

**PENYELIDIKAN GAYA BERAT DAERAH PANAS BUMI SIPOHOLON-TARUTUNG
KABUPATEN TAPANULI UTARA PROPINSI SUMATERA UTARA**

**Ade Djudjun
Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral**

Abstrak

Kondisi bawah permukaan bumi yang tidak homogen dapat menyebabkan perbedaan gaya berat pada lokasi-lokasi tertentu. Gejala-gejala perbedaan ini merupakan anomali nilai gaya berat pada lokasi penyelidikan. Penyelidikan gaya berat pada survei tentang ke-panas bumian memberikan gambaran bawah permukaan yang akan digunakan untuk menafsirkan struktur, batuan alas serta sesar yang dimungkinkan dilalui oleh fluida panas bumi. Densitas Bouguer yang diperkirakan sesuai dengan keadaan di lapangan yaitu 2.60 gram/cm³. Kelurusan, pengkutuban dan pembelokan anomali gaya berat mengindikasikan adanya struktur sesar yang berarah barat-laut-tenggara, utara-selatan dan timurlaut-baratdaya (hampir barat-timur)

Pendahuluan

Perbedaan densitas batuan merupakan acuan di dalam penyelidikan gaya berat. Sumber dan tempat akumulasi panas di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan masa batuan di sekitarnya. Hasil dari penyelidikan gaya berat memberikan gambaran bawah permukaan yang dapat digunakan untuk penafsiran struktur, batuan alas (*basement*) dan sesar yang mungkin digunakan sebagai jalur oleh fluida-fluida panas bumi.

Teori Dasar

Metode gaya berat ini didasarkan atas sifat massa dari benda-benda di alam, dimana besarnya massa tersebut sangat menentukan besarnya gaya tarik menarik di antara benda tersebut. Berdasarkan hukum Newton besarnya gaya tarik menarik adalah :

$$F = G.m_1.m_2 / r^2$$

Keterangan: F = gaya tarik menarik (N)
G = konstanta gravitasi = 6.670 x 10⁻⁸ (cgs)
m₁, m₂ = massa benda (Kg)
r = jarak antara kedua benda.
(m)

Hubungan antara konstanta G dengan percepatan gaya tarik bumi andaikan suatu massa (m) berada diatas bumi bermassa M dan radius r, maka:

$$F = G. M.m / r^2$$

Gaya tarik bumi (g) adalah $g = F/m = G.M / r^2$
Satuan g dalam cm/det² atau gal = 1000 milligal.

Kondisi di atas dan di bawah permukaan bumi yang tidak homogen dapat menyebabkan perbedaan gravitasi pada lokasi-lokasi tertentu. Gejala perbedaan diantaranya oleh pengaruh alam dan kelainan-kelainan setempat sebagai penyebab terjadinya anomali.

Nilai gaya berat normal dihitung dengan mempertimbangkan bumi sebagai suatu benda elips yang berputar. Anomali Bouguer adalah gaya berat pengamatan dikurangi gaya berat normal yang telah dikoreksi oleh efek-efek ketinggian dan topografi. Alat yang digunakan dalam pengukuran gaya berat adalah Gravimeter tipe La Coste & Romberg model G – 802

Data yang Dihasilkan

- a. Peta anomali Bouguer yaitu peta anomali gaya berat yang mencerminkan pola penyebaran densitas batuan dimana densitas batuan yang digunakan ditentukan berdasarkan rata-rata densitas di daerah survei dan dapat dianggap sebagai superposisi dari 2 komponen anomali yaitu anomali lokal dan regional.
- b. Peta anomali regional diperoleh dari pemisahan anomali Bouguer menjadi anomali-anomali regional dan residual (sisa). Anomali ini lebih mencerminkan keadaan struktur batuan dasar.
- c. Peta anomali residual (sisa) mencerminkan struktur-struktur lebih dangkal (lokal), misalnya struktur-struktur sesar dan kaldera.
- d. Pemodelan gaya berat 2-dimensi merupakan model sebaran densitas dibawah permukaan dari suatu penampang anomali

tertentu yang dapat digunakan untuk memperlihatkan bentuk struktur geologi disertai dimensi dan kedalamannya.

