

Interpretasi Kuantitatif Data Anomali Gravitasi di Kawasan Panas Bumi Seulawah Agam, Aceh Besar

Quantitative Interpretation of Gravity Anomaly Data in Geothermal Field Seulawah Agam, Aceh Besar

Aprillino Wangsa, Nazli Ismail dan Marwan

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Received August, 2017, Accepted September, 2017

Survei metode Gravitasi telah dilakukan di lapangan panas bumi Seulawah Agam, Aceh Besar, Provinsi Aceh untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah tersebut. Distribusi percepatan gravitasi telah diukur dengan menggunakan instrumen Gravimeter Scintrex CG-5. Pengukuran dilakukan pada dua lintasan. Lintasan pertama sepanjang 10 km dan lintasan kedua sepanjang 5,5 km dengan total panjang lintasan 15,5 km. Data diukur secara berturut-turut pada 33 titik dan 21 titik untuk lintasan pertama dan kedua. Untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap, beberapa standar koreksi data diterapkan termasuk koreksi drift, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan. Data nilai Anomali Bouguer Lengkap sepanjang profil digunakan untuk pemodelan maju (*forward modeling*) 2D menggunakan *software Grav2DC*. Model menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari tiga lapisan. Lapisan paling atas ditafsirkan sebagai lapisan tufa pasir ($\rho = 2,09 \text{ g/cm}^3$), dan diikuti oleh lapisan lempung dibawahnya ($\rho = 2,02 \text{ g/cm}^3$). Lapisan terbawah diduga sebagai breksi vulkanik ($\rho = 2,17 \text{ g/cm}^3$). Breksi vulkanik dapat dianggap sebagai lapisan *reservoir* dan lapisan clay sebagai lapisan penutup (*cap rock*) pada sistem panas bumi di Gunung Api Seulawah Agam.

Kata Kunci: Metode Gravitasi, Densitas, Grav2DC, Sistem Panas Bumi, Seulawah Agam

Survey on gravity method has been done in Seulawah Agam geothermal field, Aceh Besar, Aceh Province to determine the subsurface structure of the area. We have measured distribution of acceleration gravity using Gravimeter Scintrex CG-5 instrument. The measurements were carried out along two profiles. Length of the first profile is 10 km and the second profil is 5,5 km with the total profile length is 15,5 km. The data were measured at 33 and 21 stations for the first and the second profile respectively. In order to obtain a Complete Bouguer Anomaly value, some standard data corrections were applied including drift correction, tidal correction, latitude correction, free air correction, Bouguer correction and terrain correction. Complete Bouguer Anomaly value data along the profile were use for 2D forward modeling using Grav2DC software. The models show that subsurface structure of the area consist of 3 layers. The upper most layer is interpreted as sandyceous tuffastones ($\rho = 2,09 \text{ g/cm}^3$), and followed by underlaying clay layer ($\rho = 2,02 \text{ g/cm}^3$). The lowest layer is expected as volcanic breccias ($\rho = 2,17 \text{ g/cm}^3$). The volcanic breccias can be considered as reservoir and the clay layer as a cap rock in geothermal system of Seulawah Agam vulcano.

