

**Inversi Kuadrat Terkecil Dari Turunan Horizontal Pertama (THP)
Anomali Gaya Berat Residual Rata-Rata Berjalan Untuk Menafsirkan
Parameter-Parameter Sesar di Segmen Kerinci**

Ahmad Fauzi¹⁾, Badrul M. Kemal²⁾ dan W.G.A. Kadir³⁾

1. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar-Padang, 25131, email: afz_id@yahoo.com

2. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus UNAND Limau Manis Padang, email: rulmustafa@yahoo.com

3. Departemen Teknik Geofisika FIKTM Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesa 10 Bandung, email : wawan@p2t.itb.ac.id

Abstrak

Sebuah penafsiran kuantitatif menggunakan inversi kuadrat terkecil didasarkan pada ungkapan analitik dari Turunan Horizontal Pertama (THP) anomali gaya berat residual rata-rata berjalan digunakan untuk menafsirkan kedalaman dan ketebalan sesar vertikal. Masalah penentuan kedalaman bertransformasi kedalam masalah penentuan sebuah solusi persamaan nonlinier dalam bentuk $f(z) = 0$. Sebagai studi kasus, inversi ini diterapkan untuk menentukan parameter-parameter sesar di segmen Kerinci. Dua lintasan survei gaya berat telah dilakukan di segmen Kerinci sejajar dan memotong Sistem Sesar Sumatera (SSS). Pola anomali gaya berat merefleksikan sebuah struktur sesar di sebelah barat laut kota Sungaipenuh pada lintasan sejajar SSS dan dua struktur sesar di sebelah barat dan timur kota Sungaipenuh pada lintasan memotong SSS. Kedalaman pusat dan ketebalan sesar sebagai hasil inversi adalah 2,533 km dan 0,815 km ; 1,113 km dan 1,985 km; 2,318 km dan 4,195 km, secara berturut-turut, untuk sesar-sesar di sebelah barat laut, barat dan timur kota Sungaipenuh. Kontras rapat massa diasumsikan - 0,43 g/cm³. Lapisan penutup, batuan dasar dan lapisan yang tersesarkan direkonstruksi dengan rapat massa 2,22 g/cm³, 2,75 g/cm³ dan 2,32 g/cm³, secara berturut-turut. Hasil-hasil inversi ini bersesuaian dengan model kedapan 2,5D.

Kata-kata kunci : inversi kuadrat terkecil, THP anomali gaya berat residual rata-rata berjalan, persamaan nonlinier $f(z)=0$, kedalaman pusat sesar, ketebalan sesar, segmen Kerinci.

Abstract

A quantitative interpretation using a least-squares inverse based on the analytical expression from the first horizontal derivative (FHD) of moving average residual gravity anomalies is used to find depth and thickness of the fault. The problem of the depth determination has been transformed into the problem of finding a solution of a non-linear equation of the form $f(z)=0$. As a case study, this inverse is applied to carry out the fault parameters in the Kerinci segment. Two lines of gravity survey were carried out along and cross the Sumatra Fault System (SFS). The gravity anomaly pattern reflected a fault structure at northwest Sungaipenuh area in line along SFS and two-fault structure at western and eastern Sungaipenuh area in line cross SFS. The central depth and thickness of fault as a result inverse are 2.533 km and 0.815 km; 1.113 km and 1.985 km; 2.318 km and 4.195 km, respectively, for faults at northwestern, western and eastern Sungaipenuh area. The density contrast is assumed - 0,43 g/cm³. Surface layer, basement and the layer faulted are reconstructed with density 2.22 g/cm³, 2.75 g/cm³ and 2.32 g/cm³, respectively. These results inverse agree with 2.5D forward model.

Keyword : A least-squares inverse, FHD of moving average residual gravity anomalies, non-linear equation $f(z) = 0$, the central depth of fault, thickness of fault, the Kerinci segment.

1. Pendahuluan

Penafsiran data anomali gaya berat selalu bersifat ambiguitas, artinya benda dengan geometri yang berlainan dapat menghasilkan pola anomali yang identik di permukaan¹⁾. Sifat ambiguitas ini merupakan masalah dalam proses inversi sehingga kedalaman dan geometri benda tidak dapat diturunkan secara eksak dari anomali gaya berat hasil pengamatan²⁾. Kedalaman hanya dapat diturunkan secara eksak bila kontras rapat

massa dan geometri benda anomali dianggap sebagai parameter tetap³⁾.