Estimasi Densitas Batuan

Penentuan densitas untuk daerah penyelidikan dilakukan dengan cara pengukuran densitas batuan di laboratorium terhadap 6 sampel batuan yang mewakili dari daerah penyelidikan dan analisis grafik hubungan g-H yang disebut metode Parasnis. Untuk metode metoda Parasnis densitas (ρ) ditentukan dengan memanfaatkan fakta bahwa gradien dari suatu garis lurus yang dibuat dari data g-H adalah gabungan dari gradien Udara Bebas dan gradien Bouguer ($0.3086 - 0.0419\rho$). Untuk metode Parasnis, g-H, ($g_{obs} - g_{normal}$) diambil sebagai sumbu ordinat dan ketinggian H pada sumbu absis.

Variasi Densitas Sampel Batuan

Untuk perhitungan anomali Bouguer maupun untuk pemodelan dilakukan pengukuran densitas batuan terhadap 6 sampel batuan yang representatif yang diambil pada litologi yang berbeda. Hasil pengukuran densitas batuan tersebut dilakukan laboratorium Dit. Inventarisasi Sumber Daya Mineral, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Densitas Sampel Batuan Daerah Panas Bumi Sipoholon - Tarutung

Nomor Sampel	Nama Batuan	Densitas gr/cm ³	Koordinat		Lokasi/Keterangan
			X	Y	
TR-11	Tufa Toba	1.95	494888	- 230908	Dolok Silangkitan
TR-19	Andesit piroksin	2.54	489481	- 228821	Dolok Palangka Gading
TR-28	Andesit piroksin	2.66	499592	- 222804	Lumban Rao
TR-47	Ignimbrit Toba	2.22	498387	- 216616	Partuahan
TR-48	Andesit piroksin	2.76	493654	- 221629	Dolok Martimbang
TR-57	Andesit piroksin	2.46	495174	- 216648	Dolok Siborboran

Dari pengukuran tersebut terlihat bahwa densitas tertinggi terdapat pada batuan andesit dari Dolok Martimbang, dengan nilai 2.76 gr/cm³, sedangkan densitas terendah terdapat pada batuan tufa Toba dengan nilai 1.95 gr/cm³. Variasi harga densitas batuan didaerah Sipoholon berkisar antara 1.95 - 2.76 gr/cm³.

Densitas batuan rata-rata untuk daerah SipoholonTarutung adalah 2.43 gram/cm³.

Densitas Parasnis

Metode ini memanfaatkan anomali Bouguer dan terrain, yang dilakukan dengan metode korelasi g-H. Gambar 1 memperlihatkan grafik untuk mendapatkan nilai estimasi densitas dan regresi linier menggunakan seluruh data, hasil yang didapat memperlihatkan densitas rata-rata batuan dengan metoda ini 1,6 gram/cm³, jauh lebih rendah dari hasil laboratorium. Hal ini disebabkan nilai perhitungan Parasnis cenderung tersebar terutama di sebelah bawah kurva. Selanjutnya seperti telah diuraikan sebelumnya untuk perhitungan anomali dan pemodelan digunakan densitas hasil analisa laboratorium, mengingat data perhitungan Parasnis nilainya jauh lebih kecil.

Anomali Gaya Berat

a. Anomali Regional Orde-2

Anomali regional merupakan anomali permukaan polinomial (*trend surface*) orde-2 sebelum dilakukan pemfilteran. Gambar 2 memperlihatkan peta anomali regional orde-2

daerah penyelidikan untuk densitas 2.43 g/cm³. Anomali gayaberat regional dikelompokkan menjadi anomali negatif rendah (-53 sampai -47 mgal), anomalinatif sedang (-65 sampai -53 mgal) dan anomali negatif tinggi (> -65 mgal). Anomali regional ini memperlihatkan pola liniasi yang berarah utara selatan dan nilai anomali cenderung mengecil ke arah utara,

dengan nilai -47 m.gal (mendekati nol) dan membesar keselatan. dengan nilai anomali > -65 m.gal. Pola kontur anomali regional memperlihatkan pola menjarang dibagian tengah dan merapat pada ujung timur dan barat, pola demikian mencirikan pola graben (struktur graben) di bagian tengah daerah penyelidikan.