Keywords: Gravity Method, Density, Grav2DC, Geothermal System, Seulawah Agam

PENDAHULUAN

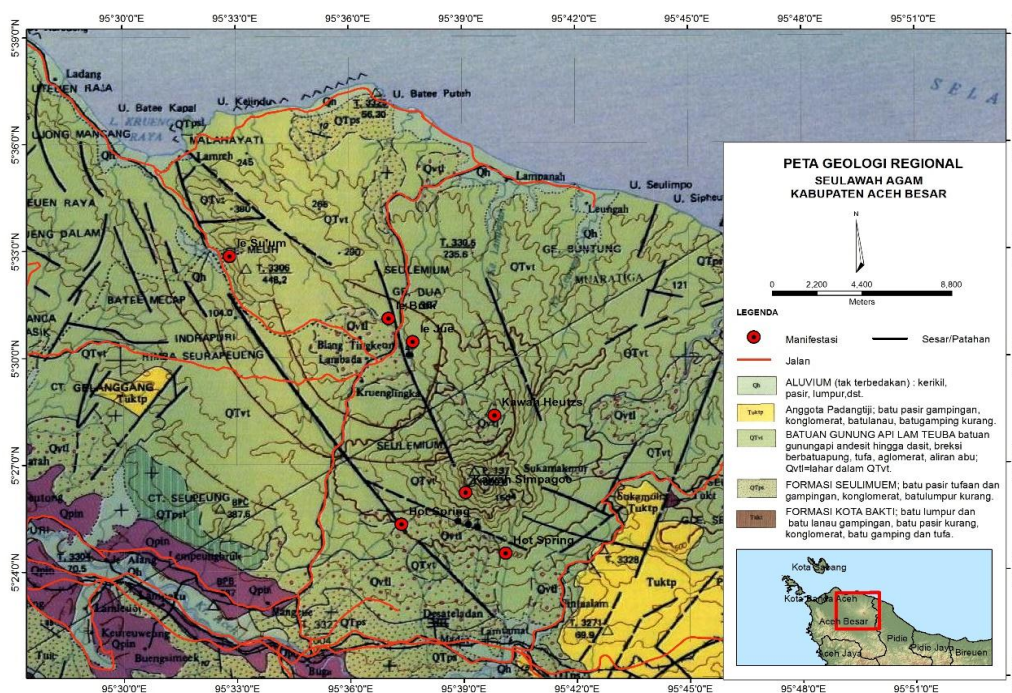
Tumbukan antara lempeng Indo-Australia di sebelah selatan dan lempeng Eurasia di sebelah utara menghasilkan zona subduksi di kedalaman sekitar 100 km di bawah Pulau Sumatera. Dari tumbukan tersebut menyebabkan terbentuknya deretan gunung api di Pulau Sumatera, sehingga

terdapat banyak sumber panas bumi di sekitar gunung api tersebut. Sumber panas bumi ini dapat dijadikan sebagai energi alternatif di Aceh. Aceh memiliki tujuh belas) lapangan panas bumi yang tersebar di berbagai Kabupaten, salah satunya Gunung Api Seulawah Agam yang berada di Kabupaten Aceh Besar.

Gunung Seulawah Agam merupakan gunung api yang terletak di tiga kecamatan yaitu Kecamatan Lembah Seulawah, Kecamatan Mesjid Raya, dan Kecamatan Seulimum, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. Secara geografis puncak Seulawah Agam terletak pada titik koordinat 5° 25,5' LU dan 95° 36' BT dan memiliki ketinggian 1.726 mdpl. Gunung Seulawah Agam memiliki dua kawah yaitu Kawah Ceumpaga dan Kawah Heutsz. Kawah Ceumpaga terletak pada lereng sebelah selatan, sedangkan Kawah Heutsz terletak pada lereng sebelah utara. Secara tektonik Gunung Seulawah Agam berada diantara dua sesar, yaitu sesar Aceh dan Sesar Seulimum. Sesar Aceh berada pada bagian sebelah barat dan relatif lebih jauh dari Gunung Seulawah Agam, sedangkan sesar Seulimum memotong langsung Gunung Seulawah Agam bagian barat. Pada daerah Gunung Seulawah Agam terdapat beberapa sesar lokal yang berada pada arah yang sama dengan arah sesar Seulimum (Muzakir, 2014).

Berdasarkan informasi peta geologi lembar Banda Aceh seperti pada Gambar 1 menunjukkan

bahwa daerah Gunung Seulawah Agam didominasi oleh batuan gunung api Lam Teuba (QTvt). Batuan gunung api Lam Teuba terdiri dari batuan gunung api andesit hingga dasit, breksi berbatu apung, tufa, aglomerat, dan aliran debu. Gunung Seulawah Agam memiliki beberapa manifestasi permukaan diantaranya manifestasi Ceumpaga sebelah selatan yang hampir berdekatan dengan puncak gunung api, terdapat Kawah Heutsz di sebelah utara, adanya air panas di daerah Ie Suum Krueng Raya, dan manifestasi di daerah Ie Ju Desa Meurah. Manifestasi di daerah Ie Ju diantaranya adanya tanah hangat (*warm ground*), permukaan tanah beruap (*steaming ground*), mata air panas, fumarol, dan kubangan lumpur. Penelitian ini bertemakan tentang survei metode Gravitasi yang akan dilakukan di lapangan panas bumi Seulawah Agam, Aceh Besar, Provinsi Aceh untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah tersebut.