Hubungan antara anomali gaya berat dengan kedalaman benda dapat bersifat linier atau nonlinier. Secara umum, masalah-masalah nonlinier adalah penerapan dari inversi kuadrat terkecil⁴⁾ dan ia telah banyak digunakan untuk menafsirkan kedalaman benda anomali gaya berat⁵⁻⁸⁾. Namun, penerapan inversi kuadrat terkecil yang didasarkan pada ungkapan analitik



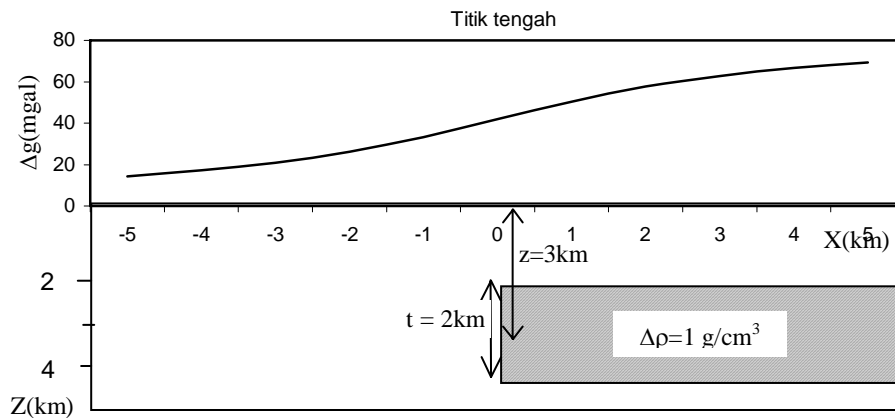
(b)

Gambar 1(a) Lokasi daerah penelitian (b) peta geologi daerah penelitian

Litologi utama daerah sekitar sesar Kerinci adalah granit dan granodiorit yang tertutupi oleh aluvial. Garis putus-putus pada Gambar 1(b) merupakan sesar-sesar utama yang berarah barat laut-tenggara sejajar SSS. Untuk mendapatkan data, pengukuran gaya berat di lakukan pada dua lintasan yaitu sejajar SSS dan memotong SSS. Dua garis hitam tebal pada Gambar 1(b) menunjukkan kedua lintasan gaya berat tersebut.

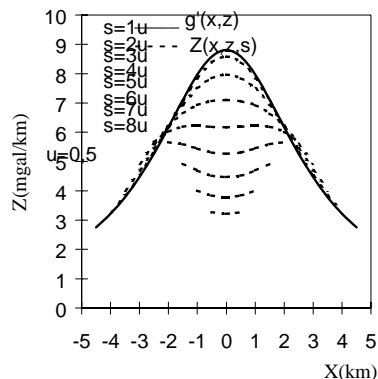
2.2 Penerapan metoda pada data sintetik

Untuk menguji validitas metoda inversi, dilakukan analisa pada data sintetik berdasarkan pers.(1). Penampang direkonstruksi dengan parameter-parameter sesar seperti kedalaman adalah 3 km, ketebalan adalah 2 km, kontras rapat massa adalah 1 g/cm³ dan panjang penampang adalah 10 km. Posisi x = 0 disebut titik tengah yaitu posisi dimana lapisan tersesarkan. Penampang anomali gaya berat data sintetik dapat dilihat pada Gambar 2.

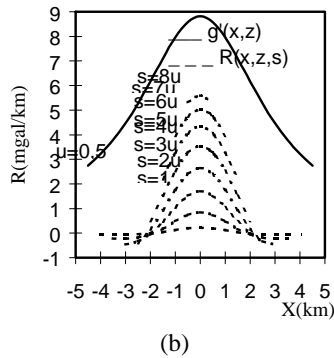


Gambar 2. Penampang anomali gaya berat dari data sintetik

Untuk kepentingan analisa data, penampang sesar pada Gambar 2 digrid dengan lebar spasi $u = 0,5$ km. THP anomali gaya berat dicari dengan metoda beda hingga dan pemisahan THP anomali gaya berat menjadi komponen residual dan regional menggunakan metoda rata-rata berjalan⁽¹⁰⁾. Pemisahan dimulai dari panjang jendela terkecil yaitu $s = 1u, s = 2u, \dots, s = 8u$. Hasil pemisahan penampang THP anomali gaya berat menjadi komponen residual dan regional dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



Gambar 3. THP anomali gaya berat komponen (a) regional dan (b) residual dari data sintetik.

