Parameter-parameter model yang digunakan untuk pemodelan ke depan model *semi-infinite horizontal sheet* adalah sebagai berikut:  $\rho_{\text{model}} = 2.67 \text{ g/cm}^3$ ,  $h_{\text{model}} = 1 \text{ km}$ ,  $z_{\text{model}} = 3 \text{ km}$ ,  $x_{\text{model}} = 0.6 \text{ km}$ , panjang lintasan pengukuran = 10 km dibagi dengan spasi 0.5 km.

Berdasarkan parameter input yang dibuat maka respon anomali gravitasi dan model bawah permukaan yang dihasilkan untuk pemodelan ke depan model negatif *semi-infinite horizontal sheet* ditunjukkan pada gambar 1 (a). Nilai respon anomali gravitasi model negatif *semi-infinite horizontal sheet* dengan nilai anomali gravitasi berkisar antara 21.31 mGal hingga 94.38 mGal, profil anomali mencapai nilai maksimum ke arah lintasan negatif tak berhingga dan mencapai nilai minimum ke arah lintasan positif tak berhingga. Model penampang bawah permukaan pada kedalaman 3 km hingga 4 km dengan ketebalan 1 km ditunjukkan dengan model *sheet* melintang (warna biru) sebagai model awal. Penampang *sheet* bermula pada titik nol memanjang ke arah negatif tak berhingga. Turunan horisontal orde satu anomali gravitasi merupakan perubahan nilai gravitasi dari titik ke titik lainnya secara horisontal dengan jarak tertentu, umumnya digunakan untuk menunjukkan batas suatu struktur geologi berdasarkan anomalnya. Pada penelitian FHD dilakukan pada data anomali gravitasi model negatif *semi-infinite horizontal sheet*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 (b). Nilai turunan horisontal orde satu berkisar

antara -11.75 mGal/km hingga -2.84 mGal/km. Model positif *semi-infinite horizontal sheet* ditunjukkan pada gambar 2 (a). Nilai respon anomali gravitasi model positif *semi-infinite horizontal sheet* berkisar antara 17.52 mGal hingga 90.58 mGal.



(a)

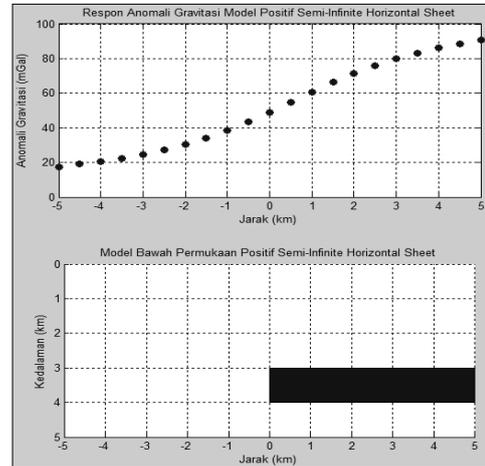


(b)

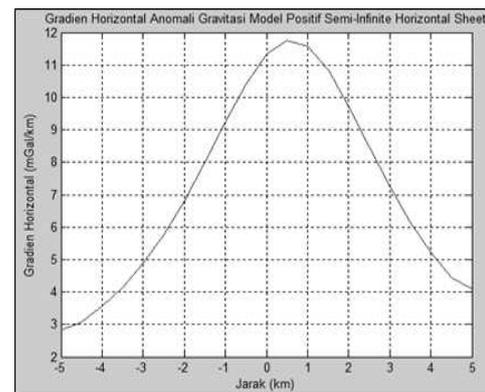
Gambar 1. (a) Grafik respon anomali gravitasi model negatif *semi-Infinite horizontal sheet* dan model penampang bawah permukaan; (b) Grafik turunan horisontal orde satu model negatif *semi-infinite horizontal sheet*.