b. Anomali Bouguer

Perhitungan anomali Bouguer telah dikoreksi terrain dengan metode Hammer chart dengan jari-jari luar maksimum 10 km, menggunakan densitas 2.43 g/cm^3 , dan diikat ke harga jaringan gaya berat DG-0 Bandung. Hasil perhitungan anomali gaya berat (anomali regional, Bouguer dan sisa)

Gambar 3 memperlihatkan peta anomali Bouguer Sipoholon untuk densitas 2.43 g/cm^3 . Pola liniasi anomali Bouguer memperlihatkan arah umum baratlaut-tenggara, dan di beberapa tempat seperti di Sipoholon, Hutabarat, dan Parbubu-1 terjadi pembelokan dan pengkutuban anomali negatif rendah dan negatif tinggi. Kondisi demikian mengindikasikan adanya struktur (sesar) yang cukup kompleks di sekitar lokasi tersebut di atas, hal ini didukung oleh data geologi permukaan yang mengindikasikan adanya sesar di daerah tersebut.

Anomali gayaberat bouguer daerah Sipoholon memperlihatkan anomali gayaberat negatif, dan dikelompokkan menjadi anomali bouguer negatif: rendah, sedang dan tinggi.

Anomali negatif rendah dengan nilai -47 sampai -37 terdapat di tiga lokasi, masing-masing disekitar MAP Sipoholon mulai dari lintasan A di utara bagian timur sampai lintasan E bagian timur; yang kedua di ujung barat lintasan B sikitar Dolok Palangkagading; dan anomali negatif rendah yang ke tiga terdapat disekitar Hutabarat lintasan F dan G. Dari ketiga lokasi tersebut, anomali negatif rendah disekitar MAP Sipoholon memperlihatkan daerah anomali yang cukup luas

Anomali negatif sedang dengan nilai -47 sampai -77 mendominasi daerah penyelidikan, sekitar 90%, dari total daerah penyelidikan, yakni dari utara sampai ke selatan.

Anomali negatif tinggi dengan nilai > -77 tampak di tiga lokasi dibagian selatan daerah penyelidikan, yakni disekitar Batubalun-Batubara (sekitar titik amat R-13 – R-15) dibagian Selatan - Baratdaya; kedua sekitar R-29 (Huta Sihombing - Salib Kasih) Tenggara - barat; dan ketiga sekitar Dolok Sitoride (di selatan) daerah penyelidikan.

c. Anomali Sisa Gaya Berat

Gambar 4 memperlihatkan peta anomali sisa orde-2 daerah penyelidikan untuk densitas 2.43 g/cm^3 . Anomali sisa tersebut dikelompokkan menjadi tiga daerah anomali, yakni anomali sisa rendah, sedang dan tinggi. Anomali sisa rendah dengan nilai > -25 m.gal membentuk kutub-kutub negatif yang terdapat di dua lokasi berikut ini.