Sesuai dengan tujuan, kedalaman sesar dicari dari pers. (8) menggunakan metoda grafik dan metoda Muller sedangkan ketebalan sesar dicari dari pers. (5) menggunakan data R(maks) dari Gambar 3(b). Dalam hal ini metoda grafik bertujuan untuk memperkirakan titik potong sumbu z terhadap sumbu $f(z) = 0$, sedangkan metoda Muller bertujuan untuk mendapatkan z pada ketelitian 0,001 km. Kedalaman dan ketebalan sesar hasil inversi pada data sintetik diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel .1 Memperlihatkan kedalaman dan ketebalan sesar hasil inversi pada data sintetik.

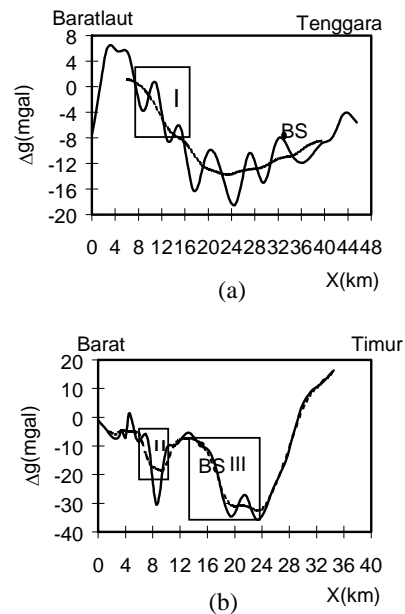
Penampang	X (km)	u (km)	ρ (g/cm ³)	s (u)	Jumlah titik	Rmaks (mgal/km)	z (km)	A (mgal)	t (km)
Sintetik	10	0.5	1	1	17	0.228	3.014	25.658	1.923
				2	15	0.848	3.124	28.503	2.136
				3	13	1.709	3.076	27.363	2.051
				4	11	2.647	3.073	27.338	2.049
				5	9	3.546	3.070	27.302	2.046
				6	7	4.345	3.072	27.344	2.049
				7	5	5.027	3.074	27.373	2.051
				8	3	5.594	3.078	27.414	2.055
Nilai rata-rata							3.073	27.287	2.045

Keterangan : X = panjang penampang

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa tidak ada pola yang signifikan untuk menyatakan hubungan antara panjang jendela dengan ketelitian kedalaman dan ketebalan. Secara umum, kesalahan rata-rata adalah 2,4 % untuk penafsiran kedalaman dan 2,2 % untuk penafsiran ketebalan dengan lebar grid 0,5 km. Dari hasil studi pada berbagai lebar grid menunjukkan bahwa inversi ini memberikan hasil yang lebih teliti pada grid kecil, tetapi tidak memberikan solusi terhadap grid terlalu kecil. Inversi ini sangat baik diterapkan untuk menafsirkan kedalaman dan ketebalan lapisan tipis¹¹⁾ yang memenuhi hubungan $\frac{t}{z} \leq 2$.

2.3 Penerapan metoda pada data lapangan

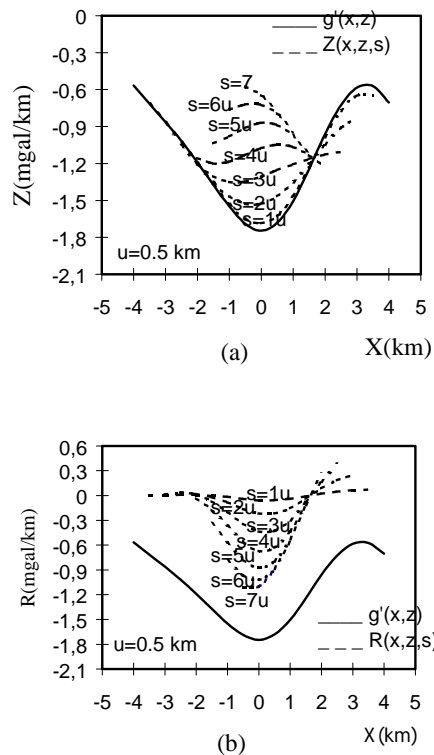
Analisa dilakukan terhadap penampang anomali gaya berat hasil pengamatan pada kedua lintasan yang telah direkonstruksi dengan rapat massa 2,67 g/cm³. Untuk memudahkan interpretasi, penampang anomali gaya berat kedua lintasan dihaluskan (*smooth*). Penampang anomali gaya berat hasil pengamatan setelah dihaluskan dapat dilihat pada Gambar 4.