Profil anomali mencapai nilai maksimum ke arah lintasan positif tak berhingga dan mencapai nilai minimum ke arah negatif tak berhingga. Model penampang bawah permukaan pada kedalaman 3 km hingga 4 km dengan ketebalan 1 km ditunjukkan dengan model *sheet* melintang (warna biru) sebagai model awal. Penampang *sheet* bermula pada titik nol memanjang ke arah positif tak berhingga. FHD dilakukan pada data anomali gravitasi model positif *semi-infinite horizontal sheet*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2

(b). Nilai turunan horisontal orde satu berkisar antara 2.84 mGal/km hingga 11.75 mGal/km. Struktur patahan dapat diaproksimasi oleh dua model *semi-infinite horizontal sheet*, *sheet* yang pertama berpindah secara vertikal terhadap *sheet* yang lain model ini dikenal dengan *faulted vertical sheet*.



(a)

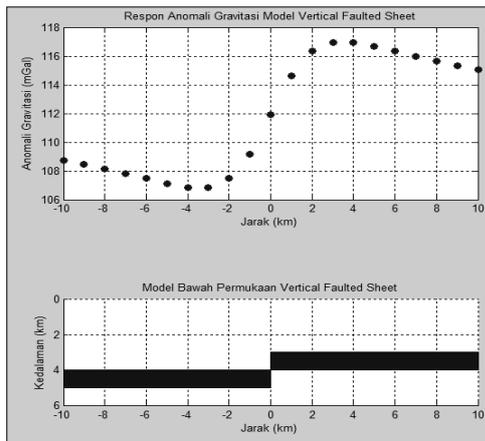


(b)

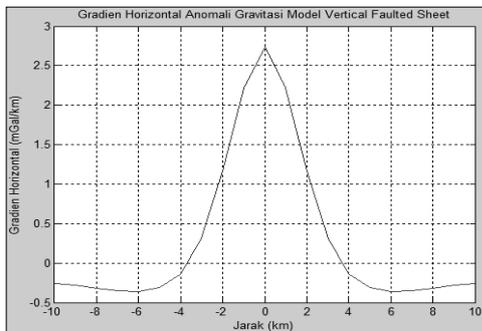
Gambar 2. (a) Grafik respon anomali gravitasi model positif *semi-infinite horizontal sheet* dan model penampang bawah permukaan; (b) Grafik turunan horisontal orde satu model positif *semi-infinite horizontal sheet*.

Pemodelan ke depan untuk model *faulted vertical sheet* dihitung menggunakan persamaan (8) dengan parameter input sebagai berikut:  $\rho_{\text{model}} = 2.67 \text{ gr/cm}^3$ , ketebalan\_sheet = 1 km,  $z_{\text{model}_1} = 3 \text{ km}$ ,  $z_{\text{model}_2} = 4 \text{ km}$ , panjang lintasan pengukuran = 20 km dibagi dengan interval 1 km. Berdasarkan parameter input yang dibuat maka dihitung nilai respon anomali gravitasi dan model bawah permukaan yang dihasilkan oleh pemodelan ke depan model *faulted vertical sheet* ditunjukkan pada gambar 3 (a).

Nilai respon anomali gravitasi model *faulted vertical sheet* berdasarkan pemodelan ke depan berkisar antara 106.84 mGal hingga 116.84 mGal. Profil anomali mencapai nilai puncak minimum pada penampang dengan kedalaman 4 km dan mencapai nilai maksimum pada penampang dengan kedalaman 3 km. FHD dilakukan pada data anomali gravitasi model *faulted vertical sheet*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 (b). Nilai turunan horisontal orde satu berkisar antara -0.35 mGal/km hingga 2.73 mGal/km.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Grafik respon anomali gravitasi model *faulted vertical sheet* dan model penampang bawah permukaan; (b) Grafik turunan horisontal orde satu model *faulted vertical sheet*

### Pemodelan Inversi (*Inverse Modeling*)

Pemodelan inversi pada penelitian ini dilakukan menggunakan data sintesis atau teoritik hasil pemodelan ke depan masing-masing untuk model negatif dan positif *semi-infinite horizontal sheet* dan model *faulted vertical sheet*. Pada pemodelan inversi yang menjadi tujuan utama yang dicari adalah parameter model berdasarkan data sintesis atau

teoritik hasil pemodelan ke depan, untuk model negatif *semi-infinite horizontal sheet* parameter model yang dicari yaitu densitas batuan ( $\rho$ ), kedalaman model *sheet* ( $z$ ), dan posisi lintasan