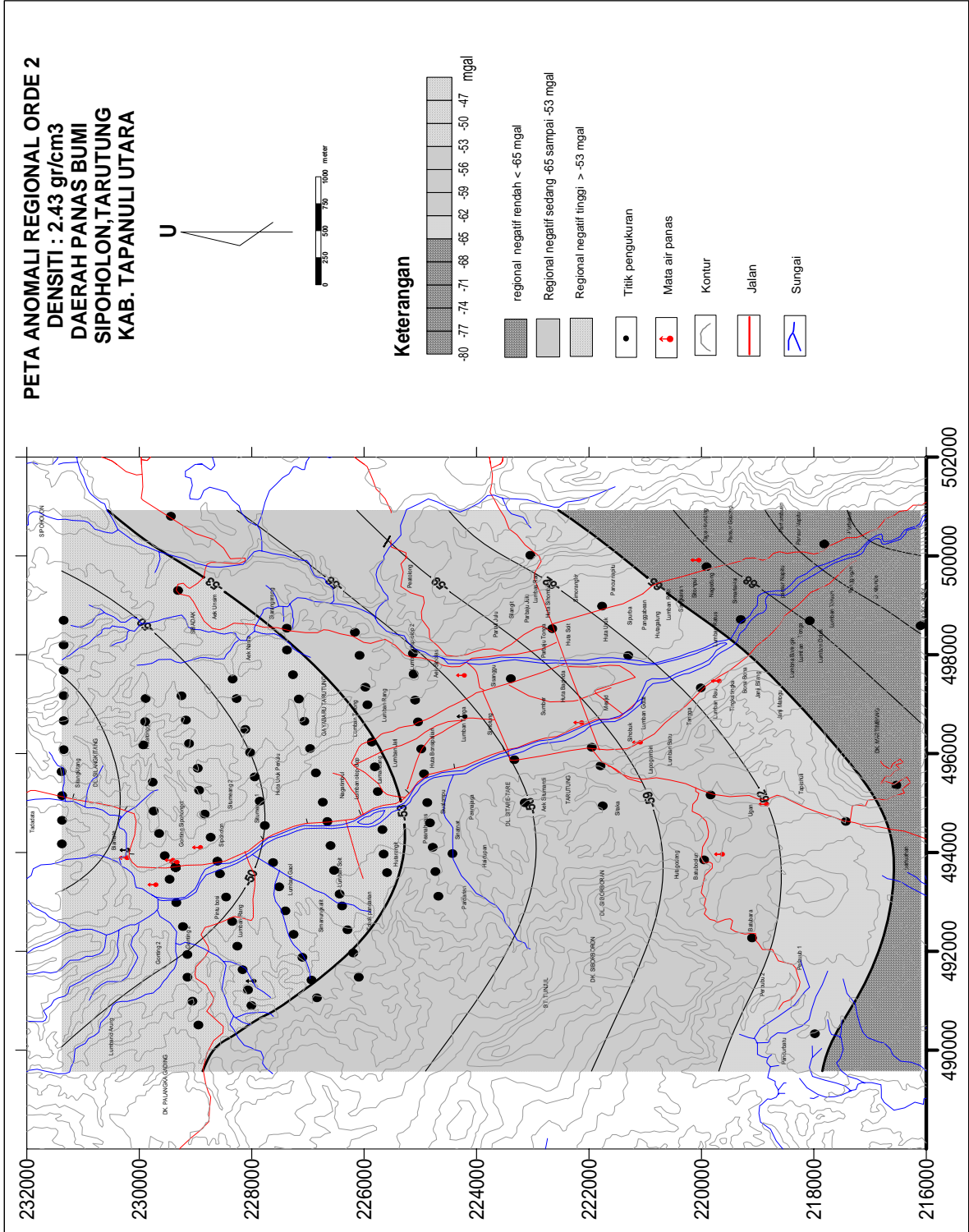
- Huta Sihombing-Lumban Rao/jalan menuju ke salib kasih di timur tenggara, dan
- Dolok Sitoride, selatan tenggara daerah penyelidikan.

Anomali sisa sedang, seperti halnya anomali Bouguer juga mendominasi daerah Sipoholon tersebar dari utara sampai selatan. Nilai anomali ini berkisar antara 5 sampai -25 m.gal.