Gambar 1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi dari Bennett, 1981)

METODOLOGI PENELITIAN

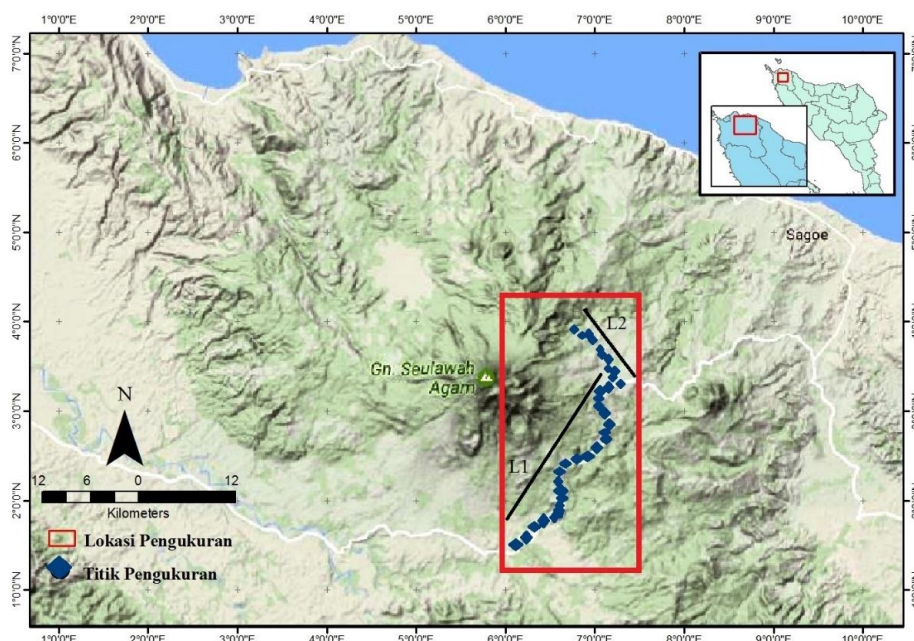
Hukum Gravitasi Universal menyatakan bahwa “Dua benda dengan massa m_1 dan m_2 saling tarik menarik dengan gaya yang sama besar, namun berlawanan arah. Besarnya gaya tarikan tersebut (F) berbanding lurus dengan hasil kali massa benda tersebut dan berbanding terbalik

dengan kuadrat jarak (r) dari kedua benda. Jika massa (m) itu berupa massa titik (atau benda yang menunjukkan simetri bola) gaya tarik tersebut secara matematis memenuhi Pers. (1).

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

dengan G adalah konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$). Alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran gravitasi di lapangan panas bumi Seulawah Agam adalah Gravimeter Scintrex CG-5, Baterai, Tripod, Charger Baterai, Adaptor, Power Supply, Dudukan Baterai, GPS, Handheld Handy Talky, Laptop, Software Surfer 11 dan Software Grav2DC. Survei lapangan merupakan kegiatan tahap pertama yang dilakukan sebelum pengukuran. Dalam tahapan ini penulis mengkaji literatur daerah penelitian yaitu dengan melihat keadaan geomorfologi daerah penelitian tersebut sehingga dapat memahami kondisi medan yang akan dihadapi. Pengukuran dilaksanakan di sekitar kawasan Gunung Api Seulawah Agam.