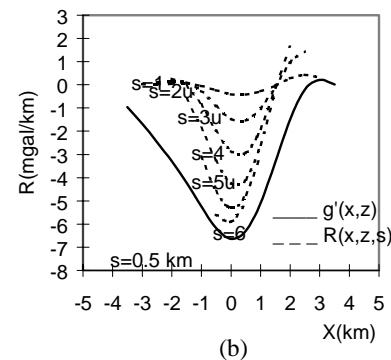
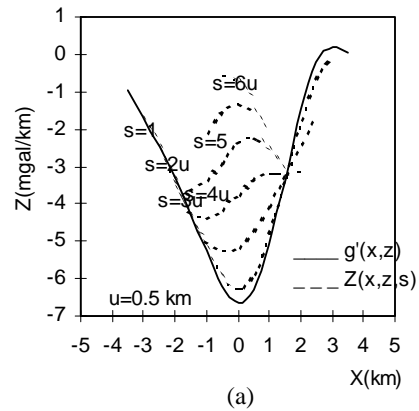
Gambar 4. Penampang anomali gaya berat hasil pengamatan (a) sejajar SSS, dan (b) memotong SSS setelah dihaluskan.

Pola anomali kedua lintasan pada Gambar 4 memperlihatkan ada sebuah struktur sesar (sesar I) pada lintasan sejajar SSS dan dua buah sesar (sesar II dan sesar III) pada lintasan memotong SSS. Posisi sesar pada lintasan sejajar SSS terletak di daerah sebelah barat laut kota Sungaipenuh (titik BS) dan posisi dua buah sesar pada lintasan memotong SSS terletak di sebelah barat dan timur kota Sungaipenuh. Sesuai dengan model, maka akan dilakukan analisa terhadap ke tiga penampang sesar menggunakan inversi kuadrat terkecil.

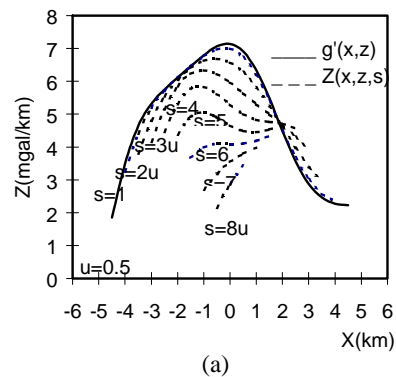
Untuk tujuan praktis, panjang penampang sesar I, II dan III yang akan dianalisa adalah 9 km, 8 km dan 10 km dan lebar spasi grid adalah 0,5 km. THP anomali gaya berat ketiga sesar dicari dengan metoda beda hingga dan pemisahan THP anomali gaya berat menjadi komponen residual dan regional dilakukan dengan metoda rata-rata berjalan¹⁰⁾. Pemisahan dimulai dari panjang jendela $s = 1u, 2u, \dots, 7u$ untuk sesar I, $s = 1u, 2u, \dots, 4u$ untuk sesar II dan $s = 1u, 2u, \dots, 6u$ untuk sesar III. Hasil pemisahan penampang THP anomali gaya berat menjadi komponen residual dan regional dapat dilihat pada Gambar 5.



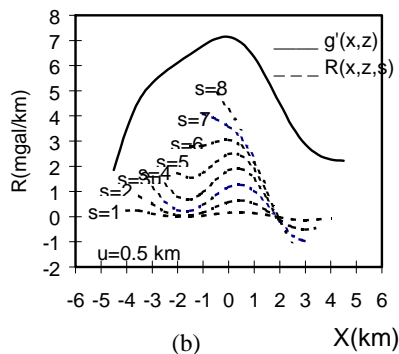
Gambar 5. THP anomali gaya berat komponen (a) regional dan (b) residual dari sesar I.