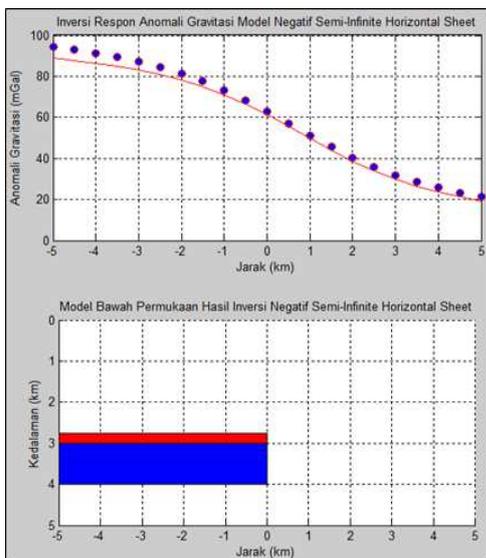
(x). Metode inversi non-linier dengan pendekatan linier pada penelitian ini menggunakan estimasi parameter model awal yang cukup dekat dengan solusi yang dicari. Parameter model yang digunakan sebagai parameter tebakan awal dan parameter model hasil inversi ditunjukkan pada tabel 1. Nilai parameter model yang dicari melalui pemodelan inversi mendekati nilai parameter model tebakan awal khususnya pada parameter densitas batuan dan kedalaman model *sheet*, sedangkan memiliki perbedaan nilai jarak lintasan. Nilai anomali gravitasi hasil kalkulasi berdasarkan tebakan awal berkisar antara 18.56 mGal hingga 89.07 mGal sedangkan nilai anomali gravitasi hasil inversi model negatif *semi-infinite horizontal sheet* berkisar antara 19,28 mGal hingga 88.85 mGal. Jika dibandingkan dengan nilai anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan sebesar  $\pm 3$  mGal. Nilai anomali gravitasi hasil pemodelan ke depan berkisar antara 21.31 mGal hingga 94.38 mGal. Nilai *error* yang dihasilkan dari hasil inversi sebesar 4.46. Grafik kurva respon anomali gravitasi hasil pemodelan ke depan (titik biru) dan hasil pemodelan inversi (kurva merah) ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 1. Hasil inversi model negatif *semi-infinite horizontal sheet*

Parameter model tebakan awal			
Densitas batuan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Kedalaman (km)	Jarak lintasan (km)	<i>error</i>
2.50	2.80	0.50	4.46
Parameter model hasil inversi			
Densitas batuan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Kedalaman (km)	Jarak lintasan (km)	<i>error</i>
2.45	2.70	0.80	4.46

Tampak kurva anomali hasil pemodelan ke depan dan inversi hampir berimpit atau cocok. Model *sheet* bawah permukaan hasil inversi (*sheet* merah) mengalami sedikit perubahan dari model *sheet* hasil pemodelan ke depan (*sheet* biru) dikarenakan adanya perubahan kedalaman *sheet* sebesar 0.1 km.

Parameter model yang dicari untuk model positif *semi-infinite horizontal sheet* parameter yaitu densitas batuan ( $\rho$ ), kedalaman model *sheet* ( $z$ ), dan posisi lintasan ( $x$ ). Metode inversi non-linier dengan pendekatan linier pada model ini juga menggunakan estimasi parameter model awal yang cukup dekat dengan solusi yang dicari. Parameter model yang digunakan sebagai parameter tebakan awal dan parameter model hasil inversi ditunjukkan pada tabel 2. Nilai parameter model yang dicari melalui pemodelan inversi mendekati nilai parameter model tebakan awal untuk ketiga parameter yaitu densitas batuan dan kedalaman model *sheet*. Nilai anomali gravitasi hasil kalkulasi berdasarkan tebakan awal berkisar antara 15.70 mGal hingga 86.21 mGal sedangkan nilai anomali gravitasi hasil inversi model positif *semi-infinite horizontal sheet* berkisar antara 15,58 mGal hingga 85.65 mGal. Jika dibandingkan dengan nilai anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan nilai anomali gravitasi hasil inversi tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan kurang lebih 1 mGal. Nilai anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan berkisar antara 17.51 mGal hingga 90.58 mGal. Nilai *error* yang dihasilkan dari hasil inversi sebesar 2.81. Grafik kurva respon anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan (titik biru) dan hasil pemodelan inversi (kurva merah) ditunjukkan pada gambar 5. Tampak kurva anomali hasil pemodelan kedepan dan inversi hampir berimpit atau cocok.