Pemilihan titik pengukuran didasarkan pada penelitian sebelumnya yang terkait dimana titik tersebut merupakan titik yang belum pernah diukur. Selain itu diambil juga titik yang berada di arah timur Gunung Api Seulawah Agam karena pada lokasi tersebut belum banyak yang melakukan penelitian, tidak seperti di arah barat yang telah banyak dilakukan penelitian terkait. Pengukuran data dilakukan dengan sistem lintasan yaitu jarak atau spasi ditentukan. Dimana jarak atau spasi sekitar 500 meter dengan posisi mengikuti kondisi lapangan. Jumlah titik pengukuran sebanyak 33 titik. Desain lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain Lapangan Penelitian dan lintasan pengukuran (Dimodifikasi dari GPS Visualizer)

Setelah tahap pengukuran data dilakukan, maka langkah berikutnya adalah tahap pengolahan data. Pengolahan data gravitasi dimulai dari tahap mereduksi nilai gravitasi yang terukur, hal ini dilakukan karena adanya pengaruh kondisi geologi daerah penelitian dengan dengan hasil pengukuran di lapangan. Tahap reduksi dilakukan menggunakan software Microsoft Excel, dimana dalam tahap ini menggunakan perhitungan matematis. Adapun reduksi yang dilakukan adalah dengan mengoreksi data hasil pengukuran seperti koreksi apungan (*drift correction*), koreksi lintang (*latitude correction*), koreksi pasang surut (*tidal correction*), koreksi udara bebas (*free air correction*), koreksi bouguer (*bouguer*

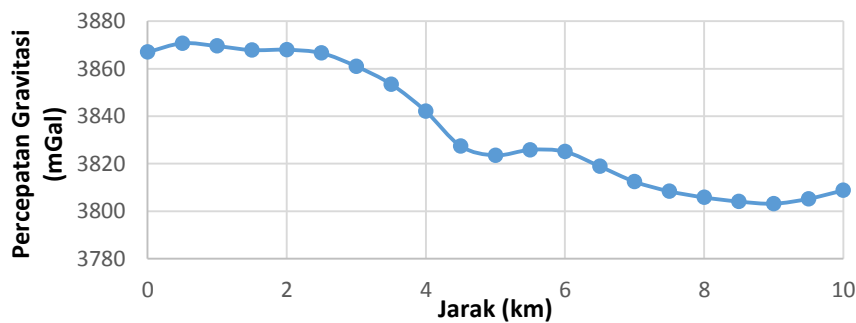
correction), dan koreksi medan (*terrain correction*). Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap. Anomali Bouguer Lengkap dapat diperoleh dari selisih antara medan gravitasi hasil pengukuran dengan nilai gravitasi normal yang telah dikoreksi.

Pemodelan data gravitasi yang sudah dikoreksi pada penelitian ini dilakukan secara *forward modeling*, karena dalam interpretasinya data gravitasi memiliki ambiguitas yang tinggi. Informasi yang diperoleh berdasarkan pengetahuan tentang geologi dan tektonik harus dimasukkan dalam setiap proses interpretasi. Penelitian medan potensial sebelumnya, atau informasi geofisika lainnya dapat membantu

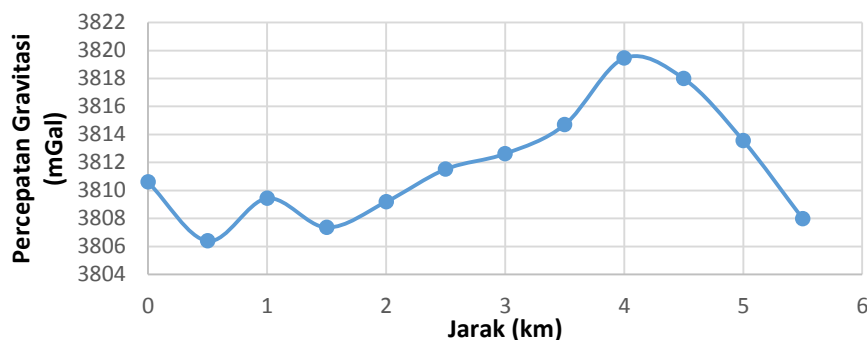
dalam pemodelan. Penggabungan informasi yang tersedia mungkin dapat mengurangi banyaknya solusi matematis untuk dibuat model. Data Anomali Bouguer Lengkap yang telah diperoleh dari proses perhitungan pada setiap titiknya akan digunakan kembali sebagai acuan pembuatan model bawah permukaan dengan *software Grav2DC*. *Grav2DC* merupakan *software* yang dirancang dengan mengadopsi perhitungan model Talwani.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan selama 3 hari sebanyak 2 lintasan. Banyaknya data yang diperoleh selama pengukuran adalah 33 titik dengan lintasan pertama sebanyak 21 titik, lintasan kedua 12 titik. Jarak antar titik pengukuran (spasi) yaitu 500 m dengan pemilihan titik mengikuti kondisi lapangan. Total panjang lintasan keseluruhan adalah 15,5 km.