Gambar 6. THP anomali gaya berat komponen (a) regional dan (b) residual dari sesar II.



Gambar 5. THP anomali gaya berat komponen (a) regional dan (b) residual dari sesar I.



Gambar 7. THP anomali gaya berat komponen (a) regional dan (b) residual dari sesar III.

Kedalaman ke tiga sesar dicari dari pers. (8) dan ketebalannya dicari dari pers. (5). Data-data $R(\text{maks})$ diambil dari Gambar 5(b), Gambar 6(b), Gambar 7(b) dan data kontras rapat massa adalah $-0,43 \text{ g/cm}^3$ diambil dari^{12,13)} kedalaman dan ketebalan sesar hasil inversi pada data lapangan perlihatkan pada Tabel 2.

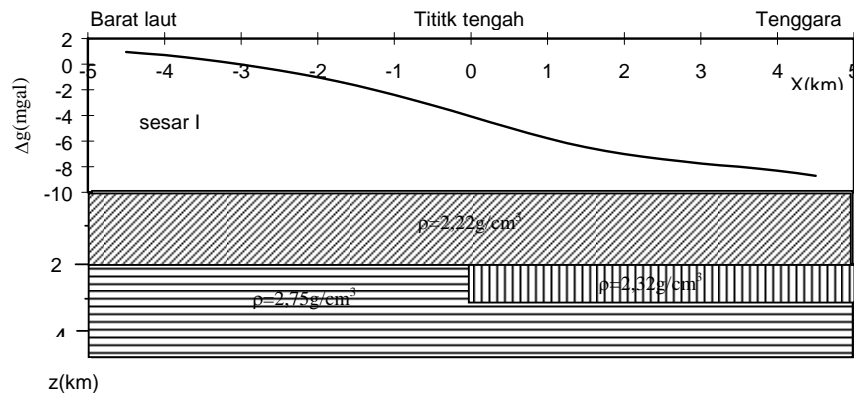
Tabel 2. Memperlihatkan kedalaman dan ketebalan sesar hasil inversi pada data lapangan.

Penampang	X (km)	u (km)	$\Delta\rho$ (g/cm^3)	s (u)	Jumlah titik	Rmaks (mgal/km)	z (km)	A (mgal)	t (km)
Sesar I	8	0.5	-0.43	1	15	-0.059	-	-	-
				2	13	-0.217	2.698	-4.847	0.845
				3	11	-0.436	2.491	-4.081	0.711
				4	9	-0.670	2.364	-3.797	0.662
				5	7	-0.874	3.516	-9.151	1.595
				6	5	-1.021	2.074	-3.131	0.546
				7	3	-1.000	2.055	-3.040	0.530
Nilai rata-rata							2.533	-4.674	0.815
Sesar II	8	0.5	-0.43	1	9	-1.599	1.168	-12.060	2.102
				2	7	-4.607	1.240	-14.497	2.527
				3	5	-6.474	0.867	-7.488	1.305
				4	3	-6.873	1.176	-10.877	1.896
Nilai rata-rata							1.113	-11.230	1.958
Sesar III	10	0.5	-0.43	1	13	-0.407	2.488	-26.111	4.552
				2	11	-1.472	2.334	-22.146	3.861
				3	9	-2.864	2.174	-19.308	3.366
				4	7	-4.246	2.914	-38.638	6.736
				5	5	-5.301	1.393	-16.461	2.870
				6	3	-5.904	2.061	-17.911	3.122
Nilai rata-rata							2.318	-23.429	4.084