Gambar 4. Grafik respon anomali gravitasi model negatif *semi-infinite sheet* dan model bawah permukaan hasil inversi

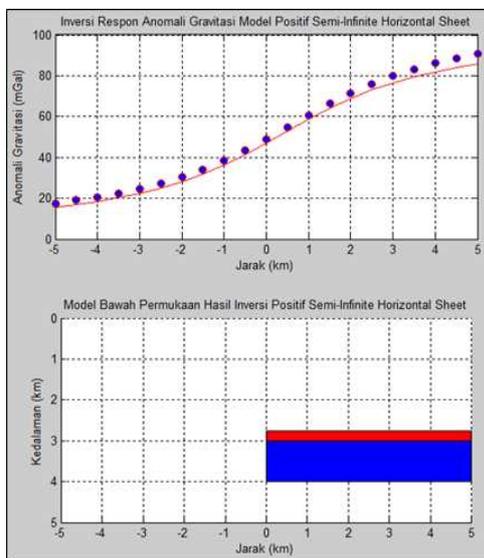
Parameter model yang dicari untuk model positif *semi-infinite horizontal sheet* parameter yaitu densitas batuan ( $\rho$ ), kedalaman model *sheet* ( $z$ ), dan posisi lintasan ( $x$ ). Metode inversi non-linier dengan pendekatan linier pada model ini juga menggunakan estimasi parameter model awal yang cukup dekat dengan solusi yang dicari. Parameter model yang digunakan sebagai parameter tebakan awal dan parameter model hasil inversi ditunjukkan pada tabel 2. Nilai parameter model yang dicari melalui pemodelan inversi mendekati nilai parameter model tebakan awal untuk ketiga parameter yaitu densitas batuan dan kedalaman model *sheet*. Nilai anomali gravitasi hasil kalkulasi berdasarkan tebakan awal berkisar antara 15.70 mGal hingga 86.21 mGal sedangkan nilai anomali gravitasi hasil inversi model positif *semi-infinite horizontal sheet* berkisar antara 15,58 mGal hingga 85.65 mGal. Jika dibandingkan dengan nilai anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan nilai anomali gravitasi hasil inversi tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan kurang lebih 1 mGal. Nilai anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan berkisar antara 17.51 mGal hingga 90.58 mGal. Nilai *error* yang dihasilkan dari hasil inversi sebesar 2.81. Grafik kurva respon anomali gravitasi hasil pemodelan kedepan (titik biru) dan hasil pemodelan inversi (kurva merah) ditunjukkan pada gambar 5. Tampak kurva anomali hasil pemodelan kedepan dan inversi hampir berimpit atau cocok.

Tabel 2. Hasil inversi model positif *semi-infinite horizontal sheet*

Parameter Model Tebakan Awal			
Densitas batuan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Kedalaman (km)	Jarak lintasan (km)	<i>error</i>
2.50	2.80	0.50	2.81
Parameter Model Hasil Inversi			
Densitas batuan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Kedalaman (km)	Jarak lintasan (km)	<i>error</i>
2.47	2.76	0.40	2.81

Model *sheet* bawah permukaan hasil inversi (*sheet* merah) mengalami sedikit perubahan dari model *sheet* hasil pemodelan ke depan (*sheet* biru) dikarenakan adanya perubahan kedalaman *sheet* sebesar 0.1 km.

Parameter model yang dicari pada pemodelan inversi model *faulted vertical sheet* yaitu densitas batuan ( $\rho$ ) dan ketebalan *sheet* ( $h$ ). Pada model ini dilakukan pemodelan inversi non-linier dengan pendekatan linier dengan estimasi parameter model awal yang cukup dekat dengan solusi yang dicari. Parameter model yang digunakan sebagai parameter tebakan awal dan parameter model hasil inversi ditunjukkan pada tabel 3.