Gambar 3 Profil Grafik Nilai Percepatan Gravitasi di Lintasan Pertama



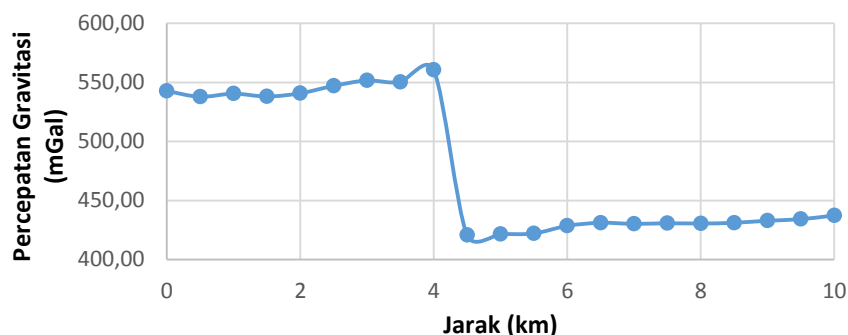
Gambar 4 Profil Grafik Nilai Percepatan Gravitasi di Lintasan Kedua

Pengukuran lapangan sebagian besar berlokasi di pemukiman warga, perkebunan, dan persawahan di desa tersebut. Kondisi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Data pengukuran gravitasi yang diperoleh dari alat pada kedua lintasan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Berdasarkan profil grafik nilai dapat dilihat bahwa nilai percepatan gravitasi pada lintasan pertama berada pada interval 3803,17 sampai 3870,73 mGal dengan nilai terendah berada di titik ke-19 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-2. Sedangkan pada lintasan yang kedua berada pada interval 3806,38 sampai 3819,44 mGal dengan nilai terendah berada pada titik ke-2 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-9. Tinggi rendahnya nilai percepatan gravitasi yang diukur oleh alat dapat disebabkan oleh beberapa faktor

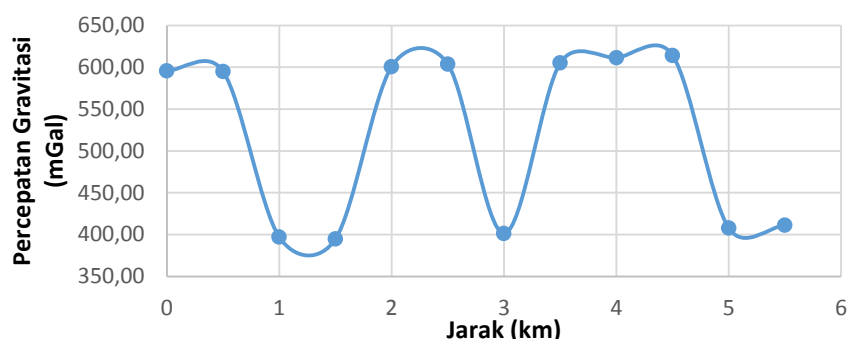
antara lain, ketinggian titik pengukuran dan lingkungan pengukuran. Secara teori nilai percepatan gravitasi berbanding terbalik dengan nilai elevasi. Semakin tinggi elevasi daerah titik pengukuran maka nilai percepatan gravitasi akan cenderung semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya semakin rendah elevasi titik pengukuran maka nilai percepatan gravitasi akan cenderung tinggi. Perbedaan nilai-nilai percepatan gravitasi juga dapat disebabkan oleh adanya perbedaan respon batuan di bawah permukaan daerah pengukuran. Profil grafik nilai gravitasi pada Gambar 3 dan 4 merupakan data percepatan gravitasi yang terukur di lapangan yang belum dilakukan koreksi-koreksi data. Data tersebut masih harus melewati beberapa koreksi untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap