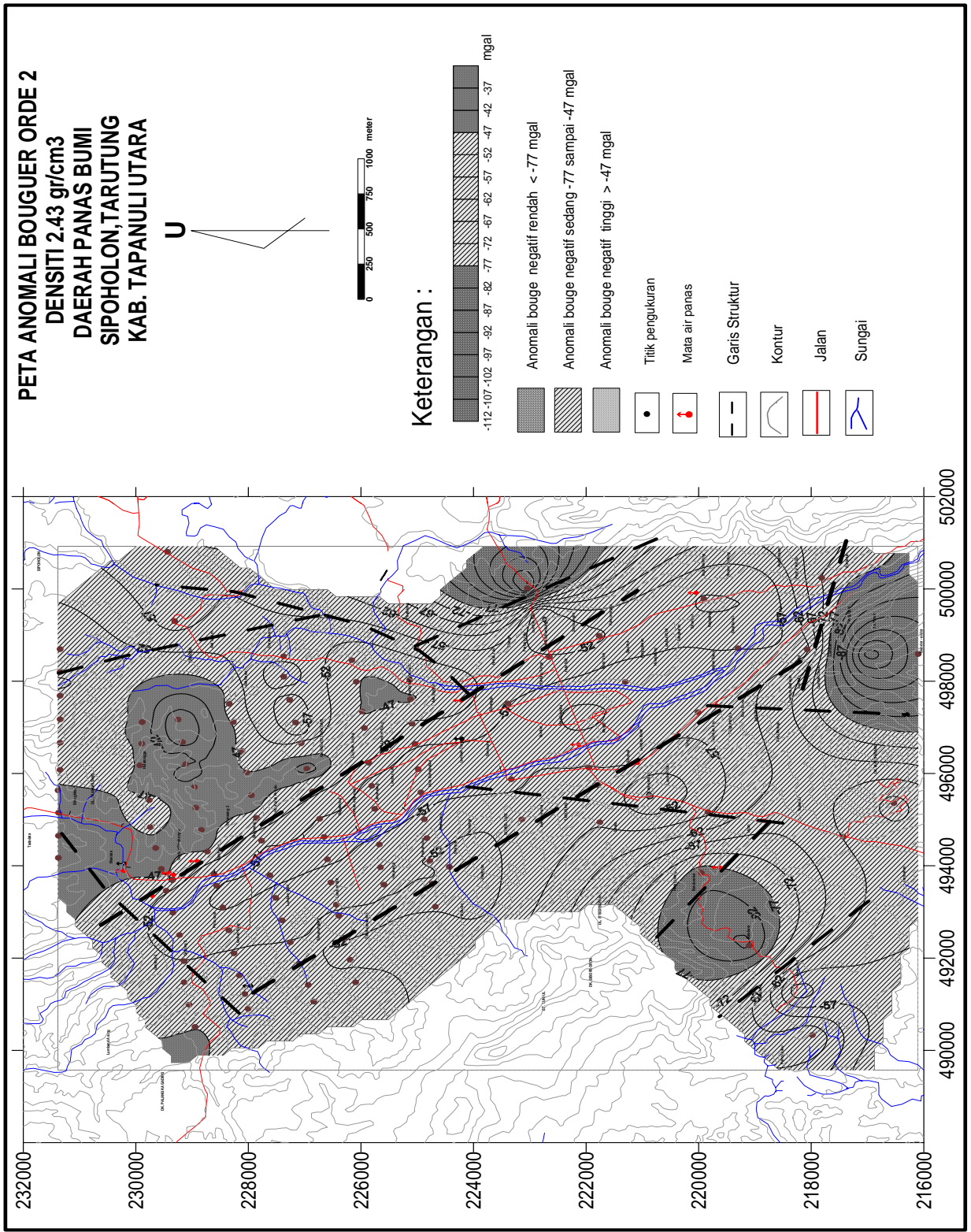
Anomali sisa tinggi, dengan nilai > 5 m.gal, yang membentuk kutub-kutub positif tampak di beberapa lokasi seperti:

- Di bagian utara : ujung timur lintasan C-D (sekitar titik amat 6000 - 7000), di barat lintasan B (titik B-0) sekitar Dolok Palangka gading,
- Di bagian tengah, sekitar titik amat E- 4500 dan di ujung timur lintasan F-G sekitar Lumban Olop-Olop (MAP Hutabarat) sekitar titik amat F-G-5000, dan
- Di selatan tampak di tiga lokasi yakni sekitar Aek Nasia, MAP Sitompul dan Dolok Martimbang.