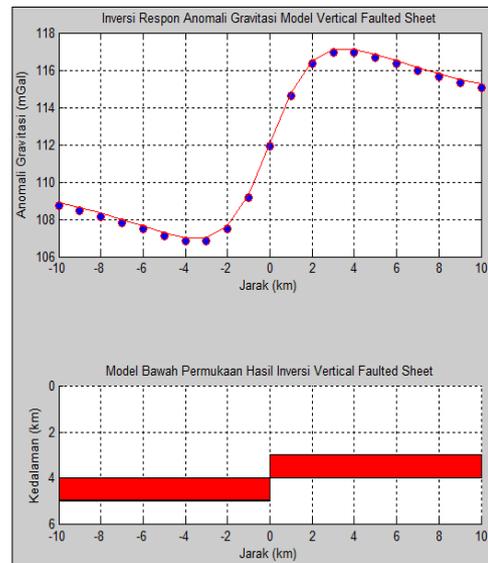
Gambar 5. Respon anomali gravitasi model positif *semi-infinite horizontal sheet* dan model bawah permukaan hasil inversi

Tabel 3. Hasil Inversi Model *Faulted Vertical Sheet*

Parameter model tebakan awal		
Densitas Batuan ( $\text{gr/cm}^3$ )	Ketebalan sheet (km)	<i>error</i>
2.70	0.95	4.40
Parameter model hasil inversi		
Densitas batuan ( $\text{gr/cm}^3$ )	Ketebalan sheet (km)	<i>error</i>
2.76	2.96	4.40

Nilai parameter model yang dicari melalui pemodelan inversi mendekati nilai parameter model tebakan awal untuk ketiga parameter yaitu densitas batuan dan ketebala model *sheet*. Nilai anomali gravitasi hasil kalkulasi berdasarkan tebakan awal berkisar antara 102.64 mGal hingga 112.35 mGal sedangkan nilai anomali gravitasi hasil inversi model *faulted vertical sheet* berkisar antara 107.00 mGal hingga 117.13 mGal.

Jika dibandingkan dengan nilai anomali gravitasi hasil pemodelan ke depan nilai anomali gravitasi hasil inversi hampir memiliki nilai yang sama, Nilai anomali gravitasi hasil pemodelan ke depan berkisar antara 106.89 mGal hingga 116.95 mGal. Nilai *error* yang dihasilkan dari hasil inversi sebesar 4.4.



Gambar 6. Respon anomali gravitasi model *faulted vertical sheet* dan model bawah permukaan hasil inversi

Grafik kurva respon anomali gravitasi hasil pemodelan ke depan (titik biru) dan hasil pemodelan inversi (kurva merah) berimpit atau fit ditunjukkan pada gambar 6.

## SIMPULAN DAN SARAN

Pemograman berbasis MATLAB untuk pemodelan ke depan dan inversi non linier model *semi-infinite horizontal sheet* dan *faulted vertical sheet* telah dibuat dan dapat diujikan meskipun hasil inversi belum

maksimal. Kurva respon anomali gravitasi dan model *sheet* bawah permukaan hasil pemodelan ke depan dan inversi untuk model *semi-infinite horizontal sheet* dan *faulted vertical sheet* mendekati cocok atau fit dengan kesalahan atau penyimpangan nilai antara 2 – 4 mGal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blakely, R.J., *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA. 1995.
- [2] Darmawan, A. Rekonseptualisasi dan pemograman reduksi data gravitasi serta pemetaan ke koordinat teratur (gridding) menggunakan bahasa pemograman Visual Basic. Skripsi, Jurusan Fisika. FMIPA. UGM Yogyakarta. 2010.
- [3] Ekinci, L, Y., 2D focusing of gravity data with the use of parameter variation as a stopping criterion. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol.11, No.1, Desember 2008, p,1-9. Turkey. 2008.
- [4] Grandis, H dan Dahrin, D. Constrain Two-Dimensional Inversion of Gravity. *J. Math. Fund. Sci.*, Vol.46, No.1, pp 1-13. ITB Journal Publisher. Bandung. 2014
- [5] Nurwidyanto, I, M, dan Setiawan, A, 2011. Inversi linier leastsquare dengan Matlab (Studi Kasus Model Gravitasi Bola Berlapis). *Berkala Fisika*, Vol 14, No. 3, Juli 2011, hal 93 -100. ISSN: 1410 – 9662. 2011
- [6] Reynolds, M, J. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Inc. USA. 1997.