yaitu nilai anomali yang disebabkan oleh variasi densitas secara lateral pada batuan di kerak bumi yang telah berada pada bidang referensi yaitu

bidang geoid. Nilai-nilai Anomali Bouguer Lengkap untuk kedua lintasan dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5 Profil Grafik Nilai Anomali Bouguer Lengkap Lintasan Pertama



Gambar 6 Profil Grafik Nilai Anomali Bouguer Lengkap Lintasan Kedua

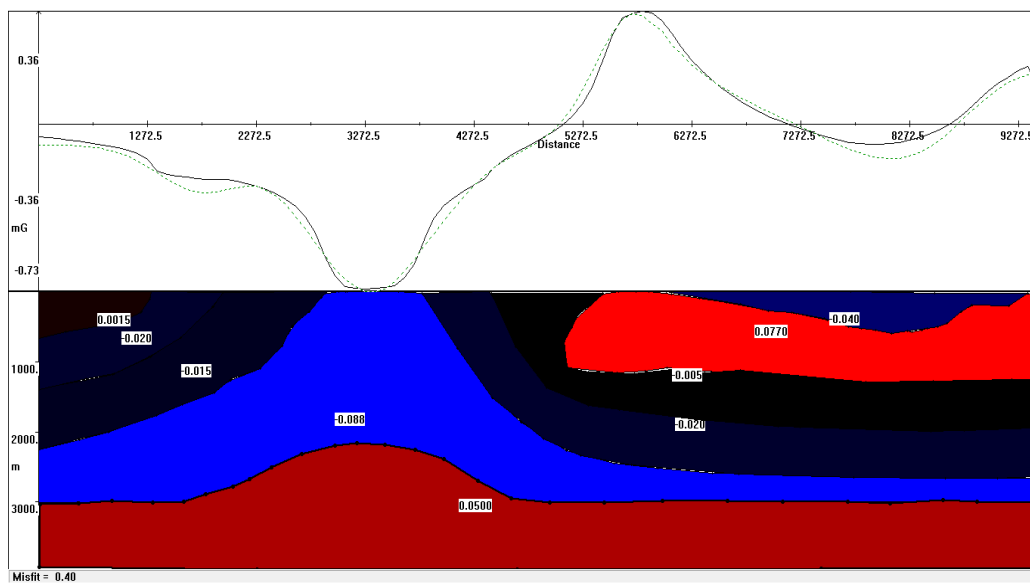
Pada lintasan pertama nilai Anomali Bouguer Lengkap tertinggi berada pada titik ke-9 dengan nilai sebesar 560,57, sedangkan nilai terendah berada pada titik ke-10 dengan nilai sebesar 420,65 mGal. Pada lintasan kedua nilai Anomali Bouguer Lengkap tertinggi berada pada titik ke-10 dengan nilai sebesar 614,23, sedangkan nilai terendah berada pada titik ke-4 dengan nilai sebesar 394,74 mGal. Selanjutnya dilakukan pemisahan nilai anomali Bouguer Lengkap untuk mendapatkan nilai densitas batuan bawah permukaan yang sebenarnya. Pengaruh dari efek anomali residual dan regional menyebabkan nilai Anomali Bouguer Lengkap tidak menunjukkan nilai densitas batuan bawah permukaan. Untuk memisahkan anomali residual dan regional digunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD) sehingga diperoleh anomali residual.