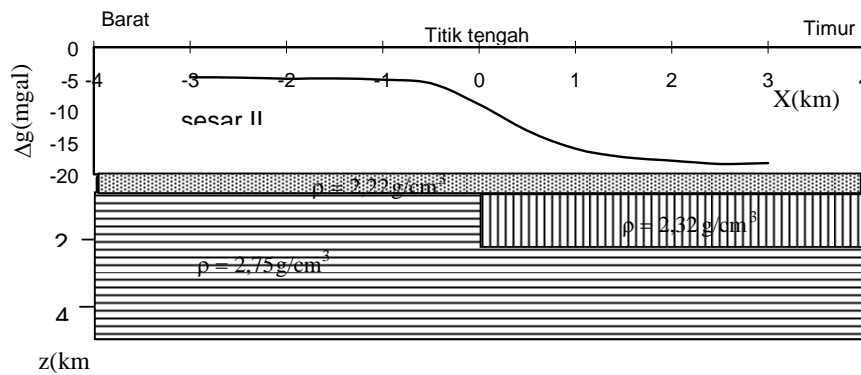
3. Hasil dan Pembahasan

Dari Tabel 2 terlihat kedalaman dan ketebalan sesar untuk penampang sesar I, II dan III adalah 2,533 km dan 0,815 km; 1,113 km dan 1,458 km; 2,318 dan 4,084 km secara berturut-turut. Hasil ini merupakan penafsiran kedalaman dan ketebalan rata-rata secara statistik. Berdasarkan data-data pada Tabel 2 dapat rekonstruksi model struktur ketiga penampang

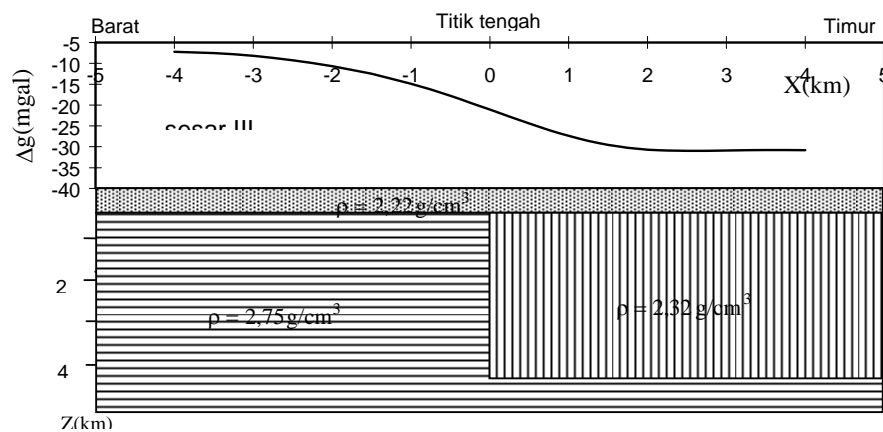
sesar dengan menggunakan asumsi bahwa rapat massa lapisan penutup (aluvial) adalah $2,22 \text{ g/cm}^3$, rapat massa batuan dasar (granodiorit) adalah $2,75 \text{ g/cm}^3$ dan rapat massa lapisan yang tersesarkan (sedimen) adalah $2,32 \text{ g/cm}^3$. Model struktur sesar ketiga penampang diperlihatkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Model struktur sesar hasil inversi untuk penampang sesar I



Gambar 9. Model struktur sesar hasil inversi untuk penampang sesar II



Gambar 10. Model struktur sesar hasil inversi untuk penampang sesar III

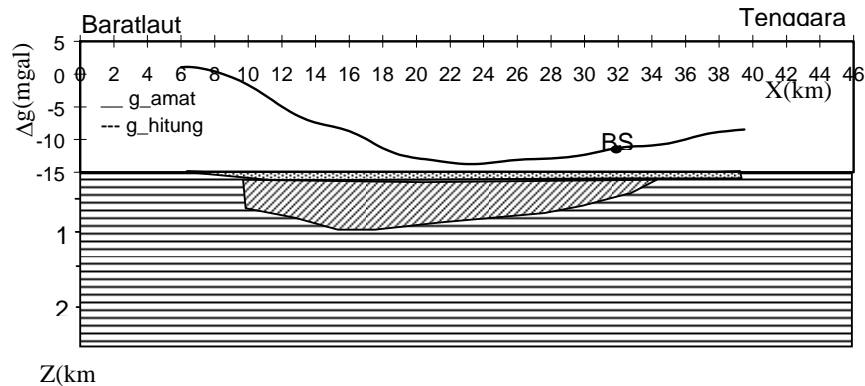
Gambar 8 memperlihatkan model struktur sesar hasil inversi untuk penampang sejajar SSS. Sesar ini diduga sebagai daerah diskontinuitas antara segmen Kerinci dan segmen Muaralabuh. Hasil ini mendukung penelitian sebelumnya

bahwa terdapat segmentasi disepanjang SSS¹⁴⁾. Gambar 9 dan Gambar 10 memperlihatkan model struktur sesar hasil inversi untuk penampang memotong SSS. Kedalaman sesar di sebelah barat kota Sungaipenuh lebih dangkal dari sesar di