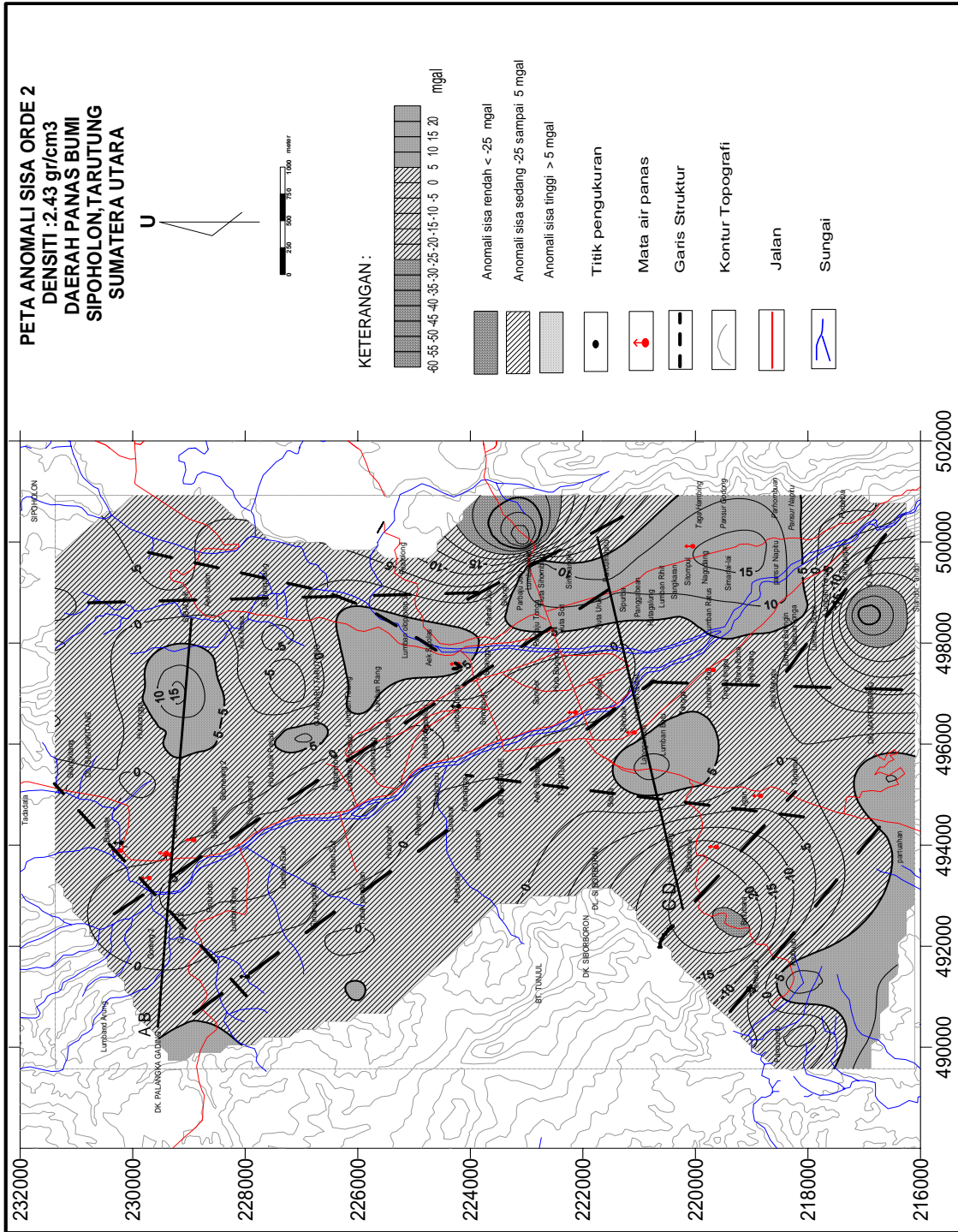
Anomali sisa memperlihatkan pola lineasi kontur yang dominan berarah baratlaut – tenggara, selain itu juga memperlihatkan pengkutuban anomali positif dan negatif dengan kerapatan serta pembelokan kontur yang tajam. Kondisi demikian mengindikasikan adanya struktur-struktur sesar yang dominan berarah baratlaut - tenggara searah dengan struktur utama daerah ini dan struktur yang berarah timurlaut-baratdaya serta hampir utara selatan