Pemodelan dengan menggunakan *software Grav2DC* dilakukan dengan memasukkan nilai anomali residual dan juga panjang lintasan pengukuran, sehingga akan muncul profil data anomali residual pada *software* yang akan menjadi

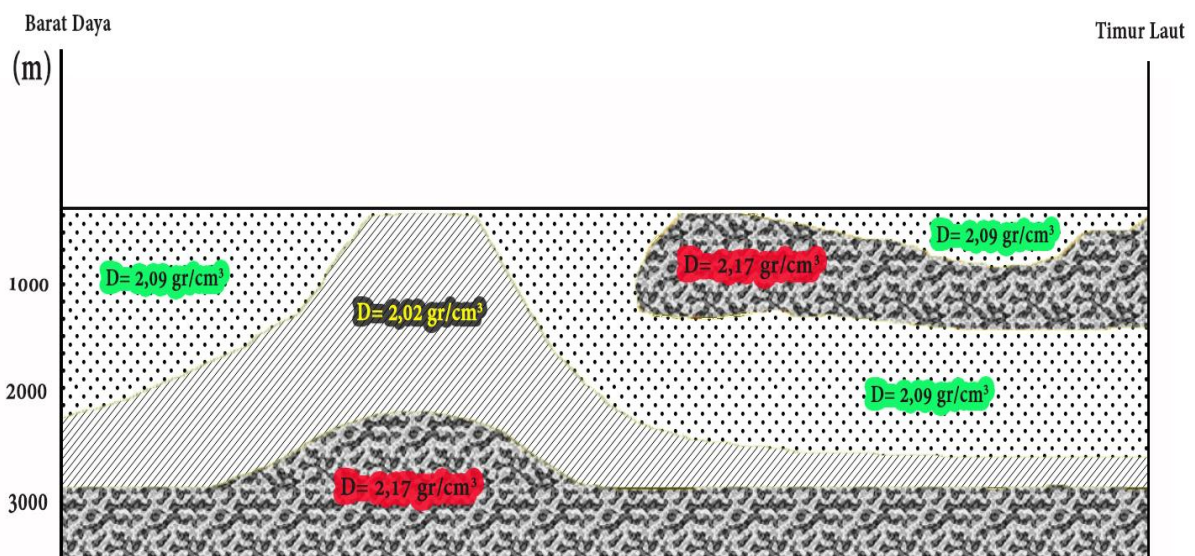
acuan pada saat pembuatan model. Langkah selanjutnya adalah membuat sembarang model 2D berbentuk poligon berupa pita, bola, dan batang tipis yang sehingga muncul profil anomali perhitungan. Untuk mencocokkan profil data anomali residual dengan profil anomali perhitungan dapat dilakukan penambahan ataupun pengurangan nilai kontras densitas, kedalaman, dan ukuran model agar memperoleh tingkat kesalahan/misfit yang kecil/minimum. Pemodelan ini dinamakan pemodelan *forward modelling* karena data perhitungan pengukuran didapatkan dari model yang dihasilkan. Pembuatan model untuk keseluruhan lintasan dilakukan dengan mengutamakan terlebih dahulu pada perubahan nilai anomali yang signifikan. Gambar 7 menunjukkan adanya garis putus-putus yang merupakan profil data anomali residual dan garis hitam (tidak putus-putus) yang merupakan profil anomali perhitungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kecocokan atau keselarasan antara garis profil anomali perhitungan dengan profil data anomali residual dengan cara membuat sembarang

model dengan nilai kontras densitas, kedalaman, dan ukuran poligon yang tepat. Hasil pemodelan menggunakan *software Grav2DC* memperoleh tingkat kesalahan atau misfit sebesar 0,40. Nilai tersebut menandakan bahwa kecocokan/keselarasan antara profil nilai data anomali residual dengan profil anomali perhitungan sudah cukup baik (minimum). Hasil dari pemodelan 2D tersebut sudah cukup mewakili kondisi di bawah permukaan lokasi penelitian sebagaimana telah didukung oleh keadaan geologi dan studi literatur yang ada di daerah penelitian. Interpretasi model dilakukan dengan cara interpretasi kuantitatif

yaitu dengan menganalisis penampang struktur bawah permukaan nilai anomali residual. Dari model yang diperoleh dapat diprediksi bentuk geometri dari benda-benda geologi bawah permukaan yang menyebabkan perubahan nilai anomali. Pada model yang didapat pada Gambar 7, densitas batuan dapat diperoleh dari kontras densitas batuan. Oleh karena itu, model yang diperoleh dari *Grav2DC* berdasarkan sebaran nilai densitas di bawah permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Pemodelan Bawah Permukaan Daerah Penelitian Menggunakan *Software Grav2DC*