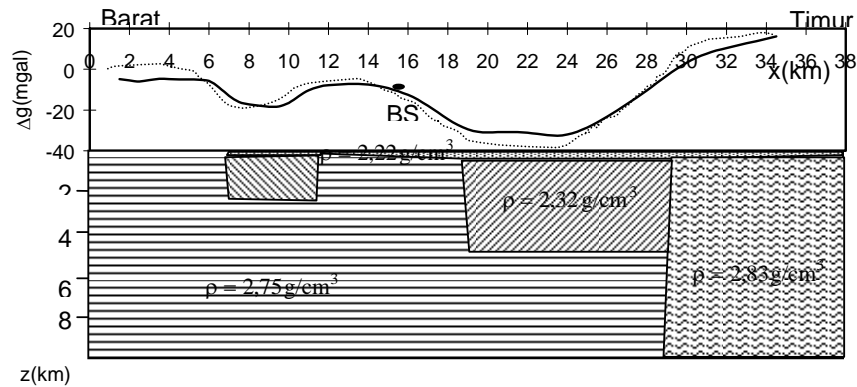
sebelah timur. Kedalaman hasil inversi ini sesuai dengan yang diturunkan berdasarkan metoda dekonvolusi^{15,16}.

Untuk menguji validitas metoda inversi terhadap data lapangan, digunakan metoda

kedepan 2,5D. Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan struktur sesar hasil kedepan 2,5D untuk penampang sejajar dan memotong SSS.



Gambar 11. Model struktur sesar hasil kedepan 2,5 D untuk penampang sejajar SSS



Gambar 12. Model struktur sesar hasil kedepan 2,5 D untuk penampang memotong SSS

Kedua model struktur sesar pada Gambar 11 dan Gambar 12 memperlihatkan bahwa parameter-parameter sesar hasil inversi bersesuaian dengan hasil kedepan 2,5D. Hanya saja, hasil kedepan 2,5 untuk penampang memotong SSS memperlihatkan adanya batuan dasar dengan rapat massa $2,83 \text{ g/cm}^3$ menerobos di bagian paling timur lintasan. Batuan dasar tersebut tidak sampai ke permukaan karena tertutup oleh aluvial. Berdasarkan hasil-hasil inversi dan kedepan 2,5D dapat disimpulkan bahwa dataran rendah Sungai penuh adalah sebuah struktur graben. Hasil ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa struktur di sepanjang SSS adalah sebuah struktur graben^{16,17} yang diduga terbentuk sebagai akibat pergerakan aktif SSS yang disebabkan berubahnya jalur

subduksi tegak di depan Jawa menjadi menyerong (*oblique*) di depan Sumatera¹⁸.

4. Kesimpulan

1. Pola anomali gaya berat di segmen Kerinci merefleksikan satu struktur sesar pada lintasan sejajar SSS dan dua struktur sesar pada lintasan memotong SSS.
2. Parameter-parameter sesar diturunkan dari THP anomali gaya berat residual rata-rata berjalan berdasarkan inversi kuadrat terkecil dimana masalah penentuan kedalaman bertransformasi kedalam masalah penentuan sebuah solusi persamaan nonlinier dalam bentuk $f(z) = 0$. Sebagai model digunakan sesar vertikal yang didekati dengan sebuah lapisan tipis horizontal setengah hingga.
3. Kedalaman pusat dan ketebalan sesar hasil inversi adalah 2,533 km dan 0,815 km; 1,113

km dan 1,958 km ; 2,318 km dan 4,084 km, secara berturut-turut untuk sesar-sesar di sebelah barat laut, barat dan timur kota Sungaipenuh. Kontras rapat massa diasumsikan $-0,43 \text{ g/cm}^3$.