Gambar 2. Peta Anomali Gaya Berat Regional



Gambar 3. Peta Anomali Bouguer daerah panas bumi Sipoholon



Gambar 4. Peta Anomali Sisa

Pemodelan Gayaberat 2-D

Pemodelan gayaberat dibuat melalui penampang AB dan CD, masing-masing memotong mata air panas Sipoholon di utara dan Air Soda di selatan daerah penyelidikan. Kedua penampang AB dan CD berarah hampir timur-barat atau tepatnya masing-masing berarah barat-barat laut-tenggara dan timur-timur laut-barat daya. Kedua penampang tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran struktur bawah permukaan daerah sekitar MAP Sipoholon secara lebih jelas, seperti posisi mata air panas dan hubungannya terhadap struktur-struktur sesar/intrusi di bawah permukaan.

Penampang gaya berat diproses menggunakan Program Gaya berat MD 2002 yang dibuat oleh Tatang Yohana (2004).

a. Penampang AB

Model gayaberat penampang AB memperlihatkan kontras densitas batuan negatif (-0.1 sampai -0.28 gr/cm^3) yang mendominasi di sekitar MAP Sipoholon dengan ketebalan berkisar antara 1000 m sampai > 2000 m. Sedangkan batuan dengan kontras densitas positif yang berkisar antara 0.09 s.d 0.35 gr/cm^3 tampak di ujung barat dan timur penampang dengan ketebalan mencapai < 2000 m di bawah muka tanah setempat (gambar 5). Faktor kesalahan RMS dalam pemodelan penampang AB cukup kecil sekitar 0.06%. Sehingga akurasi pemodelan dapat dipertanggung-jawabkan.

b. Penampang CD

Pemodelan gayaberat penampang CD juga memperlihatkan batuan dengan kontras densitas negatif (-0.08 s.d -0.05 gr/cm^3) mendominasi daerah sekitar Air Soda dengan ketebalan > 3000 m, sedangkan batuan dengan kontras densitas positif dengan nilai $0.3 - 0.41 \text{ gr/cm}^3$ tampak di ujung barat dan timur penampang, dengan ketebalan mencapai > 2500 m. di bawah muka tanah setempat (gambar 6). Faktor kesalahan RMS pada pemodelan penampang CD juga relatif kecil sekitar 0.3%, dengan demikian akurasi pemodelan sangat baik.

Kesimpulan

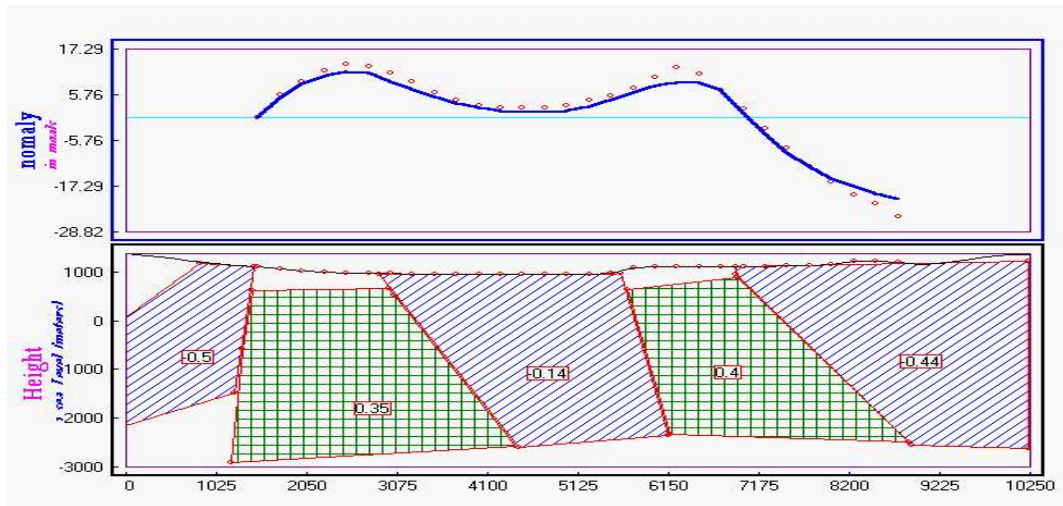
- 1) Penentuan densitas Bouguer dengan metode Parasnits menyarankan densitas 2.66