Gambar 8 Interpretasi Daerah Penelitian di Bawah Permukaan

Pada lintasan pengukuran didapatkan 3 jenis lapisan, lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan tufa pasir dengan nilai densitas sebesar $2,09 \text{ g/cm}^3$. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai batuan lempung dengan densitas sebesar $2,02 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan lapisan yang ketiga diinterpretasikan sebagai batuan breksi vulkanik dengan densitas $2,17 \text{ g/cm}^3$. Batuan breksi vulkanik diduga sebagai batuan *reservoir* atau batu sarang, breksi vulkanik tersebut merupakan batuan yang berfungsi tempat menyimpan panas dan berkumpulnya fluida panas bumi karena memiliki porositas yang cukup baik. Selanjutnya batuan lempung pada lapisan kedua diduga sebagai batuan penutup (*cap rock*) karena bersifat impermeabel sehingga temperatur atau panas yang ada di dalam *reservoir* tetap terjaga serta tidak keluar ke permukaan. Lapisan penutup (*cap rock*) terdeteksi dari permukaan atas sampai kedalaman 3 km, sedangkan lapisan *reservoir* terdeteksi pada kedalaman 3 sampai 4 km. Kedua lapisan tersebut membentuk lipatan seperti antiklin yang bisa saja diakibatkan oleh aktivitas tektonik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan metode gravitasi di lapangan panas bumi Seulawah Agam, dapat disimpulkan bahwa nilai percepatan gravitasi lintasan pertama berada pada interval 3803,17 sampai 3870,73 mGal dengan nilai terendah berada di titik ke-19 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-2. Nilai percepatan lintasan kedua berada pada interval 3806,38 sampai 3819,44 mGal dengan nilai terendah berada pada titik ke-2 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-9. Nilai Anomali Bouguer Lengkap pada lintasan pertama berkisar antara 420,65-560,57 mGal, dengan nilai terendah berada pada titik ke-10 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-9. Nilai Anomali Bouguer Lengkap pada lintasan kedua

berkisar antara 394,74-614,23 mGal, dengan nilai terendah berada pada titik ke-4 dan nilai tertinggi berada pada titik ke-10. Pemodelan 2D daerah penelitian menunjukkan daerah penelitian memiliki 3 jenis lapisan. Lapisan pertama merupakan batuan tufa pasir ($\rho = 2,09 \text{ g/cm}^3$), lapisan kedua merupakan batuan lempung ($\rho = 2,02 \text{ g/cm}^3$), dan lapisan ketiga merupakan batuan breksi vulkanik ($\rho = 2,17 \text{ g/cm}^3$). Hasil interpretasi kuantitatif di daerah penelitian ditemukan lapisan batuan breksi vulkanik yang diprediksi berperan sebagai *reservoir* dan lapisan batuan lempung sebagai penutup (*cap rock*).

REFERENSI

- Bennett, J.D., dkk. 1981. *Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Hidayat, N dan Basid, A. 2011. *Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan Dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal*, Jurnal Neutrino, 4.1, p-36.
- Muzakir. 2014. *Investigasi Struktur 2D Lapangan Panasbumi Seulawah Agam Berdasarkan Data Pengukuran Magnetotellurik*. Skripsi. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Saptadji, N. M. 2001. *Teknik Panas Bumi*. Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Yu, G., He, Z. X., Hu, Z.Z., borbergsdottir, I. M., Strack, K. -M., dan Tulinus, H. 2009. *Geothermal Exploration Using MT and Gravity Techniques at Szentlorinc Area in Hungary - SEG 2009 International Expoloration and Annuad Meeting*. Houston. P-4333.