4. Lapisan penutup, batuan dasar dan lapisan yang tersesarkan direkonstruksi dengan rapat massa $2,22 \text{ g/cm}^3$, $2,75 \text{ g/cm}^3$ dan $2,32 \text{ g/cm}^3$ secara berturut-turut.
5. Model struktur sesar hasil inversi dan kedepan 2,5D memperlihatkan bahwa dataran rendah daerah Sungaipenuh adalah sebuah struktur graben.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Prof.Dr.Ir.Lilik Hendrajaya, M.Sc dari Laboratorium Fisika Bumi-ITB yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan dan fasilitas. Tulisan ini merupakan kaji-ulang terhadap tesis S-2 yang penulis selesaikan di Jurusan Fisika-ITB.

Daftar Pustaka

1. Skeels, D.C., *Ambiguity in Gravity Interpretation*, Geophysics, 12, 1947, p.43-56.
2. Kadir, W.G.A., Zen, M.T., Hendrajaya, L., Santoso, D., dan Sukmono, S., *Peta Variasi Densitas Berdasarkan Dekonvolusi Anomali Gaya berat dan Aplikasinya pada daerah Tarutung dan Sekitarnya*, Jurnal Teknologi Mineral, 3(2), 1995.
3. Roy, A., *Ambiguity in Geophysical Prospecting Interpretation*, Geophysics, 27, 1962, p.90-99.
4. Abdelrahman, E.M., Bayoumi, A.I., and El-Araby, H.M., *A least-squares minimization approach to invert gravity data*, Geophysics, 56(1), 1991, p.115-118.
5. Gupta, O.P., *A Least-Squares Approach to Depth Gravity Data*, Geophysics, 48(3), 1983, p.357-360.
6. Carbatto, C., *A least-squares procedure for gravity interpretation*, Geophysics, 30(2), 1965, p.228-223.
7. Abdelrahman, E.M., Discussion on "A least-squares minimization approach to invert gravity data" by O.P.Gupta, Geophysics, 55(1), 1990, p.376-378.
8. Abdelrahman, E.M., El-Araby, T.M., El-Araby, H. M., and Abo-Ezz, E. R., *A new method for shape and depth determinations from gravity data*, Geophysics, 66(6), p. 1774-1780, (2001).
9. Abdelrahman, E.M., and Sharafeldin, S.M., *A least-squares minimization approach to depth determination from numerical horizontal gravity gradients*, Geophysics, 60(4), 1995, p.1259-1260.
10. Abdelrahman, E. M., and El-Araby, T.M., *A Least-squares Minimization Approach to Depth Determination from Moving Average Residual Gravity Anomalies*, Geophysics, 59(12), 1993, p.1779-1984
11. Saha, J. G., *Gravity Approximation and Interpretation of A two-dimensional Vertical Fault*, Geophysics, 42, 1977, p.1462-1467
12. Harjono, H., *Penyelidikan Gaya berat Serta Hubungannya Dengan Kenampakan Geologi Daerah Siulak-Gedang dan Sekitarnya, Kabupaten Kerinci, Propinsi Jambi, Sumatera*, Tesis Sarjana, Departemen Geologi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, 1977.
13. Kadir, W.G.A., Sukmono, S., Zen, M.T., Hendrajaya, L., and Santoso, D., *Gravity Evidences for the Thinning of the Crust Around the North Sumatera Area*, Proceedings Indonesian Petroleum Association, Twenty-Fifth Silver Anniversary Convention, 1996.
14. Sukmono, S., Zen, M.T., Kadir, W.G.A., Hendrajaya, L., Santoso, D., and Dubois, J., *Fractal geometry of The Sumatra Active Fault System and Its geodynamical implications*, J.Geodynamics, 22(1/2), 1996, p.1-9.
15. Fauzi, A., *Penentuan kedalaman sesar Kerinci dari anomali gaya berat menggunakan operator dekonvolusi*, Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII, Serpong, 25-27 April 2000.
16. Fauzi, A., dan Kadir, W.G.A., *Dekonvolusi Gaya berat 2-D untuk Menafsirkan Kedalaman Sesar di Segmen Kerinci*, KFI, 11(1), 2000, h.1-8.
17. Katili, J.A., and Hehuwat, F., *On the occurrence of large transcurrent faults in Sumatra, Indonesia*, Journal of Geosciences Osaka City University, 10, 1967, p.1-17.
18. Kemal, B.M., dan Fauzi, A., *Geodinamika Pulau Sumatera dan Implikasinya Terhadap Potensi Bencana Alam Geologi*, EKSakta, 2(1), 2001.