gram/cm^3 dan dari hasil analisa laboratorium densitas rata-rata 2.56 gram/cm^3 , dari hasil densitas tersebut penulis memilih yang diperkirakan sesuai dengan keadaan di lapangan yaitu 2.60 gram/cm^3 - Kelurusan, pengkutuban dan pembelokan anomali gaya berat mengindikasikan adanya struktur sesar yang berarah barat laut-tenggara, utara selatan dan timur laut-barat daya (hampir barat-timur)

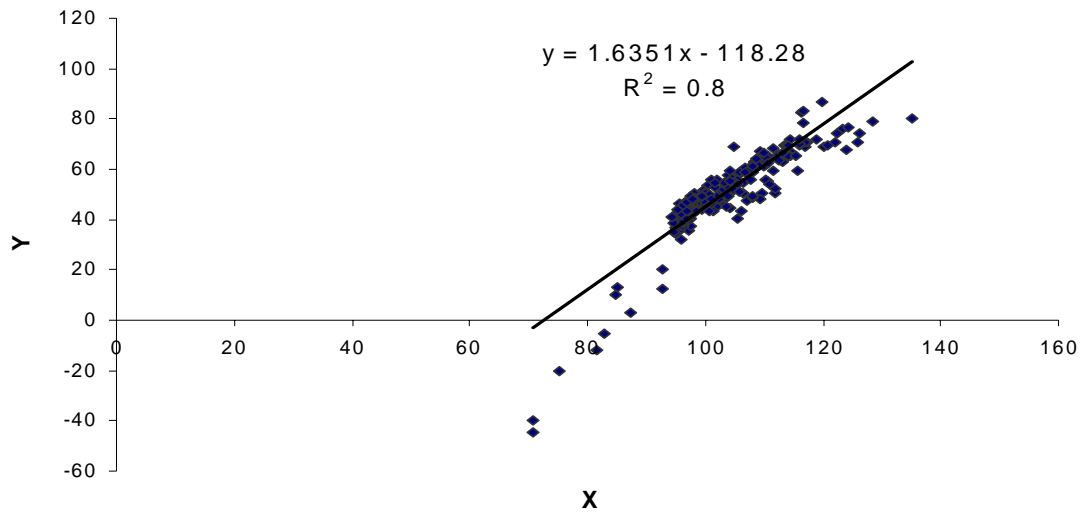
- 2) Manifestasi panas bumi di daerah Sipoholon, pada umumnya, muncul pada batuan piroklastik (tufa Toba) dan dikontrol oleh sesar yang berarah barat laut-tenggara
- 3) Anomali sisa positif tinggi yang terdapat pada lintasan C, E, F-G dan di sebelah selatan lintasan G disebabkan oleh batuan intrusi (andesit) yang tak tersingkap, yang diperkirakan merupakan bagian dari sumber panas (*heat source*) dari sistem panas bumi di daerah Sipoholon, Panabungan, Hutabarat, Aek Nasia dan Sitompul
- 4) Anomali sisa gayaberat mengindikasikan andesit yang terdapat di daerah Dolok Martimbang dan di Palangkagading merupakan suatu batuan terobosan.

Daftar Pustaka

- Lawless, J., 1995 Guidebook : An Introduction to Geothermal System. Short course Unocal Ltd Jakarta
- Telford, W.M. et al, 1982. Applied Geophysics. Cambridge University Press Cambridge
- 2005. Penyelidikan Terpadu geologi, geokimia dan geofisika daerah panas bumi Sipoholon Tarutung
- Thorpe R & Brown G, The Field Description of Igneous Rocks, Dept. Earth Science The Open University, John Wiley & Sons, New York



Gambar 6. Model 2-D daerah panas bumi Sipoholon Penampang CD



Gambar 1. Regresi Linier Densitas Parasnis, Daerah Panas Bumi Sipoholon